



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE  
E AUTOMAÇÃO - CECAU**



**PHILIP TAVARES GUEDES**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO E  
MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE CULTIVO INDOOR  
AUTOMATIZADO**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E  
AUTOMAÇÃO**

**Ouro Preto, 2021**

**PHILIP TAVARES GUEDES**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO E  
MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE CULTIVO INDOOR  
AUTOMATIZADO**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.**

Orientador: Prof. Diógenes Viegas Mendes Ferreira, M.Sc.

**Ouro Preto  
Escola de Minas – UFOP  
2021**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

G924c Guedes, Philip Tavares .  
Criação de um sistema supervisorio e montagem de um protótipo de  
plantação automatizada para cultivo indoor. [manuscrito] / Philip Tavares  
Guedes. - 2021.  
42 f.: il.: color., gráf..

Orientador: Prof. Me. Diógenes Ferreira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Jardinagem em interiores. 2. Automação residencial . 3.  
Supervisorio. 4. Plantas cultivadas. 5. Arduino (Controlador programável)  
. I. Ferreira, Diógenes. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Philip Tavares Guedes**

**Criação de um sistema supervisorio e montagem de um protótipo de plantação automatizada para cultivo indoor**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 29 de abril de 2021

### Membros da banca

Ms. Diógenes Viegas Mendes Ferreira - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Diógenes Viegas Mendes Ferreira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/04/2021



Documento assinado eletronicamente por **Diogenes Viegas Mendes Ferreira, TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 10/05/2021, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0165510** e o código CRC **8D20E805**.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus por todas as bênçãos, oportunidades e escolhas que me foram dadas. Agradeço à minha família, em especial meus pais, Antônio e Maria, e a minha irmã, Priscila, por proverem tudo o que foi necessário, por oferecerem um ombro amigo e suporte quando tudo pareceu desabar, e também por entenderem minhas ausências. Vocês são formadores do meu caráter, são exemplos do tipo de pessoa que quero ser. Muito obrigado por tudo, eu seria nada sem vocês.

Agradeço à todos amigos que fiz durante a graduação, que sempre me ajudaram, aconselharam e também se divertiram junto à mim, Vitor, Jader, Bruno, Luis Paulo, Henrique, Neto, Heitor, Flávio e Wallace, muito obrigado por tudo, sempre serei grato. Agradeço também aos meus amigos de Rio Piracicaba, Bruno, Caio, Thales, Felipe, Rafael e Breno, obrigado por entenderem a ausência e nunca terem se afastado.

À República Vira Saia, seus moradores e ex-alunos, por me ensinar sobre responsabilidade, pode-se dizer que lá me tornei adulto, muito obrigado por me fazer sair da zona de conforto e também por me dar uma nova família, obrigado irmãos!

Por fim, agradeço ao Departamento de Engenharia de Controle e Automação, por toda a contribuição dada para a minha formação acadêmica e profissional, em especial ao meu professor orientador Diógenes Viegas Mendes Ferreira por me guiar neste trabalho, e também ao professor Agnaldo José da Rocha Reis por todo apoio durante a graduação.

*“Geralmente quando os problemas aparecem a gente tá desprevenido né não? Errado! É você que perdeu o controle da situação, perdeu a capacidade de controlar os desafios, principalmente quando a gente foge das lições que a vida coloca na nossa frente. Você se acha sempre incapaz de resolver, se acovarda. O pensamento é a força criadora, o amanhã é ilusório porque ainda não existe. O hoje é real, é a realidade que você pode interferir, as oportunidades de mudança estão no presente. Não espere o futuro mudar sua vida, porque o futuro será a consequência do presente. Parasita hoje, um coitado amanhã. Corrida hoje, vitória amanhã Nunca esqueça disso.” (Racionais Mc’s)*

## RESUMO

O consumo de hortaliças é de vital importância para a saúde, pois elas são ótima fonte de fibras, vitaminas e sais minerais. Com o aumento da demanda e também das áreas urbanas, os acessos a esses alimentos têm sido cada vez mais difíceis e mais dependentes de um bom sistema de transporte, pois as hortaliças têm que estar frescas para conservar os seus nutrientes. E também para acelerar o processo de cultivo e aumentar a sua vida útil, são adicionadas grandes quantidades de agrotóxicos, que são nocivos à saúde. Qualquer desvio nesse macroprocesso, pode aumentar consideravelmente o preço e diminuir a qualidade dos alimentos. Uma boa alternativa para melhorar a qualidade da alimentação e garantir um baixo custo, seria cultivá-las em casa ou até mesmo construir plantações urbanas, como está sendo realizado em algumas cidades do mundo. Infelizmente existem alguns fatores que inviabilizam essa ideia, como a falta de local apropriado para plantio e também a rotina corrida nas grandes cidades, principalmente porque hortaliças necessitam de um alto controle de água, temperatura e iluminação. Pensando nisso, este projeto propõe desenvolver um sistema de plantação automatizada e independente, buscando a maior eficiência energética, menor consumo de água e investimento inicial baixo. Para viabilizar a ideia de cultivo *indoor* foi construído um protótipo de plantação e também um sistema supervisorio capaz de manipular as variáveis do processo como, tempo de luz, umidade e temperatura. Neste trabalho, foi revisada toda construção do sistema supervisorio utilizando a linguagem C# e o Visual Studio, e também a montagem do protótipo utilizando o Arduino para aquisição e controle dos dados. Após a montagem do protótipo e do sistema supervisorio, foram gerados gráficos e realizados vários testes para comprovar a eficiência do sistema. E também foram plantadas algumas hortaliças para que fosse possível acompanhar o crescimento das sementes. Depois de todos os testes foi possível concluir que realizou-se um bom controle e o supervisorio atendeu muito bem as necessidades do sistema em geral.

**Palavras-chaves:** Automação, Controle, Arduino, *Indoor*, Supervisorio.

## ABSTRACT

*The consumption of vegetables is vitally important for health, as they are an excellent source of fiber, vitamins and minerals. With the increase in demand and also in urban areas, access to these foods has been increasingly difficult and more dependent on a good transport system, as vegetables have to be fresh to conserve their nutrients. And also to speed up the process cultivation and increase its useful life, large amounts of pesticides are added, which are harmful to health. Any deviation in this macroprocess can increase the price considerably and decrease the quality of the food. A good alternative to improve the quality of food and guarantee a low cost would be to grow them at home or even to build urban plantations, as is being done in some cities around the world. Unfortunately, there are some factors that make this idea unfeasible, such as the lack of an adequate place for planting and also the running routine in large cities, mainly because vegetables need a high control of water, temperature and lighting. With this in mind, this project proposes to develop an automated and independent planting system, seeking greater energy efficiency, lower water consumption and low initial investment. To make the idea of cultivation viable, a plantation prototype was built and also a supervisory system capable of manipulating the variables of the plant. process such as time of light, humidity and temperature. In this work, the construction of the supervisory system using the C language and Visual Studio was reviewed, as well as the assembly of the prototype using the Arduino for data acquisition and control. After assembling the prototype and the supervisory system, graphics were generated and several tests were carried out to prove the efficiency of the system. Some vegetables were also planted so that it was possible to monitor the growth of the seeds. After all the tests, it was possible to conclude that a good control was carried out and the supervisor met the needs of the system in general very well.*

**Key-words:** *Automation, Control, Indoor, Arduíno, Supervisory.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo de ilha de calor. . . . .	12
Figura 2 – Agrotóxicos aprovados por ano. . . . .	14
Figura 3 – Arduíno Mega. . . . .	16
Figura 4 – Diagrama de blocos dos componentes principais do Arduíno. . . . .	17
Figura 5 – Editor Web para Arduíno. . . . .	17
Figura 6 – Sensor de Umidade. . . . .	18
Figura 7 – Banco de dados PostgreSql com interface DBeaver. . . . .	20
Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema. . . . .	21
Figura 9 – Lampada de LED . . . . .	22
Figura 10 – Precisão x Acurácia. . . . .	24
Figura 11 – Calculo da massa de terra e água. . . . .	25
Figura 12 – Falha na leitura do sensor. . . . .	26
Figura 13 – Sensor de umidade CS12. . . . .	27
Figura 14 – Regressão linear do novo sensor de umidade. . . . .	27
Figura 15 – Regressão linear sensor DHT11. . . . .	28
Figura 16 – Tela de regulagem. . . . .	30
Figura 17 – Função para consulta a tabela reg_estufa do banco de dados. . . . .	31
Figura 18 – Gráfico Umidade x Hora. . . . .	32
Figura 19 – Página principal da aplicação. . . . .	33
Figura 20 – Módulo relé com 4 canais. . . . .	34
Figura 21 – Estufa com iluminação de LED e bomba de água em funcionamento. . . . .	35
Figura 22 – Teste de iluminação diária. . . . .	36
Figura 23 – Gráfico temperatura x hora. . . . .	37
Figura 24 – Gráfico Umidade x Hora. . . . .	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
IDE	<i>Integrated development environment</i>
BD	Banco de Dados
SGBD	<i>Sistema de Gestão de Bancos de Dados</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i> <i>Real Time Clock</i>
ARM	<i>Advanced RISC Machine</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

# Cerquilha

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>12</b>
1.1	Objetivos gerais e específicos . . . . .	14
1.1.0.1	Objetivo Geral . . . . .	14
1.1.0.2	Objetivos Específicos . . . . .	14
1.2	Estrutura do trabalho . . . . .	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>16</b>
2.1	Materiais e métodos . . . . .	16
2.1.1	<i>Controle de umidade do solo.</i> . . . . .	18
2.1.2	<i>Controle de temperatura.</i> . . . . .	19
2.2	Monitoramento dos Dados - Sistema Supervisório. . . . .	19
2.3	Banco de dados . . . . .	19
2.4	Controle de Parâmetros . . . . .	20
2.4.1	<i>Controle da iluminação</i> . . . . .	21
2.4.1.1	Iluminação ideal para a Estufa . . . . .	22
2.4.2	<i>Controle de irrigação</i> . . . . .	23
2.4.3	<i>Controle de temperatura</i> . . . . .	23
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> . . . . .	<b>24</b>
3.1	Calibração dos sensores . . . . .	24
3.1.1	<i>Sensor de umidade</i> . . . . .	25
3.1.2	<i>Sensor de temperatura</i> . . . . .	28
3.2	Desenvolvimento do sistema supervisório . . . . .	28
3.2.1	<i>Conexão com o banco de dados</i> . . . . .	29
3.2.2	<i>Regulagens</i> . . . . .	29
3.2.3	<i>Gráficos</i> . . . . .	30
3.2.4	<i>Página Inicial</i> . . . . .	32
3.3	Estrutura e montagem do protótipo . . . . .	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>39</b>
5.1	Sugestão para projetos futuros . . . . .	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>41</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Segundo Guedes (2015), apesar do Brasil ter um potencial agrícola reconhecido internacionalmente, o consumo de hortaliças é baixo. As razões dessa contradição são diversas e os meios para solucionar esses problemas são complicados. Em geral concorda-se que o alto custo das hortaliças é uma das principais causas do baixo consumo. Os transportes dos alimentos geralmente são demorados e de forma precária (fora das condições climáticas favoráveis), assim, perde-se parte da mercadoria, sendo esse valor embutido no preço das demais. Uma boa alternativa para contornar essa situação é cultivar as hortaliças em casa, porém existem alguns fatores que muitas vezes nos impossibilitam de fazê-lo. Além do tempo corrido oriundo da corrida rotina dos grandes centros urbanos, o clima em tais lugares não é muito favorável. Segundo Miranda (2008) no meio urbano, principalmente nas grandes cidades, onde se formam as “ilhas de calor”, o clima é desfavorável para o cultivo:

*“Nas grandes cidades, geralmente a camada de ar mais próxima ao solo é mais aquecida do que nas áreas rurais. A cidade é considerada um grande modificador do clima devido às intensas atividades humanas, ao grande número de veículos em circulação, à presença maciça de indústrias, prédios, asfalto nas ruas, e à diminuição de áreas verdes. Tudo isso provoca mudanças profundas não só na atmosfera local, mas também na temperatura e nas chuvas da região. O aumento do calor na cidade altera a circulação dos ventos, a umidade relativa do ar e as chuvas. Materiais como asfalto das ruas e o concreto, encontrado nas casas e nos edifícios, propiciam a evaporação rápida da água da chuva que está no solo, reduzindo o resfriamento”*

Em decorrência das atividades humanas, diminuição das áreas verdes, aumento da emissão de gases poluentes e concentração de indústrias e automóveis, as grandes cidades tendem a ser mais quentes. Pode-se entender esta relação entre temperatura e maior concentração de habitantes no gráfico da figura 1.

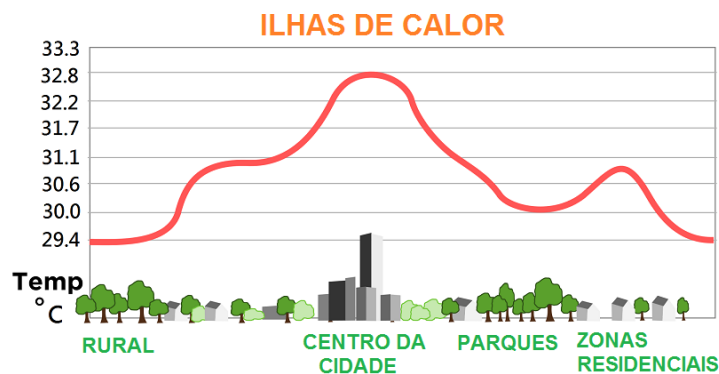


Figura 1 – Modelo de ilha de calor.

Fonte: RANGEL, Juliana (2014)

Além disso, altas temperaturas, excesso de chuvas e secas, geadas ou granizos são outras dificuldades encontradas, essas mudanças climáticas prejudicam bastante a produção e diminui bastante a rentabilidade da atividade agrícola. O cultivo em ambiente protegido permite controlar a eficiência do negócio, ou seja, controlar as variáveis do processo como temperatura, umidade do solo, tempo de luz recebido diariamente e até mesmo em alguns casos a intensidade de luz sobre a planta.

Segundo (Silva et al., 2014) a produção de mudas de hortaliças sob cultivo protegido tem apresentado um crescimento expressivo. Na década de 90, estimativas indicavam uma área de 716 mil hectares com estufas, em 2010, já eram 3,7 milhões de hectares. A maior parte desses plantios é de hortaliças, e a China concentra a maior área de cultivos protegidos – em 2010, eram 3,3 milhões de hectares de estufa. Naquele país, a propósito, a produtividade das hortaliças em estufas é o dobro da realizada em campo aberto. Isso se dá em decorrência das vantagens em relação ao sistema tradicional (BEZERRA, 2003) como por exemplo:

- menor ciclo de crescimento.
- menos suscetíveis a aparecimentos de pragas.
- maior relação percentual entre sementes plantadas e mudas obtidas.
- melhor aproveitamento da área destinada à produção de mudas.

Outro fator que justifica o baixo consumo de hortaliças é a grande quantidade de agrotóxicos (que são nocivos à saúde) adicionados ao processo de cultivo, a fim de que as plantas se desenvolvam mais rápido e também para protege-las, já que estão sujeitas a ataques de pragas, quer sejam fungos, insetos, ácaros, vírus e nematoides, durante todo o ano (CRUZ, 2013). Um fato importante a levar em consideração é que todo ano centenas de novos agrotóxicos são aprovados para utilização, na figura 2 se pode ver esse grande crescimento na quantidade de produtos aprovados por ano, vale ressaltar que de 2015 até 2019 o número de aprovados cresceu mais de 100% em relação aos anos anteriores. Mesmo que a maioria desses sejam para controle de pragas, muitos são nocivos a saúde e até mesmo são banidos em outros países, de acordo com (Grigori, 2020). Um ponto de atenção é que só em 2019 foram aprovados 475 novos agrotóxicos. Dentre eles, está o Fipronil que faz parte do controle de insetos e foi responsável pela morte de mais de 500 milhões de abelhas em 2019, pelo alto impacto o mesmo é proibido em toda União Europeia. Outro agrotóxico bastante comum no Brasil é o Clorpirifós, que também é usado no controle de pragas, porém este produto está diretamente ligado a má formação do cérebro de bebês, o uso do mesmo é proibido em toda União Europeia e também no Estados Unidos, conforme citado por Drew et al. (2014).

Nesse contexto justifica-se a importância da produção de hortaliças em ambientes protegidos, que são estruturas que diminuem os efeitos climáticos e biológicos que incidem sobre as plantações agrícolas. Além disso, nos grande polos comerciais, como São Paulo ou Rio de Janeiro, as pessoas saem de casa para trabalhar muito cedo e chegam em casa muito tarde, devido

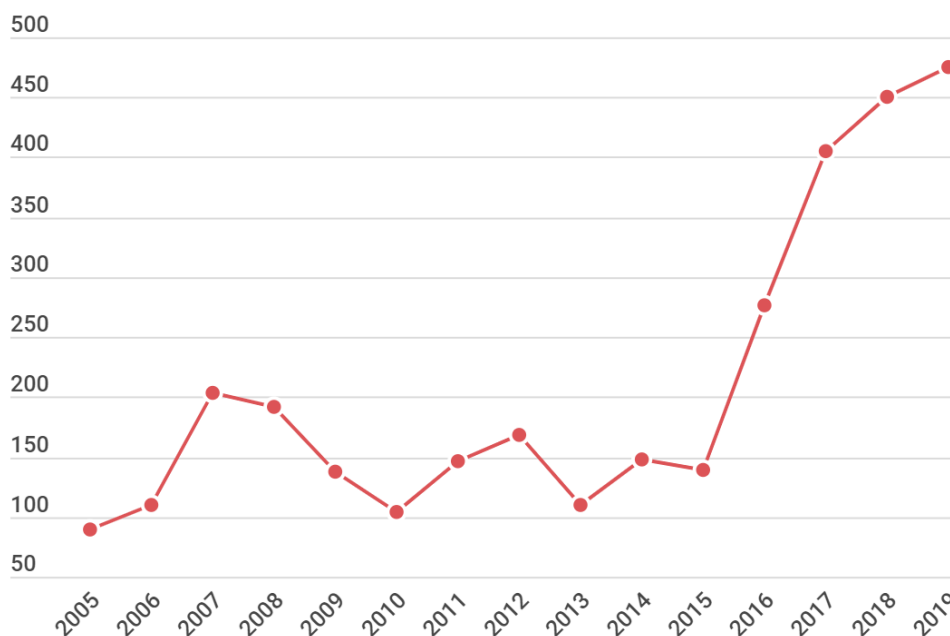


Figura 2 – Agrotóxicos aprovados por ano.

Fonte: Grigori, Pedro (2020)

ao alto fluxo de trânsito e a alta carga de trabalho e por esse motivo não tem tempo de cultivar uma horta, ou seja regar e controlar o ambiente adequadamente. É muito interessante que se tenha soluções inovadoras no âmbito residencial.

## 1.1 Objetivos gerais e específicos

### 1.1.0.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento e controle de um protótipo de plantação automatizada *indoor* para a produção de hortaliças. Para isso, foram medidas e controladas as principais variáveis que afetam o crescimento das plantas, tais como iluminação, a umidade do solo e a temperatura do ambiente (BEZERRA, 2003). Praticando essa ação de controle com o menor consumo de água e energia possível, sem afetar o crescimento da planta.

### 1.1.0.2 Objetivos Específicos

Para implementação do projeto, tem-se como principais objetivos:

- projetar e construir uma estufa de dimensões reduzidas, proporcionando um ambiente protegido para a plantação.
- realizar a medição do percentual de umidade do solo através de um sensor específico e realizar a irrigação, caso necessário.
- criar um sistema de ventilação para acionar em altas temperaturas.

- construir um sistema supervisorio para coleta dos dados provenientes dos sensores e acionamento dos atuadores quando desejado.
- fazer a comunicação do sistema supervisorio com um banco de dados, para que seja possível criar relatórios e fazer análises.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O estudo de é dividido em cinco capítulos e redigido de acordo com as normas vigentes da ABNT e do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto, apresentando-se de acordo com a estrutura a seguir.

- Capítulo 2: Fundamentação teórica de todos os procedimentos a serem realizados neste trabalho bem como o embasamento estatístico que justifique as circunstâncias nas quais determinado recurso é utilizado e suas vantagens para o caso.
- Capítulo 3: Análise detalhada da montagem e funcionamento da estufa e software.
- Capítulo 4: Apresentar-se-á neste, todos os resultados e dificuldades na realização da estufa..
- Capítulo 5: Resultados e discussões.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Materiais e métodos

Para a execução do projeto foi utilizado um micro controlador Arduíno Mega 2560, que fornece a quantidade de entradas e saídas necessárias para fazer o controle de todos os parâmetros da estufa, propiciando assim o microclima desejado para plantio das folhosas através do acionamento de ventiladores e da micro irrigação, além da coleta de dados através dos sensores instalados.

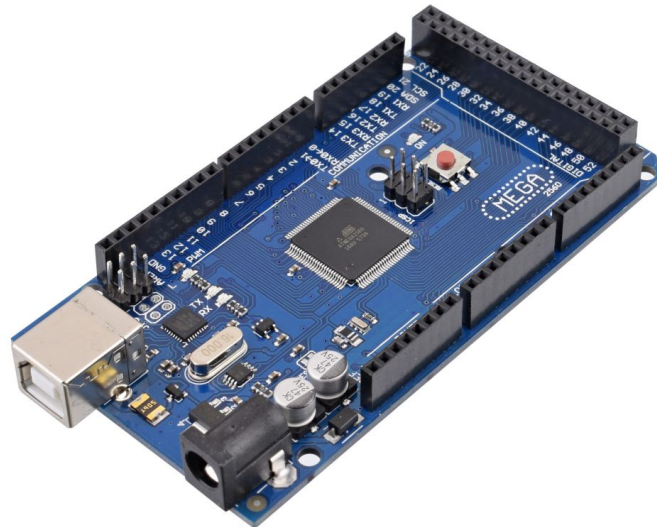


Figura 3 – Arduíno Mega.

O Arduíno é uma placa de prototipagem, munida de um microcontrolador de 8 bits programável, o Atmel Mega AVR, fixado em uma placa que conecta o chip diretamente aos dispositivos de entrada/saída e de alimentação. Este modelo conta com 100 pinos, sendo 86 pinos I/O e o restante dividido entre pinos de comunicação e alimentação, como pode ser observado na figura 3. A placa também conta com vários registradores importantíssimos para o funcionamento da mesma, como memória Ram, Flash e EPROM, a placa também conta com uma Unidade Central de Processamento que é responsável por executar as instruções e toda a lógica por trás. Na figura 4 é mostrado um diagrama de bloco com os principais componentes do microcontrolador.

A placa conta com uma IDE que permite programar (linguagem de programação em C/C++) e enviar a lógica para o microcontrolador, de forma que o mesmo trabalhe independente,

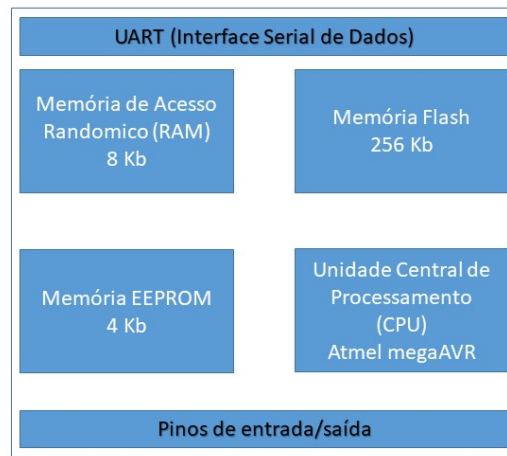


Figura 4 – Diagrama de blocos dos componentes principais do Arduino.

Fonte: Próprio Autor

e possa ser usado em um sistema embarcado e até mesmo de tempo real. Para criação da lógica da estufa foi utilizada a IDE (*Integrated Development Environment*) online (*Web Editor*) disponibilizado em <https://create.arduino.cc/editor>. A IDE reconhece automaticamente a placa utilizada, contém mais de 4000 bibliotecas para auxiliar no desenvolvimento e os códigos são salvos em tempo real em nuvem. Como pode ser observado na figura 5 a interface conta com as mesmas funções existentes na versão para Windows, como exemplos de códigos já desenvolvidos, serial monitor, bibliotecas e demais ferramentas.

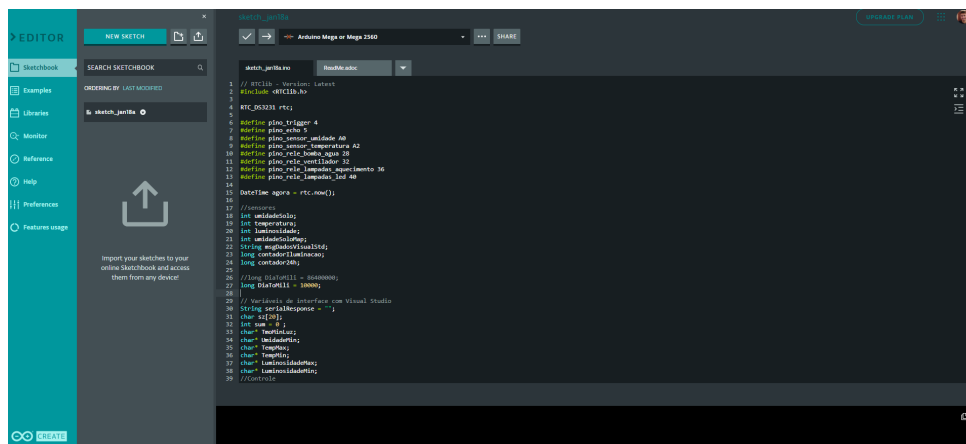


Figura 5 – Editor Web para Arduino.

Fonte: Próprio Autor

Uma das grande vantagens do Arduino é que ele é um projeto *Open Source*, ou seja,

pode ser modificado livremente, assim surge várias aplicações e ideias de utilização para a placa. Por ser uma plataforma de código aberto, e de fácil adaptabilidade, surgiram vários módulos e placas que são facilmente conectadas a ela facilitando bastante a criação de aplicações.

### 2.1.1 Controle de umidade do solo.

O controle da umidade do solo foi desenvolvido a partir do um sensor de umidade FC-28, que é constituído por duas hastes incorporadas com cobre e um circuito de tratamento de dados (conversão e amplificação do sinal) como pode ser visto na figura 6. Este sensor foi conectado ao Arduino, então quando é registrada uma umidade abaixo de certa porcentagem, é enviado um sinal para acionamento da bomba de irrigação que fica ligada por certo tempo, até atingir o valor de umidade necessário. O sensor utilizado é do tipo resistivo, e o princípio de funcionamento básico, é aplicado uma corrente em ambas as hastes fixadas no solo e com a ajuda de um modulo que amplifica e converte o sinal de tensão em analógico (Pinto et al, 2018), e assim é possível fazer a leitura do nível de condutividade do solo.

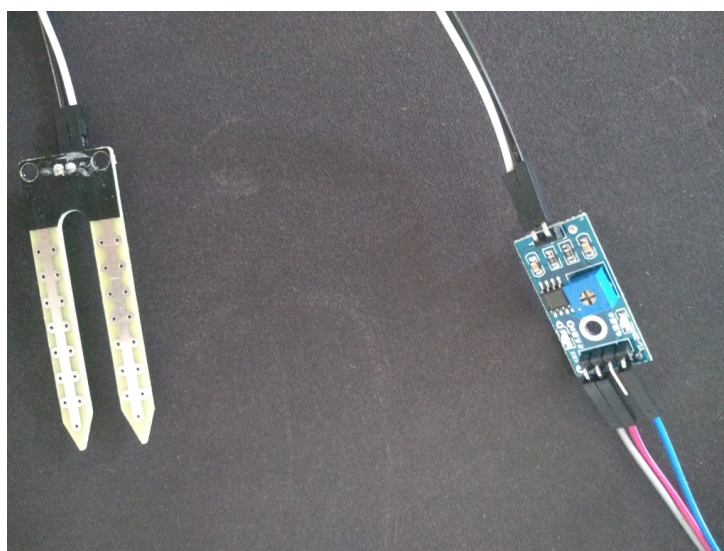


Figura 6 – Sensor de Umidade.

Fonte: Próprio Autor

É importante salientar que tanto para este quanto para os outros sensores utilizados no protótipo, é de suma importância que seja realizada a calibração dos mesmo, pois os sinais que são medidos geralmente não estão na grandeza que são desejados. Mais adiante este assunto será explicitado.

No sistema foi utilizada a técnica de irrigação localizada, essa técnica consiste em fazer vários furos em um cano de PVC, ao longo dos pontos onde deseja-se irrigar, e então enche-lo a medida que a umidade da terra medida pelo sensor fique abaixo do desejado. Com essa técnica foi possível fazer o melhor aproveitamento da água aplicando-a exatamente no local. Quando a

umidade da terra fica abaixo do desejado a bomba de água enche o cano que fica gotejando até esvaziar novamente, repetindo o ciclo.

### 2.1.2 Controle de temperatura.

A plantação conta com um sensor DHT11, que realiza a medição da temperatura e da umidade do ar, com precisão de 1 grau Celsius e 0,5 por cento respectivamente. Esse sensor foi escolhido pela sua flexibilidade de função, pelo baixo custo e pela facilidade de implementação, visto que existem bibliotecas já programadas para o Arduíno. O componente escolhido tem um sensor de temperatura NTC (*Negative Temperature Coeficient*), ou seja a resistência do mesmo diminui de acordo com a queda da temperatura, este tipo de sensor é mais utilizado por ser mais sensíveis a mudança de temperatura. O DHT11 tem capacidade de medir temperaturas de 0°C a 50°C, sendo ideal para o protótipo, devido ao baixo custo e faixa de medição dentro do desejado.

Quando são registradas temperaturas muito altas, é ligado um conjunto de ventiladores com a finalidade de manter a temperatura em níveis ideais. Caso a temperatura esteja abaixo do ideal, são acionados um conjunto de lâmpadas Incandescentes, que são ideais para tal função.

## 2.2 Monitoramento dos Dados - Sistema Supervisório.

Segundo Mott(2019) sistema supervisório é um programa capaz de monitorar, registrar e controlar variáveis de um processo e também é capaz de fazer a interface entre o usuário e o processo, que pode ser denominado interface homem-máquina (IHM) que consiste em uma camada de software que se comunica com um hardware. Como foi dito anteriormente, foi utilizado o Arduíno para fazer a aquisição de dados e enviar, através de uma interface serial, para o software desenvolvido. A comunicação serial é o método que consiste em enviar a mensagem bit a bit, diferentemente da comunicação paralela que enviar todos os bits de uma só vez.

Para controlar e acompanhar os parâmetros do protótipo, tais como, umidade do solo, temperatura e luminosidade, foi desenvolvido um sistema supervisório em C#, através do Visual Studio 2019. No supervisório é possível acompanhar os valores atuais dos parâmetros lidos e salvar os mesmos em um banco de dados, enviar, cadastrar e deletar regulagens, acompanhar o histórico, gerar gráficos dos valores diários e também acionar os atuadores como a bomba de água e as lampadas de LED. Mais adiante será explicitado sobre a construção do software.

## 2.3 Banco de dados

Desde sempre o banco de dados esteve presente em nossas vidas, até mesmo antes da era digital, como por exemplo a lista telefônica e até mesmo os boletins escolares. O conceito de banco de dados (BD), é basicamente um local para armazenar um conjunto de informações que são interligados por uma chave primária ou estão relacionados entre si. Os bancos de dados são, geralmente, um conjunto de tabelas compostas por linhas e colunas onde as colunas são

as variáveis que se deseja guardar e as linhas são as ocorrências registradas. Esse conjunto de tabelas geralmente são gerenciados por um Sistema de Gestão de Bancos de Dados ou SGBD (Rezende, 2006), que é responsável por prover uma interface para manipulação dos dados.

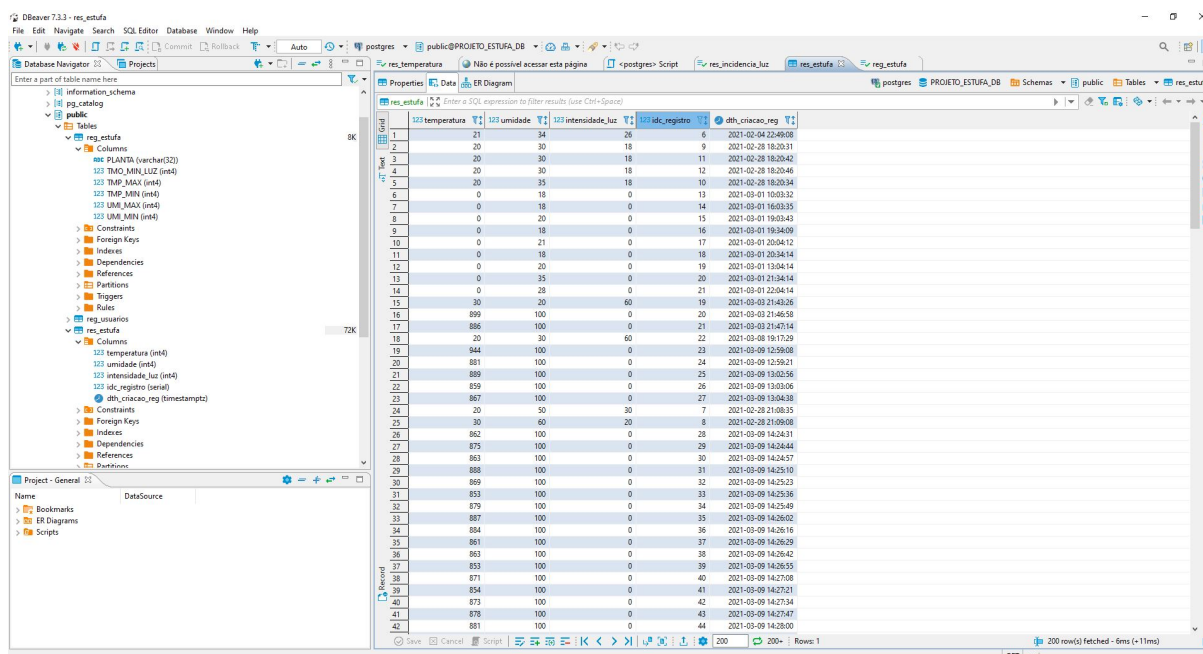


Figura 7 – Banco de dados PostgreSQL com interface DBeaver.

Fonte: Próprio Autor

Existem vários SGBD como a Oracle, MySQL, SQL Server e PostgreSQL todas elas usam uma linguagem de dados estruturada chamada SQL (*Structured Query Language*), a qual nos permite manipular, inserir, deletar e atualizar tanto os dados quanto as tabelas, além de vários outros recursos que não serão explicitados aqui por não ser o foco do trabalho. Para que os desenvolvedores pudessem manipular os bancos de dados foram criadas várias interfaces para gestão dos mesmos, cada uma com seu diferencial. No sistema supervisorio elaborado foi utilizado o banco de dados PostgreSQL e para interface com o mesmo foi utilizado o DBeaver. A figura 7 mostra como é a interface do DBeaver, pode-se notar a tabela RES\_ESTUFA, que foi uma das tabelas criadas para construção do sistema, além disso, no canto superior esquerdo é possível ver todas as outras tabelas criadas e suas dependências.

## 2.4 Controle de Parâmetros

Em uma plantação, de larga ou pequena escala, é primordial realizar um bom controle dos parâmetros necessários para um bom desenvolvimento das plantas. Aliando-se a tecnologia, hoje somos capazes de fazer um ótimo controle diminuindo os gastos com água, e energia elétrica, além de conseguirmos otimizar ao máximo o espaço (otimização cada vez mais necessária nos grandes centros urbanos). Para realizar o controle, a aplicação envia ao Arduíno os parâmetros de controle de cada um dos atuadores, o mesmo realiza a leitura dos sensores e faz a comparação

dos valores lidos com a regulação enviada pelo supervisor, atuando ou não os equipamentos. Logo após o Arduino retorna ao supervisor os resultados, na figura 8 pode-se acompanhar o fluxo de funcionamento.

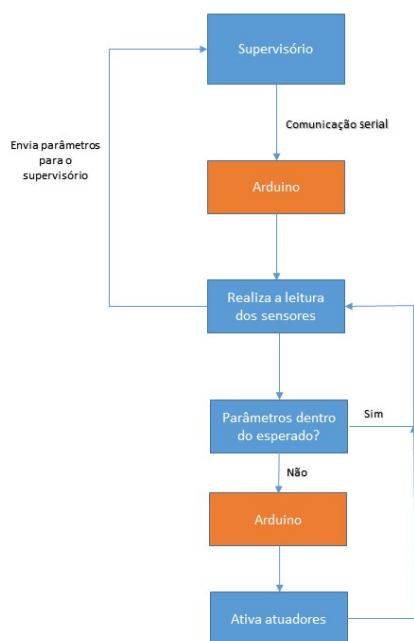


Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema.

Fonte: Próprio Autor

#### 2.4.1 Controle da iluminação

A iluminação artificial sendo aplicada na agricultura não é novidade. Porém, Segundo Ribeiro (2018), tal utilização não era tão vantajosa, pois o gasto energético era elevado e a eficiência baixa, a falta do controle do espectro de luz e sua emissão de calor, além de quebra e queima constantes dos equipamentos utilizados não tornavam o sistema atrativo para os produtores. Hoje com o surgimento das lâmpadas de LED e pelo fato do custo das mesmas serem mais acessíveis, foi possível incorporar essa tecnologia em estufas. Uma das vantagens das lâmpadas de LED é o menor consumo de energia elétrica, que faz com quem o produtor consiga reduzir bastante o custo. A grande vantagem na concepção de plantação *indoor* é a economia de espaço possível com essas lâmpadas. As lâmpadas de LED não emitem altas taxas de calor como as lâmpadas incandescentes, assim conseguimos instalar as lâmpadas mais próximas as hortaliças, gerando uma grande economia de espaço, e também possuem uma vida útil maior. Segundo Ribeiro (2018), com a devida utilização da iluminação é possível aumentar e melhorar a produção (diminuindo o número de produtos descartados por baixa qualidade e diminuindo o tempo para colheita), diminuindo o gasto energético e a agressão ao meio ambiente:

*“O LED traz para os produtores a possibilidade de controle total da produção, tendo para cada cultura uma “receita de luz” específica (dependendo do ajuste tem-se verduras mais*

*crocantes ou mais macias) e a possibilidade de utilizar os equipamentos apenas nos momentos mais adequados em que as plantas necessitam para a fotossíntese, podendo programar o cultivo e reduzir o tempo em até metade do usual. A vida útil prolongada do LED garante além da economia em equipamentos, menor custo com mão de obra e manutenção, uma melhor produção e sem interrupções. Como este tipo de tecnologia também não utiliza o LED de cor verde, gasta menos energia do que a luz branca normal, poupando ainda mais para os produtores, podendo chegar a 60% de economia comparando com tecnologias tradicionais".*

Com todos esses estudos, o uso do LED para plantações *indoor* vem aumentando consideravelmente esse tipo de cultivo no mundo todo. De acordo com Spitzcovsky (2015) na cidade de Miyagi, localizada no Japão, foi construída a maior fazenda urbana do mundo, com 15 andares e 17.500 lâmpadas LED para iluminar a plantação.

#### 2.4.1.1 Iluminação ideal para a Estufa

O sol emite uma radiação fotossintética ativa cujo o comprimento de onda varia de 400 nm a 700 nm, que é a amplitude utilizada pelas plantas para fazerem fotossíntese (LECLAIRAGE apud GUIMARES, 1993). Os comprimentos de onda mais importantes para as plantas são 430 a 450 que é a cor azul que melhoram a formação da planta aumentando sua densidade e a espessura do caule, e o espectro de 660 nm que é a cor vermelha que ajuda na floração, frutificação e no desenvolvimento da raiz (Samsung, 2018). Em decorrência disto, atualmente o tipo de lâmpada de LED mais utilizada é o chamada *Full Spectrum*, que é constituída geralmente por 15 LEDs vermelhos, 9 azuis, 2 brancos (cor importante pois é a combinação de todos os espectros), um LED ultra-violeta e um LED infravermelho, como mostrado na figura 9.



Figura 9 – Lâmpada de LED

Fonte: Próprio Autor

#### 2.4.2 Controle de irrigação

Grandes civilizações se desenvolveram em função do sucesso da agricultura irrigada. Com o aumento da demanda de água e utilização inadequada dos recursos hídricos, é crescente a busca por soluções que reduzam os desperdícios e mantenham a qualidade e a produtividade das culturas. A irrigação é uma técnica que vem sendo adaptada e melhorada cada vez mais, essa prática pode ser bastante beneficiada pela evolução tecnológica, visto que cada vez mais é necessário desenvolver técnicas que auxiliam na redução do consumo de água e na preservação do meio ambiente. Produtos como sensores e softwares que fazem controle e monitoramento computadorizados, ajudam os produtores a reduzirem o desperdício, os gastos com mão de obra e aumentarem as suas receitas.

Segundo dados do Governo Federal é importante considerar que a agricultura irrigada é responsável por 41% da produção mundial de alimentos no mundo e este número cresce a cada dia. Porém, de acordo com (Rodrigues e Domingues, 2017) observa-se que na média mundial, a agricultura utiliza cerca de 70% das águas utilizadas e 82% nos países em desenvolvimento. Considerando a importância da agricultura irrigada para a população mundial é preciso buscar soluções que diminuam e otimizem o consumo da água, com a ajuda da tecnologia.

#### 2.4.3 Controle de temperatura

O metabolismo, não somente das plantas mas de todos os seres vivos, está diretamente relacionado a temperatura do ambiente em que os mesmo estão inseridos. Temperaturas mais elevadas ou reduzidas aceleram ou diminuem a velocidade das reações químicas importantes neste processo (Beltrão e Oliveira, 2008). Além disso, segundo Mollo (2009), baixas temperaturas tornam a membrana das plantas mais rígidas, fazendo com que a mesma gaste mais energia no processo de fixação das enzimas. A autora ainda citou que plantas que ficam expostas a temperaturas inferiores têm a área da região foliar e raízes diminuídas quando comparadas a plantas que cresceram em ambientes propícios.

Todas essas influências afetam diretamente no processo de crescimento do vegetal, acelerando ou reduzindo o mesmo. Por isso, em uma plantação é muito importante que se tenha dispositivos que possibilite fazer o controle desse parâmetro, para que gere uma cultura saudável e com rápido crescimento.



### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado todo o processo de construção e montagem do protótipo, desde a calibração dos sensores até o desenvolvimento do sistema supervisor, além disso será explicitado todas as dificuldades técnicas e decisões tomadas para a montagem da mesma. É importante salientar que a automação construída é um protótipo idealizado para ser montado com o menor custo possível no mercado, porém com qualidade e assertividade nas medições e controles realizados.

#### 3.1 Calibração dos sensores

Apesar da maioria dos sensores virem calibrados de fábrica ou até mesmo nas bibliotecas do Arduino existentes para eles, já entreguem os resultados calibrados, é necessário fazer um estudo detalhado (verificação) dos dados entregue, para que um falso resultado dos sensores não comprometam a eficiência do sistema como um todo.



Figura 10 – Precisão x Acurácia.

Fonte: Próprio Autor

Em uma instrumentação que se deseja valores mais assertivos possíveis, é necessário que se faça a calibração do equipamento por mais reconhecido que seja o fabricante, isso porque existem vários fatores que podem comprometer o funcionamento do mesmo, como armazenamento, transporte de forma inadequada e até mesmo o tempo. Outro fato importante que leva a fazer a calibração é que todos os procedimentos realizados pelos fabricantes foram dirigidos em laboratório nas quais as condições do ambiente eram controladas. Nos testes foi levado em consideração tanto a precisão (capacidade do sensor mostrar o mesmo resultado quando submetido às mesmas condições) quanto a acurácia (valor medido mais próximo possível do

valor de referência). Para explicitar melhor este conceito de acurácia e precisão, foi desenvolvida a figura 10, nela pode-se perceber que quando se tem uma boa acurácia os resultados obtidos são bem parecidos entre si, e quando há uma boa precisão os resultados ficam sempre em torno do valor esperado. O que se deseja para este trabalho é uma boa acurácia e precisão.

### 3.1.1 Sensor de umidade

No protótipo desenvolvido a umidade do solo é medida em porcentagem (%) de água em relação a quantidade de terra no recipiente. Para fazer a calibração do sensor de umidade, foi utilizada uma técnica antiga, a qual persiste em pesar a quantidade de água existente na terra fazendo a relação, em porcentagem (%), de água no solo, e após comparar com o valor medido pelo sensor. Para saber a quantidade de água na terra foi pesada a terra seca antes de umedece-la no recipiente, e medida novamente após a inserção da água. Assim, a cada medição realizada com o DHT11, é comparado com o valor de umidade calculada para aquela quantidade de água inserida.

Inicialmente foi separada uma porção de terra (a mesma utilizada no protótipo) e colocada em exposição ao sol de forma que a mesma ficasse espalhada, este procedimento foi realizado com o intuito de retirar a água existente na terra, para que qualquer indicio de umidade residual não desvie os resultados. Logo após, coletou-se uma porção de terra sem umidade do solo, que após foi inserida em um recipiente (que foi escolhido de forma que todo o sensor caiba na terra) e assim foi realizada a medição de sua massa antes e depois de adicionarmos água, como pode ser visto na figura 13. O valor medido para a porção de terra seca foi 266 g e para a molhada foi 410 g.



Figura 11 – Calculo da massa de terra e água.

Fonte: Próprio Autor

Subtraindo o valor encontrado nas duas medições, encontrou-se a massa da água que era 144 g, o que equivale a 54,13% em relação a massa da porção de terra. Depois de ter ciência das massas, tanto da terra quanto da água, misturou-se os dois e foram realizadas 100 medições com o sensor de umidade. A mistura foi deixada ao sol, afim de que a água evapore e assim seja

possível conciliar a quantidade de água na terra (a partir da massa (g)) com o que foi lido pelo sensor de umidade. Essa medição foi realizada até que toda a água tenha evaporado.

Foram realizadas medições em 10 momentos diferentes, conforme a massa de água e a porcentagem de umidade da terra fossem diminuindo, sendo que em cada ponto foram realizadas 100 medições e extraída a médias das mesmas, afim de que a calibração dos sensores fosse a mais assertiva possível. Após registrar todas as medições, com a ajuda da ferramenta Análise de Dados do Excel, foi plotado um gráfico com os resultado obtidos pelas leituras analógicas e a porcentagem de umidade do solo relacionada. Depois de plotado o gráfico, foi realizada uma regressão linear afim de obter a equação para calibração do sensor de umidade. Analisando o resultado do gráfico na figura 14, foi possível perceber que o mesmo não apresentava um padrão, sendo que deveria se comportar de forma linear e ter um coeficiente negativo. A leitura realizada pelo sensor não estava condizente com a teoria, por ser um sensor resistivo a leitura analógica deveria aumentar de acordo com a diminuição da umidade, sendo o valor máximo quando a resistência tende ao infinito, porém para valores acima de 43% de umidade o gráfico se comportou como uma curva crescente e a partir deste valor começou a se portar como se tivesse um coeficiente linear negativo, porém ainda não se comportava de forma linear.

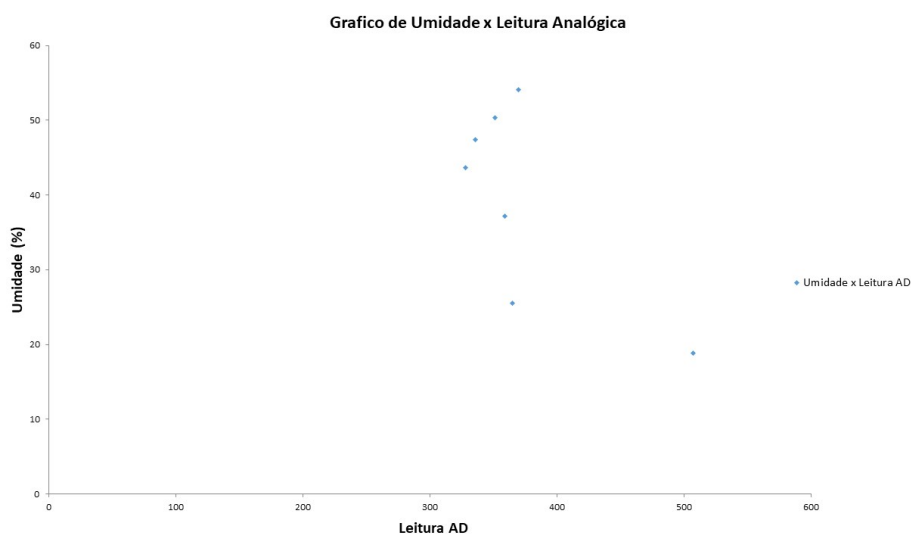


Figura 12 – Falha na leitura do sensor.

Fonte: Próprio Autor

Após a análise das leituras realizadas pelo sensor FC-28, foi decidido a troca do mesmo pelo sensor capacitivo CS12 (Figura 15), que tem a vantagem de ser mais robusto, e por conter uma camada de proteção, tem a vida útil maior sendo que o mesmo não oxida facilmente. Porém o princípio de funcionamento é bastante parecido, a capacitância deste sensor varia de acordo com o nível de umidade de água no solo e o mesmo vem acompanhado por um circuito que transforma essa capacitância em tensão e envia para o Arduino.

Para o sensor CS12 foi realizado o mesmo teste. Realizou-se medições em 10 pontos



Figura 13 – Sensor de umidade CS12.

Fonte: Próprio Autor.

distintos, sendo cada medição a média de 100 leituras, para este sensor se espera que quanto maior a umidade da terra menor seja a leitura analógica realizada pelo mesmo. No gráfico da figura 16, pode-se notar este padrão, sendo o coeficiente linear da curva negativo. Após análise do gráfico, foi realizada a regressão linear para o mesmo, afim de encontrar a equação da reta para correlacionar os valores lidos pelo sensor à umidade correta. Após a regressão extraímos a equação  $Y = -0,1479x + 117,86$ , onde Y é a umidade da terra em porcentagem (%) e X é o valor lido pelo sensor de umidade.

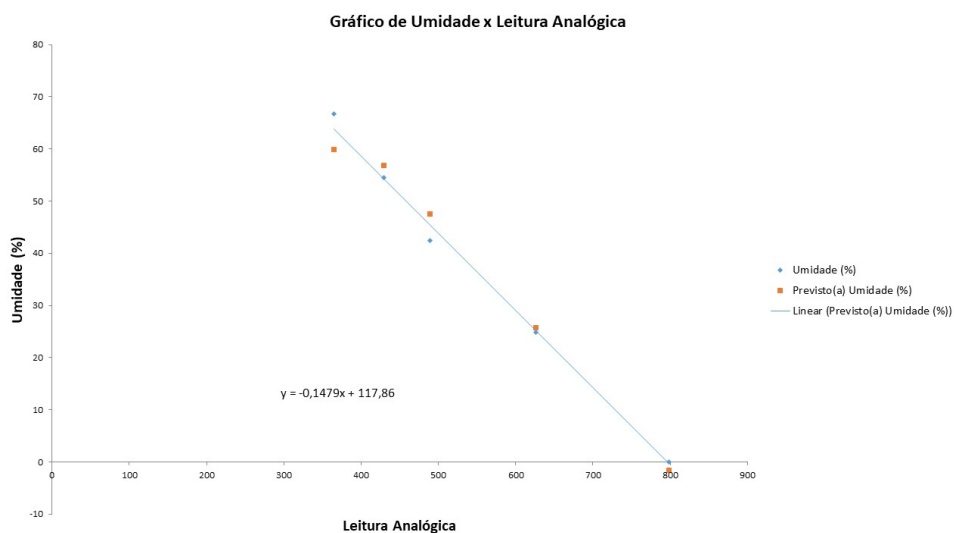


Figura 14 – Regressão linear do novo sensor de umidade.

Fonte: Próprio Autor

### 3.1.2 Sensor de temperatura

Para a calibração do sensor de temperatura o processo foi mais simples, pois foi uma medição direta do parâmetro desejado. Para este processo foi utilizado um termômetro já calibrado com um erro de 0,5 °C. A partir de uma fonte de calor (foi utilizada uma lampada incandescente pois o termômetro usado como referência, lê as temperaturas de 0 a 50 °C) registrou-se a média de 100 medições de temperatura com o termômetro e com o sensor DHT11 em diferentes distâncias da fonte de calor. Semelhante a calibração do sensor de umidade, foi realizada a regressão do valor registrado no termômetro e a média das leituras analógicas pelo DHT11, como observa-se na figura 16.

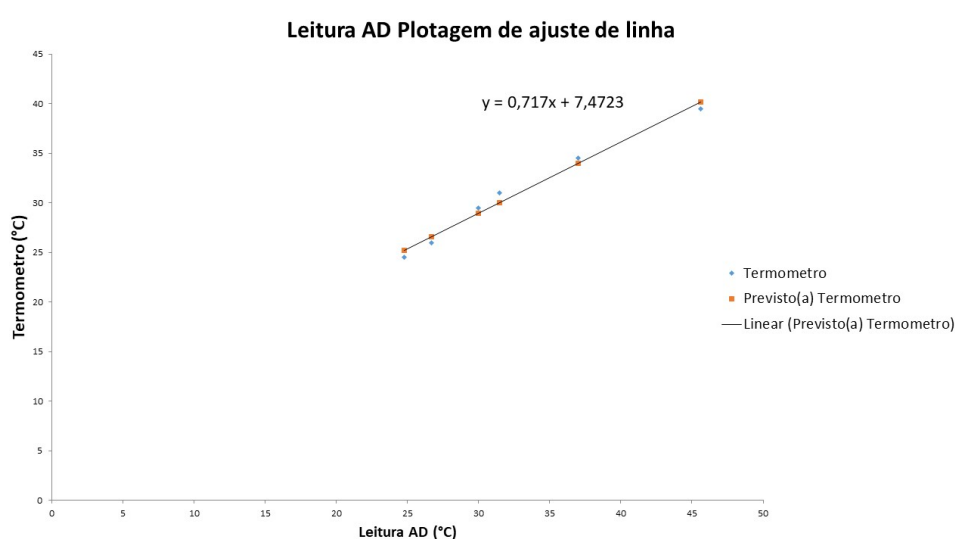


Figura 15 – Regressão linear sensor DHT11.

Fonte: Próprio Autor

Após análise do gráfico da regressão linear e da comparação dos valores registrados foi possível concluir que o sensor está em bom estado e pode-se confiar no valores obtidos pelo mesmo, pois os valores medidos pelo sensor estão bem próximos aos valores do termômetro. Para ajuste dos valores lidos pelo sensor, foi acrescentado ao código fonte do projeto no Arduino a equação obtida ( $Y = 0,717x + 7,4723$ ), sendo que Y é a temperatura real e X o valor lido pelo sensor DHT11. Outro detalhe interessante de ser comentado é que as medições foram realizadas em um ambiente fechado para que nenhuma outra fonte de calor (vento ou sol) pudesse interferir nas medições.

## 3.2 Desenvolvimento do sistema supervisório

Antes de começar a explicitar sobre a construção do sistema supervisório é importantes falar um pouco sobre o software Visual Studio, que é uma IDE que permite desenvolver aplicações a partir de várias linguagens de programação. Para aplicações em C# a plataforma fornece poderosos recursos tanto para frontend quanto para backend, sendo que é possível manipular

vários objetos já fornecidos pelo software como botões, tabelas, imagens e gráficos, sendo que todos esses elementos podem ser manipulados via código. Outra vantagem do uso do Visual Studio é que após compilar o projeto, o mesmo cria um arquivo executável (.exe) que permite usar a aplicação normalmente sem ter que abrir o compilador do projeto. Além disso existem outras grandes vantagens que ajudam os desenvolvedores a chegarem a produtividade máxima como o Intelisense, ferramenta que auto complementa o que o mesmo está digitando e também sugere a função ideal a ser usada em certas situações, e também uma ótima ferramenta de debug. Por ser uma forte ferramenta para construções de sistemas de automação, várias empresas utilizam o software para criação de seu supervisor como a Vallourec, IHM e outras.

Antes de começar a desenvolver a aplicação foi preciso fazer o estudo sobre todos os parâmetros de entrada e saída que seriam utilizados pela aplicação e o que seria possível ser controlado pelo sistema. Após fazer esse diagnóstico se iniciou o desenvolvimento do mesmo. No supervisor é possível encontrar três abas principais: Página inicial, Regulagens e Histórico. A primeira criação foi a aba de Regulagens, onde é possível cadastrar, atualizar e deletar parâmetros pre-definidos para controle da horta automatizada. Porém antes de falar dos recursos da aplicação, é preciso falar sobre o banco de dados.

### 3.2.1 Conexão com o banco de dados

Para guardar as regulagens e resultados foi criada um servidor no banco de dados PostgreSQL, porém para inserir os dados no BD foi necessário conecta-lo à aplicação. Para isso existe um framework (que é um conjunto de códigos e funcionalidades destinadas à alguma aplicação específica) chamado Npgsql que é um provedor de dados ".Net" que foi criado com o intuito de fazer a integração do PostgreSQL ao Visual Studio. O uso de frameworks é muito vantajoso por ter maior eficiência visto que os mesmos permitem economizar tempo e esforço além de serem bastante confiáveis.

Ao criar o servidor do banco de dados, foi preciso apontar em qual domínio seria inserido o mesmo, e também qual porta seria utilizada, sendo que a conexão com o banco é realizada através do protocolo TCP/IP. O domínio utilizado foi o "localhost" que é o endereçamento do próprio computador e a porta foi a 5432, que normalmente é a porta padrão para conexão com o banco de dados. Após a criação do banco de dados e inclusão do Framework Npgsql foi possível conectar ao banco e fazer consultas e demais operações no mesmo. Na figura 18 tem-se um exemplo de uma função para consulta ao banco, usando C# e SQL, na qual é selecionada uma lista com todos os registros existentes na tabela de regulagens.

### 3.2.2 Regulagens

Como foi dito anteriormente, na aba de regulagens pode-se fazer o gerenciamento de todos os parâmetros que estão em funcionamento na horta, mas além disso ela é de vital importância para a aplicação pois também é onde se faz a conexão da interface com a placa de

The screenshot shows a software window titled 'Estufa Automatizada' with three tabs: 'INICIO', 'REGULAGENS', and 'GRÁFICOS'. The 'REGULAGENS' tab is active, displaying two main sections:

**Regulagem em funcionamento**

Planta:       Temperatura Máxima:   
 Umidade Mínima:       Temperatura Máxima:   
 Umidade Máxima:       Tempo Mínimo de Luz:

**Regulagens de Parâmetros da Estufa**

Planta:       Temperatura Mínima:   
 Umidade Mínima:       Temperatura Máxima:   
 Umidade Máxima:       Tempo Mínimo de Luz:

Planta	Temp Máxima	Temp Mínima	Umidade Máxima	Umidade Mínima	Tempo Min Luz
Milho	14	13	16	15	15
Feijao	14	13	16	15	15
Cana	23	18	20	18	6
Café	28	19	25	18	8
Arroz	23	18	20	18	6
Alface	23	18	50	18	6

At the bottom, there are buttons for 'Deletar', 'Cadastrar', and 'Enviar', along with a dropdown menu set to 'COM3'. A status bar at the bottom left reads 'Regulagem enviada com sucesso!'.

Figura 16 – Tela de regulagem.

Fonte: Próprio Autor

aquisição de dados, o sistema identifica se existe alguma conexão em alguma porta serial do computador, e caso exista, retorna a porta disponível para o usuário. Após estar conectado ao Arduino é possível selecionarmos os parâmetros desejados e enviar para o mesmo através de um botão. Após enviar os dados, é possível observar quais parâmetros estão em funcionamento no momento da análise, como pode ser observado na figura 16.

Quando essas variáveis são enviadas do supervisor para o Arduino passam a servir como referência de parâmetros máximos e mínimos de funcionamento do protótipo, assim possibilitando fazer o controle do sistema de acordo com os valores desejados. Para que seja possível retornar a lista das regulagens salvas e até mesmo salvar novas regulagens, é preciso fazer a interface com o banco de dados usando c# e SQL, na figura 17 observa-se um exemplo de código para conexão com o BD e também a função "SelectAll()" que é responsável por selecionar todas as regulagens existentes na tabela reg\_estufa, na figura é possível reparar que para conectar ao banco foi necessário enviar todo endereçamento do mesmo.

### 3.2.3 Gráficos

Através da aba de gráficos é possível acompanhar os valores de umidade e temperatura que foram registrados durante o funcionamento da horta automatizada ao longo do dia, existindo

```

private string connString = "Server=localhost; Port=5432; User Id=postgres; Password=postgres; Database=PROJETO_ESTUFA_DB";
public NpgsqlConnection conn;
public StringBuilder sql;
public NpgsqlCommand cmd;
public string sq;
1 referência
private static RegEstufaDAO GetDAO(IDataReader reader)
{
    // Cria instância com valores padrões
    RegEstufaDAO dao = new RegEstufaDAO();
    // Preenche dados considerando ordem dos campos no select
    if (!reader.IsDBNull(0)) dao.Planta = reader.GetString(0);
    if (!reader.IsDBNull(1)) dao.TempMax = reader.GetInt16(1);
    if (!reader.IsDBNull(2)) dao.TempMin = reader.GetInt16(2);
    if (!reader.IsDBNull(3)) dao.UmiMax = reader.GetInt16(3);
    if (!reader.IsDBNull(4)) dao.UmiMin = reader.GetInt16(4);
    if (!reader.IsDBNull(5)) dao.TmoMinLuz = reader.GetInt16(5);
    // Retorna instância criada
    return dao;
}
1 referência
public List<RegEstufaDAO> SelectAll()
{
    try
    {
        this.conn = new NpgsqlConnection(this.connString);
        this.conn.Open();
        // Monta sql
        StringBuilder sql = new StringBuilder("select");
        sql.Append(" \"PLANTA\",");
        sql.Append(" \"TMP_MAX\",");
        sql.Append(" \"TMP_MIN\",");
        sql.Append(" \"UMI_MAX\",");
        sql.Append(" \"UMI_MIN\",");
        sql.Append(" \"TMO_MIN_LUZ\"");
        sql.Append(" from public.reg_estufa");
        sq = sql.ToString();
        // Cria comando
        cmd = new NpgsqlCommand(sq, conn);
        using (IDataReader reader = cmd.ExecuteReader())
        {
            List<RegEstufaDAO> list = new List<RegEstufaDAO>();
            while (reader.Read())
            {
                list.Add(GetDAO(reader));
            }
            if (list.Count > 0)
            {
                return list;
            }
            else
            {
                return null;
            }
        }
    }
    catch (Exception exc)
    {
        EventTracer.Trace(exc);
        return null;
    }
}

```

Figura 17 – Função para consulta a tabela reg\_estufa do banco de dados.

Fonte: Próprio Autor

um gráfico para cada um desses parâmetros. Nesta funcionalidade, é possível consultarmos resultados de qualquer dia através de um calendário inserido na mesma. A análise do histórico é muito importante para o desenvolvimento de estratégias e ações, que possibilitem melhores tomadas de decisões, tanto para melhorias quanto para economia de recursos.

Para construção do gráfico, o Visual Studio fornece um objeto chamado chart, sendo que é possível modificar todos os parâmetros do mesmo, como tipo do gráfico (pizza, barras, linhas), cor da área de plotagem, legendas e outras propriedades a partir da interface gráfica ou por código. Para criação destes gráficos foi necessário realizar uma consulta SQL ao banco, para que seja possível pesquisar por dia, foi adicionado um calendário em que é possível selecionar o dia em que se deseja gerar o gráfico, como pode ser observado no exemplo da figura 18. A data selecionada é inclusa como uma condição na consulta e assim é retornado uma lista com



dados do dia especificado. Essa lista é adicionada ao objeto gráfico, como pode-se observar na figura 18. Um ponto interessante a se levar em consideração, é que todas as consultas ao banco e preenchimento de gráficos, rodam através de Threads para que o programa não fique aguardando enquanto realiza essas ações.

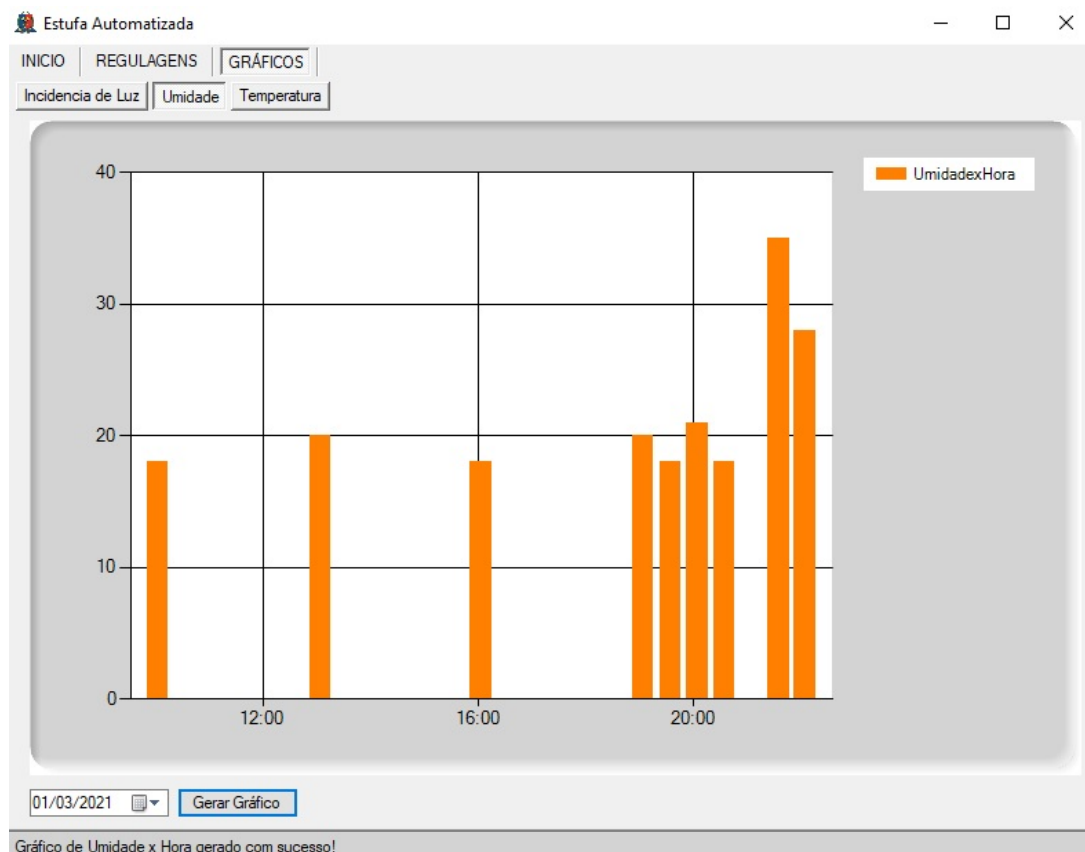


Figura 18 – Gráfico Umidade x Hora.

Fonte: Próprio Autor

### 3.2.4 Página Inicial

É muito importante conseguirmos acompanhar as leituras dos parâmetros que estão sendo controlados pelo sistema supervisorio, na página inicial encontra-se qual é a planta presente na plantação, quais são os valores de temperatura e umidade, e também qual é o *setup* escolhido para o tempo de iluminação. Além de acompanhar os valores dos parâmetros, na pagina inicial também é possível visualizar o estado de funcionamento do sistema de automação (se está ligado ou não) e é possível controlarmos a bomba de água, a iluminação artificial, a ventilação e a lâmpada de aquecimento através de botões destinados à essa função.

O funcionamento do sistema supervisorio se inicia quando a aplicação é conectada à alguma porta serial disponível, reconhecendo quando têm algum dispositivo conectado. Em relação aos LEDs e a bomba de água, quando os mesmos são ativados, é enviado uma *flag* para o Arduíno ("I" para a iluminação de LED e "B" para a bomba de água), caso a bomba de

água ou a iluminação estiver ativa, elas serão desativadas e o Arduíno retorna a *flag* "IOFF" ou "BOFF" (comando que atualiza o botão e o estados dos mesmos no supervisório para OFF), caso forem ativadas o Arduíno envia ao sistema supervisório "ION" e "BON" indicando que os mesmos estão em funcionamento. Analogamente à bomba de água e a iluminação, foi desenvolvido botões para controle do ventilador e da lampada de aquecimento, assim é possível controlar todos os atuadores do protótipo através do supervisório. Na figura 19 observa-se uma imagem de como ficou a página principal do supervisório, pode-se notar que neste momento a bomba de água estava acionada e que as leituras realizadas pelos sensores estavam retornando o valor de forma correta para o supervisório.



Figura 19 – Página principal da aplicação.

Fonte: Próprio Autor

Outro fato importante a ser comentado sobre o sistema supervisório é que o Arduíno envia para a aplicação os dados coletados pelos sensores a cada 3 segundos, porém foi criada uma lógica em que registra-se os dados recebidos apenas de 15 em 15 minutos, essa lógica foi implementada para que se tenha sempre uma leitura atualizada dos sensores e a aplicação não sobrecarregue o banco de dados com informações repetidas.

Para um melhor controle da horta e também para que seja possível aplicarmos as lógicas de forma organizada, foi criada na página inicial um controle do modo de operação (automático e manual). O sistema vem em modo manual ativado, assim permite-se atuar nos equipamentos sem restrição alguma, ou seja, independente dos parâmetros lidos pelo sensores, os atuadores serão ativados ou não. Quando altera-se o modo de funcionamento para automático, as lógicas de controle do Arduíno passam a ser realizadas, ou seja, independente se ligarmos algum equipamento o mesmo só continuará em funcionamento se for necessário, de acordo com a leitura dos sensores.

### 3.3 Estrutura e montagem do protótipo

Para montagem da estrutura do protótipo, foram utilizadas duas prateleiras de PVC próprias para construção de hortas, sendo que uma das partes foi utilizada como base para inserção da terra e a outra foi usada como suporte superior do projeto. As prateleiras são vazadas, por isso foi necessário envolver uma delas em um plástico resistente antes de colocar a terra. Para sustentar a parte superior utilizou-se quatro estacas de madeira com um metro de comprimento cada, nas quais as prateleiras foram afixadas com a ajuda de pregos. Assim foi possível montar uma estrutura firme e resistente para apoiar os componentes eletrônicos e atuadores.

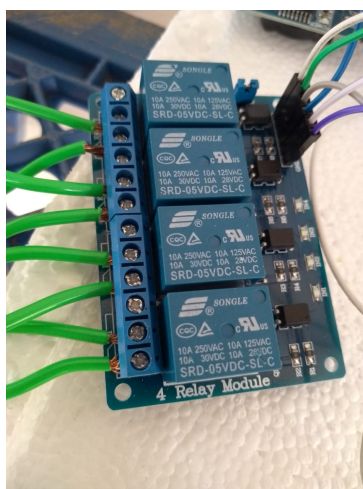


Figura 20 – Módulo relé com 4 canais.

Fonte: Próprio Autor

No projeto foram utilizados 4 atuadores, sendo 1 Lâmpada de LED para iluminação, uma lâmpada incandescente para aquecimento, um ventilador e uma bomba de água. Para ligar e desligar esses dispositivos, foi utilizado um módulo de relés com 4 canais (módulo representado na figura 20). Esse tipo de relé tem o princípio básico de um interruptor, ele é inserido na tomada do equipamento e só permite a passagem de corrente caso seja alimentado com uma tensão de 5V, permitindo controlar altas tensões utilizando baixas. Este tipo de relé contém dois tipos de ligações: normalmente aberto, que permite a passagem da corrente somente se aplicado uma tensão mínima de 5V e o normalmente fechado, que permite a passagem da corrente como padrão, e interrompe caso seja aplicada a tensão de funcionamento. Os relés utilizados são de acionamento eletromagnético, ou seja, é aplicada uma tensão na bobina do relé, que exerce uma força sobre um dos contatos fazendo com que o mesmo entre em curto circuito, permitindo a circulação da corrente (Taques, 2016). Na figura 21 pode-se perceber o funcionamento do relé, sendo que o mesmo está atuando o sistema de iluminação e irrigação.

O sistema de irrigação, como dito anteriormente, foi construído a partir de uma bomba de água da marca Pulaco que tem a tensão de funcionamento de 127 V (voltz) e uma vazão de 180 l/h (litros por hora). Esta bomba de água foi conectada a um sistema de distribuição de

água construído a partir de canos de PVC furados, quando o sensor mede a umidade abaixo do valor esperado, a bomba fica ligada durante 8 segundos (tempo suficiente para preencher toda a tubulação e distribuir uniformemente a água). Um detalhe importante é que foi preciso envolver a parte do circuito eletrônico do sensor de umidade com cola quente, afim de proteger o mesmo da água.

O tempo de iluminação artificial é controlada através do sistema supervisorio no campo de tempo mínimo de iluminação por dia, porém o Arduíno não fornece datas e horas, e fazer esse controle pelo computador não seria correto pois às vezes o sistema estará em funcionamento sem estar conectado ao mesmo. Para ter acesso a essas funcionalidades conectou-se ao Arduíno um modulo RTC (Real Time Clock), que como o nome sugere, fornece ao microcontrolador a data e hora atual. Isso é possível porque além da alimentação da placa, o modulo possui uma bateria (CR2032) que permite armazenar os dados de data e hora apesar do sistema não estar em funcionamento (ou caso aconteça uma queda de energia). O modulo possui uma tensão de funcionamento entre 3,3 V a 5 V, e consome menos de 500 nA no modo bateria. Para funcionamento correto do módulo, a primeira vez que o programa é enviado ao Arduíno, deve-se informar qual a data e hora atual. Outro detalhe é que o RTC funciona com a interface I2C, que é um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios, o SDC e o SCL. A linha SCL é responsável pelo clock do barramento, e a linha SDA pela transmissão dos dados.



Figura 21 – Estufa com iluminação de LED e bomba de água em funcionamento.

Fonte: Próprio Autor

## 4 RESULTADOS

Após a montagem da estufa foi necessário fazer a verificação do funcionamento da lógica, ou seja, se os equipamentos seriam acionados caso os parâmetros lidos pelos sensores estivessem fora da faixa selecionada nas regulagens enviadas ao Arduino. A primeira verificação foi realizada na lógica de tempo de iluminação mínima por dia. Nessa lógica, enviou-se o tempo em que a lampada de LED deve ficar ligada por dia, então a partir das 00:00h (meia noite) a iluminação é acionada e permanece até que o tempo que a iluminação ficou acionada ultrapasse a regulagem que foi enviada ao sistema. O teste foi realizado com três faixas de horário diferente (8, 10 e 12 horas), afim garantir que o resultado está dentro do esperado. Para os três horários, a iluminação desligou corretamente. Foi observado também, que às 00:00 h a iluminação artificial foi ativada automaticamente. Após os teste, foi possível concluir que a lógica para a lampada de LED estava funcionando corretamente e teve uma boa eficácia. Outro método usado para avaliarmos o desempenho da lógica da iluminação artificial, foi gerar um gráfico de iluminação por dia e analisar quando a luz estava ligada ou não, sendo que '1' indica que a iluminação de LED está ligada e '0' desligada (no dia do teste a regulagem enviada para iluminação foi 10 h diária). Na figura 22 pode ser visto que a iluminação funcionou de 00:00 h até às 10:00 h, como enviado pelo supervisor.

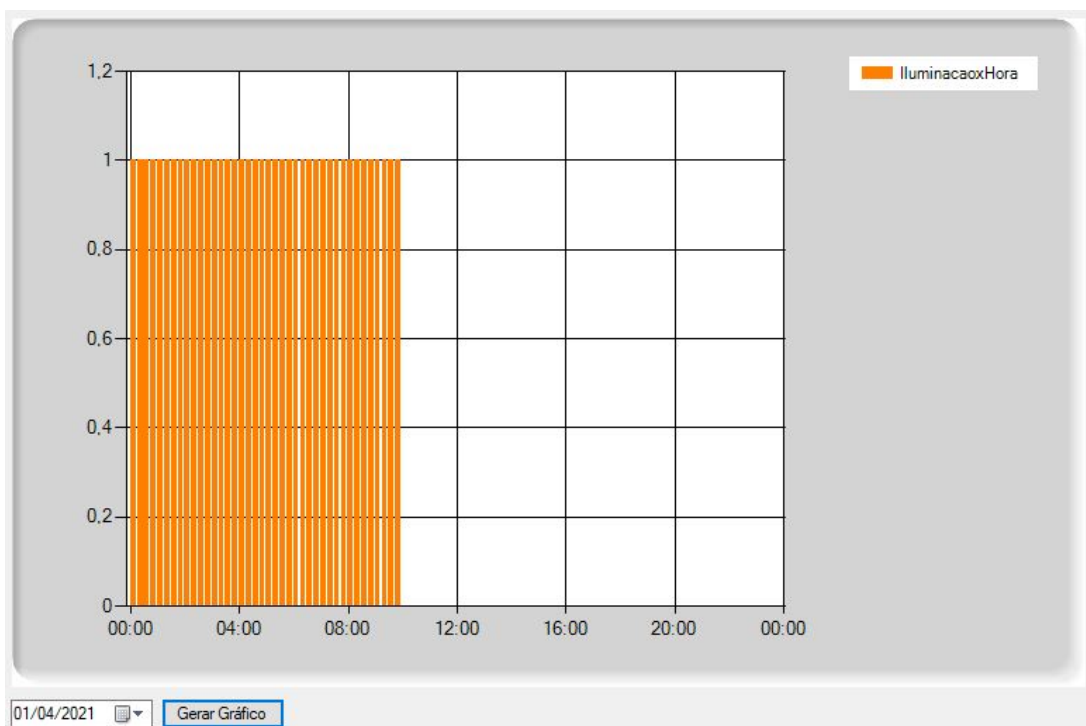


Figura 22 – Teste de iluminação diária.

Fonte: Próprio Autor

Para realizar os testes a partir das regulagens enviadas para o sistema, primeiramente

foi observado os valores que os sensores estavam retornando para o mesmo. O primeiro teste foi através do sensor de umidade, que implica diretamente no funcionamento da bomba de água. Para tal, foi observado o valor de umidade da plantação, e então foi enviado para o supervisor um valor de umidade mínima abaixo do valor atual, assim que a regulagem foi enviada o sistema reconheceu que era necessário aumentar a umidade da terra e ligou a bomba automaticamente. Além do sistema de irrigação, esse procedimento foi realizado também para o sensor de temperatura, que demonstrou uma boa resposta, ativando o ventilador quando foi enviado um valor de temperatura máxima abaixo da temperatura no momento do teste, e da mesma forma a lâmpada de aquecimento foi ativada quando enviou-se uma temperatura mínima acima da temperatura colhida pelo sensor DHT11.

Além dos testes em relação aos sensores e sobre a lógica por trás do funcionamento automático, foi necessário também realizar a verificação sobre a inserção dos dados lidos pelo sistema ao banco de dados. De maneira análoga a figura 24, foi gerado um gráfico a partir da temperatura coletada durante o dia, e a partir daí verificou-se se os dados haviam sido inseridos corretamente. Como é possível observar na figura 25, todos os dados foram inseridos corretamente com o intervalo de 15 minutos entre eles, sendo que as maiores temperaturas foram registradas entre 12:00 h e 15:00 h.

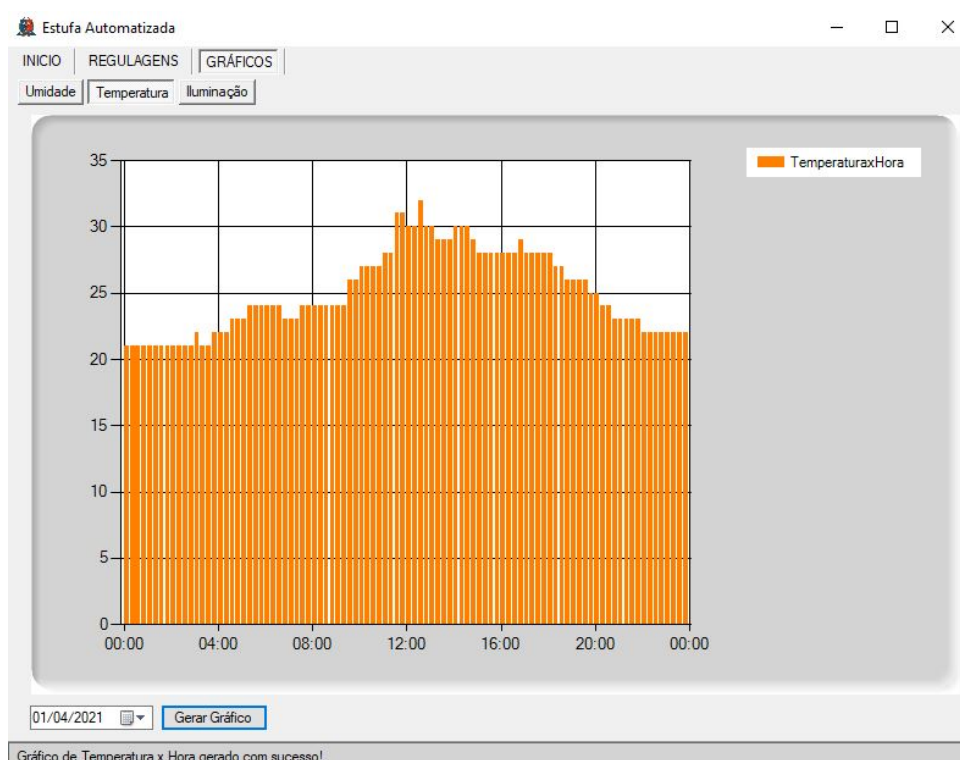


Figura 23 – Gráfico temperatura x hora.

Fonte: Próprio Autor

Da mesma forma foi gerado um gráfico de umidade por hora, para realizar a verificação da lógica de funcionamento automático do protótipo e também do funcionamento do sensor. A

umidade mínima na regulação do protótipo para o teste foi de 70%. Como o gráfico abaixo mostra, a umidade não ficou nenhuma hora abaixo do valor desejado. Observa-se que próximo às 07:00 h o valor da umidade subiu consideravelmente pois a irrigação foi acionada, indicando um bom funcionamento do sensor e do sistema de irrigação.



Figura 24 – Gráfico Umidade x Hora.

Fonte: Próprio Autor

Após a montagem do protótipo, foram plantadas 2 sementes de almeirão e 4 sementes de alface, como pode ser observado na figura 23, as sementes se desenvolveram de forma satisfatória, sendo que o protótipo operou de forma automática durante o tempo de crescimento das hortaliças (mais ou menos 17 dias). Um fato que deve ser comentado é que como não houve incidência direta do sol na plantação, conseqüentemente as temperaturas não atingiram valores tão altos e a água do solo não evaporou de forma tão rápida quanto em uma plantação normal, assim pode-se ter uma economia de água significativa, sendo que o sistema de irrigação funcionou no máximo uma vez ao dia, e por pouco tempo.

## 5 CONCLUSÃO

Após estudar sobre os microclimas e também sobre a carência de viabilização da criação de plantações nos meios urbanos, viu-se a necessidade da criação de um sistema de automação e de monitoramento das mesmas através de um sistema supervisorio de modo simplificado para controle do plantio. Nota-se que dentro de alguns anos será cada vez mais comum a prática desse tipo de colheita dentro dos grandes centros urbanos, sendo que a mesma fornece várias vantagens como economia do custo de transporte, visto o alto custo do combustível e a grande dependência do nosso país sobre o transporte rodoviário. Além da procura por alimentos orgânicos estar crescendo a cada dia.

Outro tópico importante que foi discutido neste trabalho, foi em relação sobre a importância da calibração (ou ajuste) dos sensores. Foi visto a importância dessa prática sobre o sensor de umidade resistivo, pois o mesmo aparentemente apresentava bons resultados, os valores das leituras analógicas se alteravam de acordo com a adição de água, porém conhecendo o comportamento da curva ideal (curva com o coeficiente linear negativo) foi possível encontrar uma falha no primeiro sensor utilizado, o que levou a troca do mesmo. Isso reforça uma boa prática que deve ser constantemente observada pelo engenheiro ou pelos mantenedores do sistema, que é a constante calibração dos sensores e das ferramentas utilizadas, em qualquer área de atuação.

Para desenvolvimento do sistema supervisorio foram utilizadas duas tecnologias muito importantes na construção de softwares em gerais, a primeira delas é a plataforma .NET, que pode ser manipulado através do Visual Studio na linguagem C#. Este trabalho me proporcionou uma experiência e um aprendizado muito grande sobre esta plataforma, além de que foi possível colocar em prática várias ferramentas voltadas para a área do desenvolvimento de softwares aprendidas durante o curso, como threads, programação orientada a objetos, comunicação serial, conexão com banco de dados e também me permitiu aprimorar as minhas habilidades como programador em geral. A segunda tecnologia foi o próprio banco de dados, visto que se torna cada vez mais necessário o registro dos parâmetros do processo, seja para estudos dos resultados ou até mesmo para uso em aprendizado de máquina. Também mostrou sobre a criação de um banco de dados e as tabelas nele existentes, a inserir, deletar e fazer buscas nas mesmas. O projeto do supervisorio e código do Arduino estão disponíveis no GitHub através do link '[https://github.com/ptg1995/Estufa\\_Automatizada.git](https://github.com/ptg1995/Estufa_Automatizada.git)'.

### 5.1 Sugestão para projetos futuros

Para continuidade e melhoria deste projeto existem algumas ações que podem ser realizadas no mesmo, como:

- Conectividade via módulo wifi: com o auxílio do módulo ESP8266, que contém um



microprocessador ARM (*Advanced RISC Machine*) de 32 bits, é possível integrar conexão wifi ao arduino, permitindo que o controle do protótipo seja realizado de forma remota. Assim a coleta dos dados poderia ser realizada sem que o computador esteja conectado ao sistema.

- Criação de uma estrutura mais profissional, visto que nosso projeto é um protótipo, como usar sensores e atuadores mais robustos.

- Conectar o protótipo a um sistema fotovoltaico para economia de energia e independência para trabalho no campo.

## REFERÊNCIAS

- Arduino.cc. (s.d.). Acesso em: 01 de Janeiro de 2021.
- Atmel Corporation. P.8. Atmel, Product Selection Guide. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/897466/ATMEL/MEGA2560.html>>. Acesso em: 15 de Fevereiro de 2021.
- BEZERRA, F. Produção de Mudanças de Hortaliças em Ambiente Protegido. Fortaleza, Embrapa, 2003. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/425901>>
- BRITO, M. M.; Farias, A. Espectro radiometria foliar de árvores frutíferas e o efeito da umidade sobre a resposta espectral das folhas. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em : <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.17.23>>
- DREW, D. Et al. Chlorpyrifos: Revised Human Health Risk Assessment for Registration Review. In: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY WASHINGTON, D.C. 20460. Disponível em : <<https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2008-0850-0195>>.
- GRIGORI , P. 118 agrotóxicos são aprovados durante a pandemia, liberação é ‘serviço essencial’. Disponível em: < <https://reporterbrasil.org.br/2020/05/96-agrotoxicos-sao-aprovados-durante-a-pandemia-liberacao-e-servico-essencial/>>. Acesso em: 08 de Fevereiro de 2021.
- 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: 12 de Fevereiro de 2021.
- GUIMARÃES, I. A. B. Análise e Dimensionamento de Sistema de Iluminação Artificial com LEDs para Suplementação Luminosa no Cultivo de Humulus lupulus, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/engenhariaeletrica/files/2018/01/TTC-Inah-Guimar%C3%A3es-Inah-Almeida.pdf>>
- MIRANDA, A. T. Clima urbano: Grandes cidades são ilhas de calor. Disponível em: < <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/clima-urbano-grandes-cidades-sao-ilhas-de-calor.htm>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2021.
- MOTT, Anderson. O que são sistemas supervisórios?. In Automação Industrial, em Controle de Processos, mar. 2019. Disponível em:<<https://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>>
- RODRIGUES L. N. e Domingues A. F. Agricultura Irrigada desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Brasília - DF, Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura

Irigada, 2003.

Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168474/1/Agricultura-Irigada.pdf>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2021.

Samsung Electronics Co., Ltd. Samsung Horticulture LEDs, 2018.

Disponível em : <[https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/led/lighting/applications/horticulture-lighting/White\\_Paper\\_Samsung\\_Horticulture\\_LED\\_181121.pdf](https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/led/lighting/applications/horticulture-lighting/White_Paper_Samsung_Horticulture_LED_181121.pdf)>.

SEGUNDO, Alan.; Martins, J.H.; Marcos de Barros Monteiro, P.; Alves de Oliveira, R. Monitoring System of Apparent Electrical Conductivity and Moisture Content of Soil for Controlling of Irrigation Systems. In Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering—AgEng 2014, Zurich, Switzerland, 6–10 September 2014.

SPITZCOVSKY, D. Japão usa luz LED para cultivar verduras 2,5 vezes mais rápido no meio da cidade. In: The Greenest Post, 2015.

Disponível em: <<https://thegreenestpost.com/japao-usa-luz-led-para-cultivar-verduras-de-qualidade-25-vezes-mais-rapido/>>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2021.

TAQUES, Maurício. COMANDOS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS. Disponível em: <[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~mtaques/Comandos%20Industriais/Apostila\\_Comandos\\_Industriais\\_Teoria\\_ProfMauricioTques\\_Vmar%C3%A7o2016.pdf](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~mtaques/Comandos%20Industriais/Apostila_Comandos_Industriais_Teoria_ProfMauricioTques_Vmar%C3%A7o2016.pdf)>. Acesso em: 20 de Março de 2021.