

**CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA FATEC SANTO ANDRÉ  
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**AMBIENTE CLIMATIZADO PARA CULTIVO DE COGUMELOS**

**SANTO ANDRÉ  
1º SEMESTRE DE 2018**

Bruno Possas Ghais

**AMBIENTE CLIMATIZADO PARA CULTIVO DE COGUMELOS  
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

Monografia apresentada junto ao curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial da FACULDADE DE TECNOLOGIA FATEC SANTO ANDRÉ, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Me. Luiz Vasco Puglia

**SANTO ANDRÉ  
1º SEMESTRE DE 2018**

G411a

Ghais, Bruno Possas

Ambiente climatizado para cultivo de cogumelos / Bruno Possas  
Ghais. - Santo André, 2018. – 47f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2018.

Orientador: Prof. Me. Luiz Vasco Puglia

1. Mecatrônica. 2. Estudo de caso. 3. Fabricação de estufa. 4.  
Climatização. 5. Ambiente. 6. Controle. 7. Cogumelos. I.  
Ambiente climatizado para cultivo de cogumelos.

629.8

LISTA DE PRESENÇA

SANTO ANDRÉ, 27 DE JUNHO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA  
“AMBIENTE CLIMATIZADO PARA CULTIVO DE COGUMELOS”

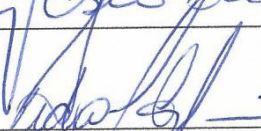
DO ALUNO DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

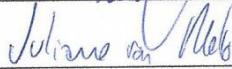
PRESIDENTE:  
PROF. LUIZ VASCO PUGLIA



MEMBROS:  
PROF. PEDRO ADOLFO GALANI

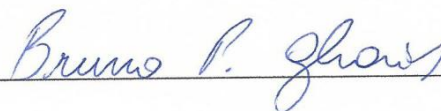


PROF. JULIANO VAN MELIS



**ALUNO:**

BRUNO POSSAS GHAIS



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, aos meus amigos e professores.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a força para superar esse obstáculo, ao Prof. Me. Luiz Vasco Puglia pela orientação, o tempo cedido e a oportunidade de realizar este trabalho. Ao professor Juliano Van Melis por ter auxiliado no estudo botânico do projeto, ao Ricardo que ajudou explicando sobre parâmetros de cultivo, aos colegas Fábio Salatiel e Allan Loçano pela ajuda no desenvolvimento do protótipo. E por último agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na formação e conclusão do projeto.

“Às vezes, a ciência é mais arte que ciência, algumas pessoas não entendem isso”.

**Rick Sanchez**

## RESUMO

Produção de alimentos é um processo de interesse do homem desde os primórdios da evolução. Diversos tipos de alimentos são cultivados comercialmente. Alimentos básicos e especiais sempre apresentam técnicas diferenciadas que permitem otimização e aumento de produtividade da qualidade. Cogumelos são fungos de cultivo bastante delicado que necessitam de controle do ambiente para garantir o sucesso de sua produção. Variáveis como temperatura, quantidade de gás carbônico, luminosidade e umidade relativa de ar devem ser mantidas em uma faixa estreita de controle durante a fase de crescimento. Este controle resulta na possibilidade de produção em qualquer ambiente e assegura a qualidade no produto. A proposta deste estudo de caso é a fabricação de estufa com ambiente controlado nas variáveis de interesse, que permita a produção de fungos em qualquer lugar. O comparativo com o método convencional permite também mensurar vantagens e desvantagens do projeto proposto, avaliando as ações que são aplicadas ao processo atual para aumento da qualidade. O estudo será realizado visando apresentar ensaios para uma possível viabilidade de implementação no processo macro.

**Palavras-chave:** Estufa, Ambiente climatizado, Cogumelos, Cultivo



## **ABSTRACT**

Food production is a process of man's interest since the dawn of evolution. Several types of foods are grown commercially. Basic and special foods always present differentiated techniques that allow optimization and increase of productivity. Mushrooms are delicate farming fungi that need to control the environment to ensure the success of their production. Variables such as temperature, amount of carbon dioxide, luminosity and relative humidity should be maintained in a narrow control range during the growth phase. This control results in increased productivity and quality in the final product, which obviously the view of the producer is translated as an increase in profitability. The proposal of this case study is the greenhouse manufacturing with controlled environment in the variables of interest, which allows the production of fungi, comparing to the end with the current process. The comparison allows to measure the advantages and disadvantages of the proposed project, evaluating the actions that are applied to the current process to increase quality. The study will be carried out aiming to present a test, for a possible feasibility of being implemented in the macro process.

**Tags:** Greenhouse, Climatized environment, Mushrooms, Cultive

## Lista de Figuras

Figura 1 - Divisão do reino Fungi .....	17
Figura 2 - Anatomia de um cogumelo .....	18
Figura 3 - Shimeji .....	21
Figura 4 - Arduino Uno .....	23
Figura 5 - Arduino Uno I/O's .....	23
Figura 6 - Pinagem ATmega328 usado no Arduino UNO .....	24
Figura 7 - LM35 .....	24
Figura 8 - DHT11 .....	25
Figura 9 – Sensor sem a capa de proteção .....	25
Figura 10 - Funcionamento do sensor .....	26
Figura 11 - Símbolo do Termistor NTC .....	26
Figura 12 - Gráfico de resposta dos termistores NTC e PTC .....	26
Figura 13 - Protocolo de Transmissão do DHT11 .....	27
Figura 14 - Transmissão Bit-a-Bit do sensor .....	28
Figura 15 - Visão geral do sensor .....	28
Figura 16 - Circuito do sensor .....	28
Figura 17 - Como funciona um refrigerador a gás .....	29
Figura 18 - Diagrama de blocos para Malha Fechada .....	30
Figura 19 - Função de transferência em Malha Aberta .....	31
Figura 20 - Função de transferência em MF .....	33
Figura 21 - Algoritmo da Metodologia do projeto .....	34
Figura 22 - Protótipo .....	35
Figura 23 - Estufa vista de frente .....	36
Figura 24 - Projeto do compensador em MF .....	36
Figura 25 - Gráfico de resposta do sistema sem controle .....	37
Figura 26 - Diagrama de Polos e Zeros .....	39
Figura 27 - Resposta da função de transferência .....	39
Figura 28 - Diagrama de Polos e Zeros já compensado .....	40
Figura 29 - Modelo Teórico do compensador .....	40
Figura 30 - Resposta do sistema compensado com ganho igual a 1 ....	41
Figura 31 - Resposta com ganho de 10,7 .....	41
Figura 32 - Resposta do sistema com ganho de 107 .....	42

Figura 33 – Modelo teórico com ganho de 107.....	42
Figura 34 - Gráfico da saída do Controle On/Off.....	43
Figura 35 - Simulação Copo de Água .....	44

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1    Objetivos.....	14
1.2    Explicação Macro.....	15
1.3    Organização da Monografia .....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
2.1    Estado da Arte.....	16
2.2    Cogumelos .....	17
2.2.1    Reprodução do fungo .....	19
2.3    Cogumelo Shimeji.....	20
2.4    Arduino uno .....	23
2.4.1    Entradas e Saídas.....	23
2.4.2    Atmel Atmega328.....	24
2.5    LM35 – Sensor de temperatura .....	24
2.6    DHT11 – Sensor de temperatura e umidade .....	25
2.6.1    Princípio de funcionamento.....	25
2.6.2    Sinal e Resposta do Sensor .....	27
2.7    MQ135 – Sensor de Dióxido de Carbono.....	28
2.7.1    Princípio de funcionamento.....	28
2.8    Refrigerador a gás.....	29
2.9    Controle em Malha Fechada .....	30
2.9.1    Modelagem Matemática .....	31
2.9.2    Transformada de Laplace.....	31
2.9.3    Função de Transferência em Malha Fechada .....	33
<b>3. PROJETO .....</b>	<b>34</b>
3.1    Metodologia.....	34
3.2    Ambiente Climatizado .....	35
3.3    Projeto do Controlador de Temperatura.....	36
3.3.1    Determinação da Função de transferência da Planta .....	37
3.3.2    Determinação do Compensador .....	38

<b>4. SIMULAÇÃO E RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS FUTURAS .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Há milênios o homem enfrenta variados tipos de dificuldade na agricultura como terreno infértil e clima seco. Egípcios procuravam canalizar o rio Nilo a fim de tornar férteis terras mais distantes e assim melhorar sua produção.

Ao passar dos anos e o desenvolvimento das ferramentas agrícolas facilitou-se o plantio, mas ainda com o ambiente sendo o maior dos empecilhos. A partir desta observação, o homem desenvolveu estufas, que permitiram a melhoria do processo produtivo em condições adversas.

A tecnologia atual, permite propor a construção de uma estufa de ambiente controlado em alguns itens considerados importantes para o processo produtivo. Temperatura, luminosidade, umidade, concentração de CO<sub>2</sub>, podem ser controlados durante a fase de desenvolvimento da produção e mensurada sua influência no processo.

Neste trabalho é proposta a construção de uma estufa com controle de alguns parâmetros durante o processo produtivo e ao final a verificação dos mesmos no resultado.

## 1.1 Objetivos

O ambiente controlado para cogumelos tem como principal objetivo o estudo das variáveis que influem no processo do cultivo de cogumelos. A Estufa permitirá a realização de ensaios e análise para a melhor forma de plantio, mostrando em um determinado local quais variáveis serão prioridade e precisarão de um maior investimento, tornando assim mais fácil realizar a produção em larga escala. Seu objetivo de segunda instância é possibilitar a um pequeno produtor, ou um amante do fungo a capacidade de conseguir produzir em pequena escala cogumelos para consumo independentemente do clima externo.

## **1.2 Explicação Macro**

Para atingir o objetivo primário previamente dito, a estufa precisará de sistemas que realizem e mantenham um determinado controle. O fungo utilizado para os primeiros testes do projeto será o cogumelo shimeji (*Pleurotus spp.*).

Algumas variáveis já conhecidas em grande parte pelos produtores, como a temperatura do ambiente de cultivo, a umidade do sistema e a concentração de gás carbônico, necessitam estar estáveis para que o padrão de qualidade seja mantido e o cogumelo cresça da melhor forma possível.

Para isso a utilização de alguns atuadores será necessária, para a realização do controle de temperatura, que das três é a mais importante, o sistema contará com um compressor de bebedouro pois para a produção ideal do shimeji os níveis de temperatura devem ser em torno de 17 graus Celsius. A variável de umidade do ambiente, necessitará estar em torno de 92 – 95% e para isso tem se em mente utilizar um umidificador de ar portátil. E para a de gás carbônico pretende-se manter os valores em até 700ppm, utilizando de uma simples ventoinha para realizar a renovação do ar.

## **1.3 Organização da Monografia**

Essa monografia apresenta logo nos capítulos iniciais o tema, objetivos e a organização do projeto. Logo depois vem uma fundamentação teórica que busca fornecer a base necessária para uma melhor compreensão do funcionamento de um ambiente controlado para cultivo de cogumelos, contendo também uma explicação sobre como se dá a reprodução e cultivo do fungo. Na metodologia trata-se do desenvolvimento da estufa controlada, mostrando os resultados obtidos, encerrando com a conclusão e referências usadas para a composição desse trabalho.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Estado da Arte**

O estudo feito por Royse em 1995, relata o aumento do consumo de cogumelos no mundo e com isso a necessidade de melhora na produção do mesmo de forma a atender a demanda. O artigo também ilustra e conta os bastidores de uma pesquisa feita no Japão e Estados Unidos, na época os maiores produtores do fungo, que visava o uso de substrato sintético para o cultivo. Agricultores efetuaram testes, colheram amostras durante anos a fim de descobrir formas de melhorar o composto no substrato. Aprimoraram técnicas de pasteurização, esterilização assim como a inoculação mecânica da semente. Compostos foram estudados com o objetivo de suprir todos os nutrientes necessários para a frutificação. Esse estudo gerou a conclusão de que substratos ricos em nutrientes tem a capacidade de influir drasticamente na qualidade e quantidade de cogumelos produzidos, tornando a prática do cultivo de cogumelos algo mais lucrativo.

Já Burrage em 1988 cita em seu artigo a relação entre as grandezas necessárias para o cultivo, como por exemplo, a ventilação e o fato de ela gerar uma perda maior de calor, CO<sub>2</sub> e umidade no sistema de tuneis fechados. Usando um computador com entradas analógicas para a leitura de sensores, realizando um controle das grandezas com ventiladores e aquecedores de água. Como conclusão do estudo o sistema quando controlado apresentou melhorias e uma menor interferência do meio no sistema.

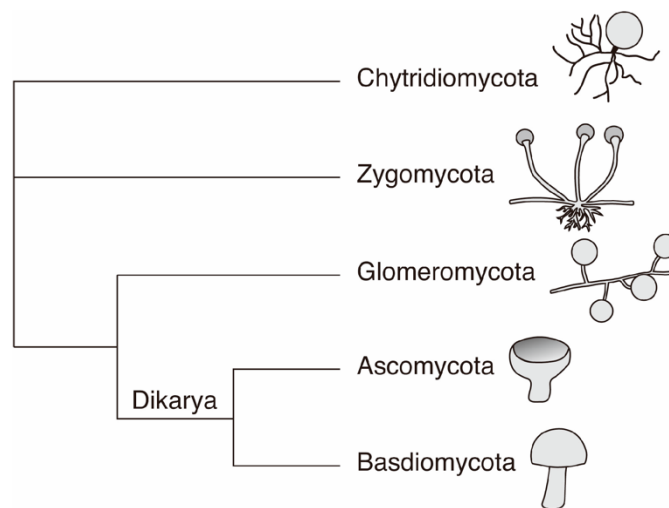


## 2.2 Cogumelos

De acordo com Chang and Miles (1997) o cogumelo é um macro fungo com um corpo frutífero peculiar e que pode brotar acima da terra (*epigeous*) ou abaixo (*hypogeous*), seu corpo frutífero tem o tamanho suficiente para ser visto à olho nu e pode ser colhido facilmente com as mãos. Fungos e bactérias são popularmente conhecidos como "decompositores da natureza", todos os fungos podem decompor, mas somente os da classe *Basidiomycetes* formam os cogumelos conhecidos pelo homem (Chang & Miles, 1984).

O reino fungi abrange a todos os tipos de cogumelos, podendo ser comestíveis ou não, esse reino possui um sub-reino *Dikarya* em que se encontram as espécies de cogumelos mais comuns, que possuem corpo frutífero, esse sub-reino divide-se em 2 grandes filios o *Ascomycota* e o *Basidiomycota* (Chang & Wasser, 2017). No filo *Ascomycota* encontram-se aqueles bolores verde que normalmente aparecem em alimentos estragados, mas também encontramos algumas trufas comestíveis, o *Basidiomycota* é o foco desse estudo, por conter a maioria das espécies comestíveis de cogumelos.

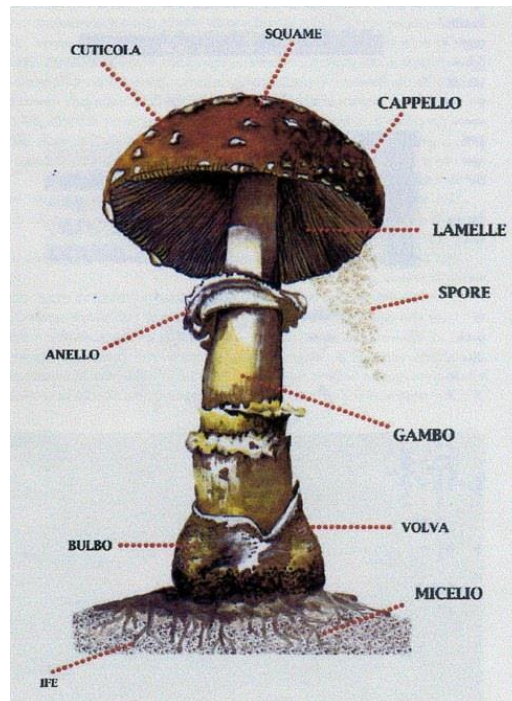
Figura 1 - Divisão do reino Fungi



retirado de: [http://bit.ly/fungi\\_kingdom](http://bit.ly/fungi_kingdom)

A maioria dos cogumelos possui um corpo frutífero característico, sendo composto principalmente do *cappello* (*chapéu*), e do *gambo* (tronco). Na Figura 2 podemos detalhadamente observar todas as partes que compõe o macro fungo.

Figura 2 - Anatomia de um cogumelo



retirado de: [http://bit.ly/fungo\\_anatomia](http://bit.ly/fungo_anatomia)

**Cappello** (chapéu), é a parte mais comum nos fungos superiores (epigeus). Tendo forma, textura e cor variáveis em função da espécie, idade, condições climáticas e habitat. É muito importante para o reconhecimento e determinação das espécies do filo. Na parte interna do *cappello* encontram-se as lamelas (*Lamelle*), pequenas laminas dispostas de forma radial, cuja função é dar suporte ao chapéu e guardar os esporos (*Spore*). Na parte externa encontram-se a (*cutícula*) e o (*squame*) que servem para a proteção do *cappello*.

**Spore** (esporos), um dos responsáveis pela reprodução do fungo. São produzidos em grande quantidade, cerca de 40 milhões de esporos em um cogumelo de 7.5 centímetros de diâmetro (Chang & Miles, 1984).

**Gambo** (tronco), é a estrutura que sustenta o *cappello* e pode apresentar variações características, como cor, forma e outras em função da espécie.

**Anello** (anel), é uma membrana que envolve a base superior do tronco do cogumelo. Está presente em alguns tipos de cogumelos.

**Bulbo** e a **Volva** são membranas que envolvem completamente o fungo quando jovem, apenas para algumas espécies.

### 2.2.1 Reprodução do fungo

Os cogumelos são fungos que se alimentam principalmente de celulose além de outros nutrientes, por exemplo, é natural que se encontre focos de cogumelos em madeiras velhas expostas ao tempo em decomposição.

A maneira natural de se obter um cogumelo é contar com o processo de reprodução onde ele abre suas lamelas e libera os esporos no ar, que carregados pelo vento acabam fecundados no solo, dentro das condições ideais de cultivo (Chang & Miles, 1984). Com base nisso, é correto a afirmação de que o cogumelo não possui a semente em si, e sim processos naturais de clonagem e reprodução da sua espécie.

Em uma situação totalmente favorável de ambiente, nutrientes necessários, luminosidade e livre de qualquer contaminação por microrganismos, é possível concluir conceitualmente que a maioria dos cogumelos no seu processo reprodutivo seriam do mesmo tamanho, peso, cor e formato levando em conta sua estrutura.

Industrialmente falando existem dois tipos de obtenção do cogumelo, seriam basicamente, a clonagem induzida e o cultivo usando uma semente sintética.

O primeiro, a clonagem, é pouco usado por não ser conveniente para larga escala, além de ser um processo muito delicado, possui nível de produtividade muito baixo. É comum encontrar esse tipo de processo em pesquisas da parte genética do cogumelo a fim de melhorar o processo da semente sintética.

Esse procedimento necessita ser feito em um ambiente totalmente livre de contaminação e todos os equipamentos usados no processo esterilizados.

O processo é iniciado da retirada de um pedaço na parte interna do cogumelo entre o *gambo* e o *cappello*, depositando esse pedaço em um meio totalmente nutritivo, por exemplo bagaço-de-cana, isolado em um recipiente de vidro com garantia de 25°C em temperatura ambiente, onde o micélio irá se desenvolver, crescendo sob a superfície do pedaço extraído primariamente e inserido no meio nutritivo. Com esse tipo de procedimento é possível a obtenção de uma cultura muito próxima as características da cultura inicial. Esse tipo de reprodução é assexuada, onde se faz um clone do organismo original.

No segundo, a obtenção da semente sintética, é o mais usado, além de ser um processo rápido e simples, é mais robusto. Esse processo também necessita de um ambiente controlado de microrganismos e por sua vez os equipamentos usados no processo também devem ser esterilizados.

O processo é feito através da obtenção de uma espécie de pólen, proveniente das *lamelas* do cogumelo. O *cappello* é extraído, deixado em repouso de 12 a 24 horas virado para baixo sob uma superfície de vidro esterilizada com álcool e flambada com chama proveniente de um bico de Bunsen.

Passado esse tempo, é possível notar o desprendimento desse pólen sob a superfície do vidro, esse pólen em pequena quantidade é misturado com farelo de arroz ou de algum outro meio solido fibroso rico em celulose, gerando assim uma semente sintética robusta, com excelentes propriedades e pronta para ser cultivada.

### **2.3 Cogumelo Shimeji**

O Cogumelo *shimeji* (*Pleurotus ostreatus*) é uma espécie de fungo que desenvolve naturalmente em clima temperado como em clima tropical.

É um cogumelo que tem atraído produtores brasileiros em função da sua versatilidade em poder ser cultivado em vários tipos de substratos, como madeira e composto a base materiais fibrosos.

Além do fato de se haver uma menor exigência em relação ao investimento em climatização para produção.

O tamanho dos cogumelos varia entre 5 a 9 cm em média. Os são de coloração marrom claro com manchas brancas e seus esporos são de coloração branca.

*Figura 3 - Shimeji*



*retirado de: <http://bit.ly/2MKe6SN>*

Este cogumelo cresce em temperaturas baixas, com velocidade de colonização moderada. A cor depende da temperatura, quanto mais baixa mais escuro fica o cogumelo. A quantidade de luz também influi na coloração do chapéu, quanto mais luz, mais escuro ficará o cogumelo. Deve-se usar máscaras para coleta dessa espécie de cogumelo pois liberam grandes quantidades de esporos quando estão maduros.

O cogumelo shimeji necessita dos seguintes padrões de referência em seu cultivo:

- Composto: usar composto feito com palha de cereais ou feito com serragem
- Tratamento térmico: pasteurizar a uma temperatura entre 70 e 80°C por 1 hora (palhas) ou esterilização a 120°C por 1 hora (compostos com serragem)
- Inóculo: preparar em sementes de cereais
- Inoculação: usar 2 % de inóculo (em sementes) em relação ao peso de substrato úmido ou 10 % em relação ao peso de substrato seco.
- Umidade do composto: de 62 a 63%
- Incubação: temperatura ambiente: aproximadamente entre 24 a 26°C, duração de 19 a 22 dias em ausência de luz.

- Indução dos primórdios: temperatura ambiente: de 6 a 15°C e umidade relativa de 95 a 100% por 3 dias. Aumentar a aeração do ambiente e manter a iluminação equivalente a luz natural sob uma árvore durante o dia.
- Frutificação: temperatura ambiente entre 10 a 21°C, umidade relativa de 85 a 90%, iluminação e aeração conforme acima. A falta de aeração causa a má formação dos cogumelos, ficando com pé comprido e chapéu diminuto. Com pouca luz o efeito é similar ao do excesso de gás carbônico (Paul Stamets and J.S. Chilton, 1983).

O padrão de tempo total do cultivo do cogumelo shimeji varia entre duas a três semanas, embora os fatores climáticos, ambientais e principalmente as condições do micélio e substrato interferem totalmente nesse padrão.

A demanda de Shimeji tem crescido rapidamente no Brasil em função da aceitação do consumidor brasileiro ao produto. Isso ocorre em função do aumento do consumo de alimentos saudáveis (cogumelo é fonte proteica dissociado de gordura), do público vegano e vegetariano além da popularização da culinária oriental.

Atualmente, a comercialização é do produto "in natura" e provavelmente, já é maior que o do cogumelo Shiitake, é um cogumelo de preço mais acessível ao consumidor e mais disponível pela maior facilidade de produção.

O shimeji é fonte de fibras, vitaminas e minerais e possui alto teor proteico. Contêm grande concentração de aminoácidos.

Suas propriedades terapêuticas abrangem a capacidade de modular o sistema imunológico, possuir atividade hipoglicêmica e antitrombótica, diminuir a pressão arterial e o colesterol sanguíneo, e possui ação antitumoral, anti-inflamatória e antimicrobiana. Segundo estudos recentes o *P. Ostreatus* (Shimeji) tem a capacidade de auxiliar no tratamento de alguns tipos de câncer (Khan and Tania, 2012).

## 2.4 Arduino uno

Segundo o site do Arduino (“*What’s Arduino?*”, 2017). O Arduino consiste em uma plataforma *open-source* que possibilita ao usuário uma maior mobilidade, devido ao fato de não precisar de uma placa de circuito impresso, amplamente utilizada para a confecção de protótipos de cunho educativo ou para pequenas automações residenciais. Possui seu próprio ambiente de programação baseado na linguagem C e devido a ampla comunidade programadora, apresenta inúmeras bibliotecas de sensores.

Figura 4 - Arduino Uno

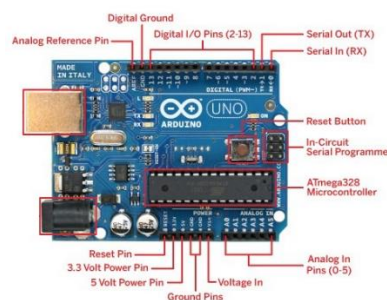


retirado de: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

### 2.4.1 Entradas e Saídas

De acordo com o site do Arduino ([arduino.cc](http://arduino.cc)), possui 14 pinos que podem ser utilizados como entradas e saídas digitais (sendo 6 deles disponíveis como saídas PWM), 6 entradas analógicas usadas para a leitura de sensores de grandezas físicas, como os de temperatura, umidade e outros. Cada um de seus pinos digitais podem ser colocados no programa, apenas chamando a função “`digitalWrite();`” para saídas e “`digitalRead();`” para entradas, é importante configurar antes quais entradas e saídas irá utilizar, chamando a função “`pinMode();`” no setup do Arduino, entrando com o número do pino, e 1 ou 0 indicando se ele será entrada ou saída.

Figura 5 - Arduino Uno I/O's

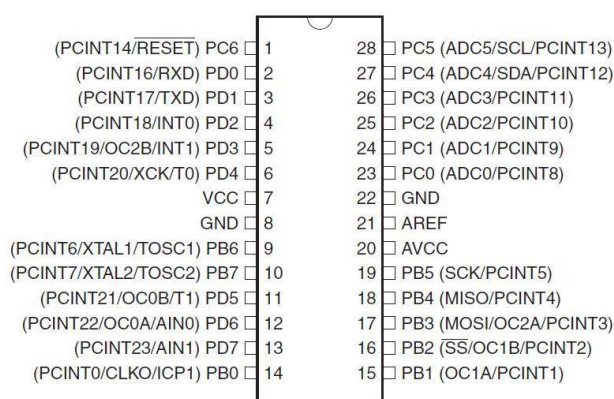


retirado de: [bit.ly/Arduinoboard](http://bit.ly/Arduinoboard)

## 2.4.2 Atmel Atmega328

Segundo o datasheet (Atmel, 2016). O cérebro do Arduino Uno, o Atmega328 conta com 32 KB de Flash (mas 512 Bytes são utilizados para o bootloader), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Projetada para operar em 20MHz, sendo que trabalha com 16 MHz no Arduino Uno, possuindo 28 pinos, sendo que 23 desses utilizados como I/O.

Figura 6 - Pinagem ATmega328 usado no Arduino UNO



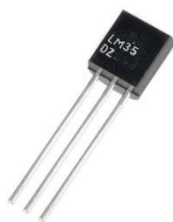
retirado de: [bit.ly/ATmegaschema](http://bit.ly/ATmegaschema)

## 2.5 LM35 – Sensor de temperatura

Um sensor de temperatura capaz de realizar medidas na precisão de 0,5°C aproximadamente, trabalha de -55 até 150°C com uma resolução de 10mV/°C (Eletronica, n.d.). Sua comunicação com o Arduino é boa, devido ao fato de ser um sensor analógico, quando aplicado 5V seu cálculo passa a ser o seguinte:

$$V_{temp} = (A0 * 5 * 100)/1024$$

Figura 7 - LM35



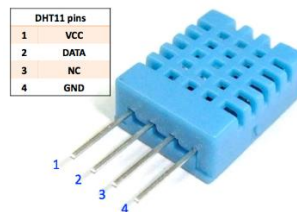
retirado de: [bit.ly/lm35tempsensor](http://bit.ly/lm35tempsensor)



## 2.6 DHT11 – Sensor de temperatura e umidade

Segundo Warren W. Gay (2014) o DHT11 é capaz de medir a umidade relativa do ar entre 20 e 90% com a precisão de  $\pm 5\%$  e uma variação de temperatura de 0 a 50°C com uma precisão de  $\pm 2\%$ .

Figura 8 - DHT11



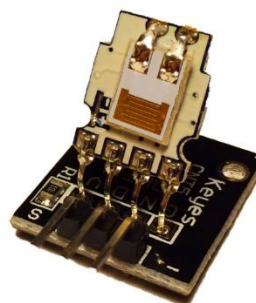
retirado de: [bit.ly/dht11photo](http://bit.ly/dht11photo)

O sensor tem a capacidade de operar entre 3 e 5.5V, o que facilita seu uso em conjunto ao Arduino Uno, pelo fato de ser capaz de medir 2 variáveis simultaneamente torna-se viável para o projeto da criação de cogumelos.

### 2.6.1 Princípio de funcionamento

O DHT11 consiste em basicamente dois sensores, um para umidade, e o NTC para a medição de temperatura e um CI para facilitar a transmissão de dados ao microcontrolador (Basic, n.d.).

Figura 9 – Sensor sem a capa de proteção



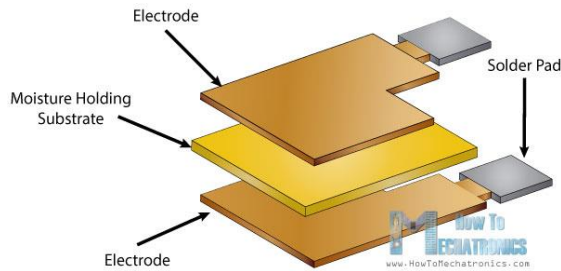
Front view with  
cover removed

retirado de: <http://bit.ly/2MJVr9S>

O sensor de umidade consiste em 2 placas separadas por um polímero que ao absorver a umidade do ar, muda seu comportamento aumentando sua condutividade. O CI dentro do DHT11 percebe esse aumento da condutividade

através da variação da resistência entre as placas, efetuando a leitura do sinal e transmitindo-o ao Arduino. (Nedelkovski, n.d.)

Figura 10 - Funcionamento do sensor

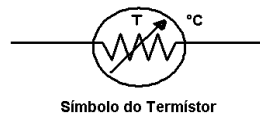


retirado de: <http://bit.ly/2MK37Zz>

O sensor NTC altera sua resistência termicamente, ou seja, a variação da temperatura causa uma variação inversamente proporcional na sua resistência.

Amplamente utilizados no mercado para controlar a temperatura em dispositivos eletrônicos, como por exemplo no ar-condicionado, no aquecedor de aquário, termômetros e entre outros.

Figura 11 - Símbolo do Termistor NTC

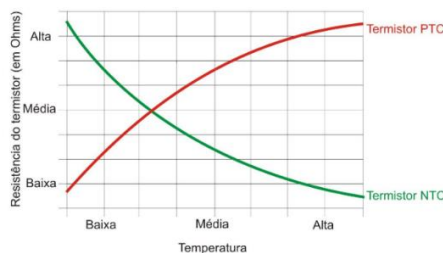


Símbolo do Termistor

retirado de: <http://bit.ly/2MLjW6v>

Seu único empecilho é o fato de precisar de calibração, devido a sua variação resistiva em função da mudança de temperatura ser não linear, mais precisamente uma função exponencial decrescente, como podemos ver no gráfico da Figura 12.

Figura 12 - Gráfico de resposta dos termistores NTC e PTC

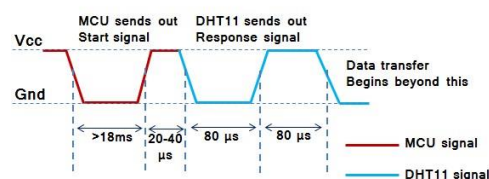


retirado de: <http://bit.ly/2MHhH4f>

## 2.6.2 Sinal e Resposta do Sensor

Por ser um sensor prático, o DHT11 possui um protocolo de transmissão para o micro controlador. Seu funcionamento é relativamente simples, a MCU manda um sinal 0 (LOW) de **Start** maior que 18ms, 20-40µs depois o sensor manda um sinal de 80ms em 0 (LOW) e um outro de 80ms em 1 (HIGH) confirmando a requisição dos dados, logo após essa confirmação o sensor transmite 5 bytes de dados ao MCU, contendo as informações de temperatura e umidade. (Warren W. Gay, 2014)

Figura 13 - Protocolo de Transmissão do DHT11



retirado de: <http://bit.ly/2MMaoYS>

Esses 5 *bytes* (40 *bits*) são transmitidos em partes, sendo o primeiro e o terceiro *byte* os mais importantes (umidade relativa e temperatura).

***Data (40-bit) = Integer Byte of RH + Decimal Byte of RH + Integer Byte of Temp. + Decimal Byte of Temp. + Checksum Byte***

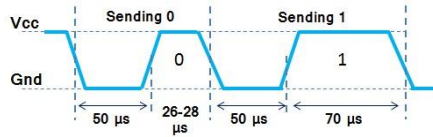
Para o sensor os *bytes* decimais de umidade (*Decimal Byte of RH*) e temperatura (*Decimal Byte of Temp.*) serão sempre zero, servindo apenas para a conversão de binário para decimal, importando realmente os *bytes* do tipo *int* de temperatura e umidade. O quinto *byte* chamado de checksum serve para verificar se todos os dados foram transmitidos com sucesso, ele soma todos os últimos 8 *bits* de cada um dos *bytes*, se a soma der inferior ao valor de dados enviados, ele envia um *bit* para o sensor tentar uma reconexão.

***Checksum = Last 8 bits of (Integer Byte of RH + Decimal Byte of RH + Integer Byte of Temp. + Decimal Byte of Temp.)***

Ao transmitir os *bits* de dados o sensor define o tempo para diferenciar mudanças de estado, primeiramente manda-se um sinal de 0 (LOW) de 50µs, se o próximo *bit* for "0" então o sensor manda um sinal de 1 (HIGH) por

aproximadamente  $28\mu\text{s}$ , caso o *bit* venha a ser “1” o sensor manda um sinal de HIGH por aproximadamente  $70\mu\text{s}$ .

Figura 14 - Transmissão Bit-a-Bit do sensor



retirado de: <http://bit.ly/2MMtEWp>

## 2.7 MQ135 – Sensor de Dióxido de Carbono

Segundo o datasheet (Olimex, n.d.), o MQ-135 é usado no controle de ambientes, podendo detectar rapidamente gases como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , álcool, benzeno, fumaça,  $\text{CO}_2$ , etc.

Figura 15 - Visão geral do sensor



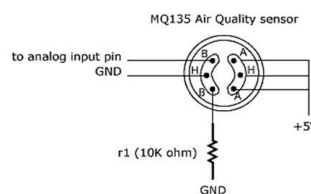
retirado de: <http://bit.ly/2MLqKkC>

Podendo trabalhar com 5V, ser fácil de calibrar e possuir um baixo custo em comparação aos outros existentes no mercado.

### 2.7.1 Princípio de funcionamento

O sensor consiste em uma camada de óxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ) que possui baixa condutividade, junto com um aquecedor que ioniza o gás presente no ambiente, ao ser ionizado o óxido absorve parte desse gás aumentando a condutividade do material, gerando o valor monitorado (Agarwal, n.d.).

Figura 16 - Circuito do sensor

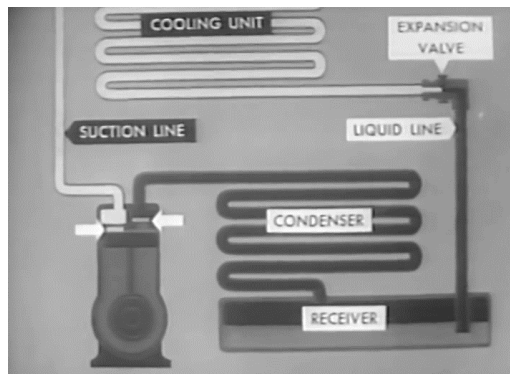


retirado de: <http://bit.ly/2MI4Oqu>

## 2.8 Refrigerador a gás

Consiste em um sistema de refrigeração eficiente e amplamente usado em geladeiras e bebedouros. Seu princípio de funcionamento se dá através da compressão de um gás, que passa por um condensador (*Condenser*), transformando-o em um líquido de alta pressão que vai até a válvula de expansão (*Expansion Valve*) liberando a pressão, nisso o líquido, com baixa pressão e baixa temperatura, passa pela área que será resfriada (*Cooling Unit*) e absorve calor resfriando o ambiente e retornando ao estado de gás devido ao baixo ponto de ebulição do líquido refrigerante (Education, 1944).

Figura 17 - Como funciona um refrigerador a gás



retirado de: [bit.ly/refri1944](http://bit.ly/refri1944)

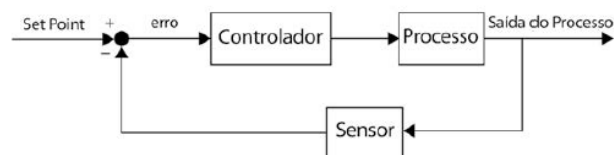
## 2.9 Controle em Malha Fechada

Para o cultivo de cogumelos obter um melhor rendimento o sistema deverá ser capaz de corrigir precisamente erros de grandezas como temperatura e umidade. Uma forma de corrigir esses possíveis erros é utilizando o conceito de controle em malha fechada.

O controle de malha fechada consiste basicamente em um sistema físico, que possui uma realimentação em sua saída, como por exemplo, para controlarmos a velocidade de um motor usam-se um tacho gerador, que basicamente converte velocidade em tensão, ou seja, o inverso do motor. Ao obter o valor de tensão com base na velocidade, basta realimentar o motor com a tensão que o tacho produz adquirindo então a velocidade desejada.

Um sistema de malha fechada pode ser representado utilizando um diagrama de blocos.

Figura 18 - Diagrama de blocos para Malha Fechada



retirado de: <http://bit.ly/2MN9qvN>

O conceito mais importante para executar um controle em MF (Malha Fechada) é a função Erro, que consiste em subtrair seu valor desejado (Set Point) pelo valor obtido através do Sensor.

$$E(s) = R(s) - C(s)$$

Onde:

$E(s)$ : Função Erro

$R(s)$ : Set Point

$C(s)$ : Valor obtido pelo sensor

### 2.9.1 Modelagem Matemática

A execução bem-sucedida de um controle depende diretamente da forma que ele foi projetado, para isso utilizamos a modelagem matemática do sistema.

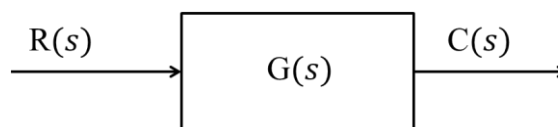
Segundo Maya em seu livro Controle Essencial (2011), a modelagem matemática de um sistema físico é a definição de equações que descrevem o comportamento do sistema. Essa modelagem pode ser obtida através de equações algébricas diferenciais ou dinâmicas, um conceito importante para a modelagem é a Transformada de Laplace, que busca facilitar o projeto, evitando o uso de integrais ou derivadas.

Além da modelagem matemática podemos obter a equação através da análise fenomenológica do sistema, que consiste em monitorar o comportamento físico do objeto de estudo a fim de obter um gráfico que mostre o padrão de resposta do mesmo.

### 2.9.2 Transformada de Laplace

Definimos uma transformada de Laplace como uma função de transferência  $G(s)$ , com base na função  $f(t)$  previamente definida através do estudo comportamental analisado anteriormente.

Figura 19 - Função de transferência em Malha Aberta



Fonte: autor

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$$

Onde:

**G(s):** Função de Laplace obtida.

**C(s):** Polinômio de Saída obtida.

**R(s):** Polinômio da Entrada do sistema.

Para facilitar a conversão existe uma tabela de transformadas, que converte uma equação dinâmica/diferencial em uma equação algébrica com base em s.

Tabela 1 - Tabela de transformadas de Laplace

	$f(t)$	$F(s)$
1	Impulso unitário $\delta(t)$	1
2	Degrau unitário $1(t)$	$\frac{1}{s}$
3	$t$	$\frac{1}{s^2}$
4	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{1}{s^n}$
5	$t^n \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
6	$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
7	$te^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^2}$
8	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{1}{(s+a)^n}$
9	$t^n e^{-at} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{n!}{(s+a)^{n+1}}$
10	$\text{sen } \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
11	$\text{cos } \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
12	$\text{senh } \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 - \omega^2}$
13	$\text{cosh } \omega t$	$\frac{s}{s^2 - \omega^2}$

retirado de: <http://bit.ly/2MNRhCO>

Exemplo: A função  $f(t) = e^{-at}$  poderia ser resolvida usando métodos arcaicos e de grande dificuldade como integrais, mas usando Laplace basta consultar a tabela e realizar a conversão.

$$G(s) = \frac{1}{s+a}$$

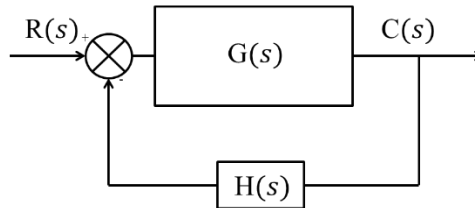
Existe também o processo contrário que consiste em transformar uma função de Laplace em uma função  $f(t)$  chamada Inversa de Laplace.



### 2.9.3 Função de Transferência em Malha Fechada

Utilizando a função  $G(s)$  definida anteriormente podemos obter a função de transferência em malha fechada.

Figura 20 - Função de transferência em MF



Fonte: autor

Um sistema em malha fechada, consiste em uma realimentação da saída no sistema, definindo a função  $F(s)$  como:

$$F(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s).H(s)}$$

Onde:

**F(s):** Função de transferência em MF.

**G(s):** Função de Laplace antes definida.

**H(s):** Realimentação.

### 3. PROJETO

#### 3.1 Metodologia

A Estufa para cultivo de cogumelos foi desenvolvida após o estudo das condições necessárias par seu desenvolvimento.

- ✓ Temperatura controlada em duas fases de seu crescimento
  - 18°C, nos primeiros 30 dias
  - 23°C para seu crescimento e produção
- ✓ Umidade controlada entre 80 e 95%
- ✓ CO<sub>2</sub> controlado em 600ppm para crescimento do chapéu

Sua implementação foi dada através do seguinte algoritmo de trabalho, como podemos ver na Figura 21.

Figura 21 - Algoritmo da Metodologia do projeto



Fonte: Autor

### 3.2 Ambiente Climatizado

Com o objetivo de melhorar o método de cultivo atual, a estufa com ambiente climatizado foi desenvolvida permitindo a realização de ensaios e testes da resposta do fungo às variáveis de cultivo, permitindo testes em pequena escala, evitando assim grandes perdas do fungo por erros.

A estufa foi construída usando um bebedouro antigo de aço como esqueleto, pelo fato do sistema de resfriamento à compressor estar montado no mesmo. Seu interior foi reforçado com chapas de madeira compensada de 15mm de espessura, dando uma maior robustez ao protótipo, seu exterior foi revestido com chapas de madeira compensada de 2mm apenas para dar um acabamento mais rústico como podemos ver na Figura 22. Por trabalhar com controle de temperatura o projeto necessitou de placas de isopor de 2,5mm como *um* bom isolante térmico.

Figura 22 - Protótipo



Fonte: Autor

Os sensores foram posicionados nas laterais da estufa, representados pela Figura 23, o sensor de temperatura foi posicionado próximo a parte de baixo do ambiente climatizado para evitar erros na leitura, pois o ar frio tende a descer.

Figura 23 - Estufa vista de frente



Fonte: Autor

O sensor de umidade foi posicionado na lateral direita da estufa, para evitar uma leitura falsa, pois o umidificador de ar encontra-se na lateral esquerda.

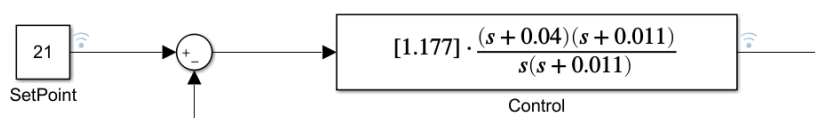
O sensor de gás foi colocado na parte superior da lateral esquerda, pois para realizar uma medição precisa do CO<sub>2</sub> ele necessita aquecer e colocá-lo embaixo do sistema de resfriamento seria apenas desperdício de energia no sensor. No fundo da estufa encontra-se o cooler responsável pela retirada de CO<sub>2</sub>.

### 3.3 Projeto do Controlador de Temperatura

O controle em malha fechada da temperatura, que ao final resultou em ótimo efeito, está abaixo descrito (Figura 24), onde se observa no primeiro bloco o compensador PID projetado para atender as necessidades impostas e o segundo bloco a planta obtida experimentalmente.

Para o controle de temperatura foi projetado um sistema em malha fechada, representado na Figura 24.

Figura 24 - Projeto do compensador em MF



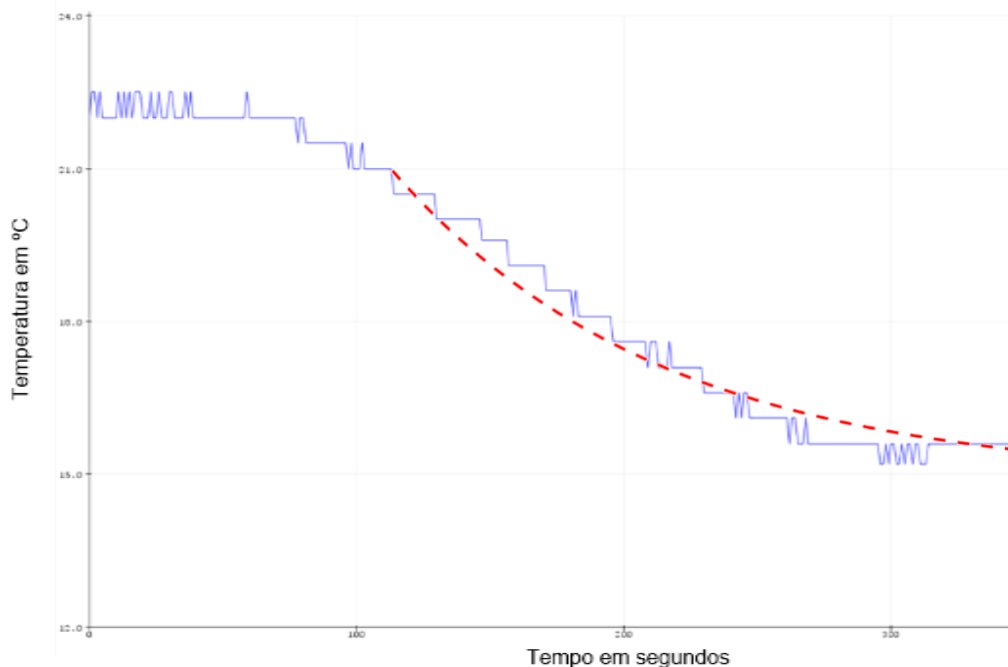
Fonte: Autor

Os métodos para obtenção de ambos blocos, são abaixo descritos.

### 3.3.1 Determinação da Função de transferência da Planta

Usando a resposta à um degrau obtida pelo sistema de resfriamento da estufa em um intervalo de 400 segundos, foi traçado o gráfico da Figura 25, a curva em azul é a resposta obtida na prática, ligando o sistema sem controle e esperando a temperatura chegar ao valor desejado manualmente, e a curva em vermelho é uma aproximação matemática mostrando que ela apresenta um comportamento exponencial.

Figura 25 - Gráfico de resposta do sistema sem controle



Fonte: Autor

Portanto podemos observar que seu comportamento se assemelha ao de um sistema de primeira ordem, podendo ser representado pela equação:

$$C(t) = e^{-at}$$

Sendo  $1/a = \tau$  a constante de tempo podemos obter o valor de  $a$  através da análise da Figura 25. Para isso precisamos primeiro descobrir o valor do tempo de acomodação ( $T_{ac}$ ), segundo Maya e Leonardi (2011, p.70) o tempo de acomodação é o tempo que o sistema leva para atingir  $\pm 2\%$  de seu valor final, podendo ser aproximadamente 4 constantes de tempo  $\tau$  (tau). Para esse projeto

foram escolhidas apenas 3 constantes de tempo  $\tau$  e o  $T_{ac}$  obtido foi de 300 segundos, levando-nos a seguinte equação:

$$3\tau = 0,95 \cdot 300$$

Portanto o valor de  $\tau$  ser definido como:

$$\tau = \frac{285}{3} = 95$$

Como dito anteriormente  $\tau = 1/a$ , portanto podemos dizer que  $a = \tau^{-1}$ .

$$a = 95^{-1} \cong 0,011$$

Através da transformada de Laplace conseguimos obter a função de transferência de primeira ordem:

$$C(t) = \frac{0,011}{s + 0,011}$$

### 3.3.2 Determinação do Compensador

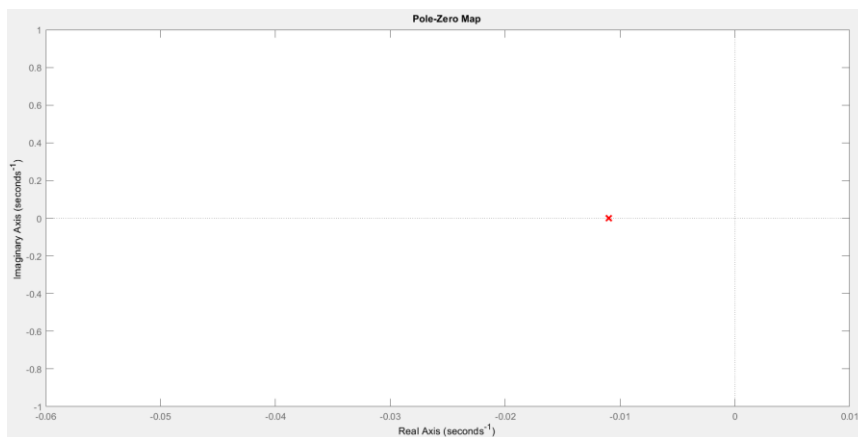
O compensador dimensionado propõe reduzir o erro de estado estacionário e tornar a resposta temporal mais rápida que a atual.

Para obter esta compensação um PID, que aloca um polo na origem, aumentando o sistema de um tipo e conseqüentemente zera o erro de posição.

Também aloca dois zeros, um próximo a origem e outro que desloque o Caminho do Lugar das Raízes mais à esquerda, obtendo ao final a resposta desejada.

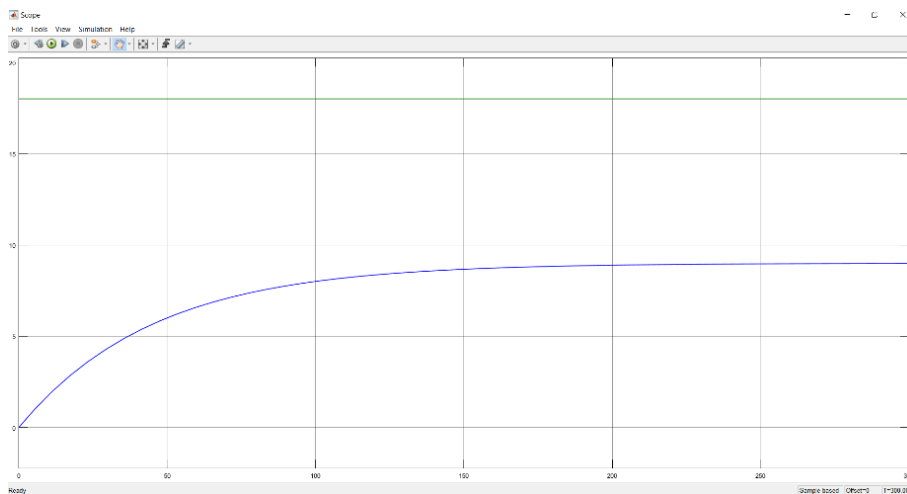
Com a função de transferência já obtida podemos agora iniciar o projeto do controlador. Ao fazer uma breve análise podemos observar que essa função de transferência apresenta um polo em  $-0,011$  (Figura 26).

Figura 26 - Diagrama de Polos e Zeros



Fonte: Autor

Figura 27 - Resposta da função de transferência



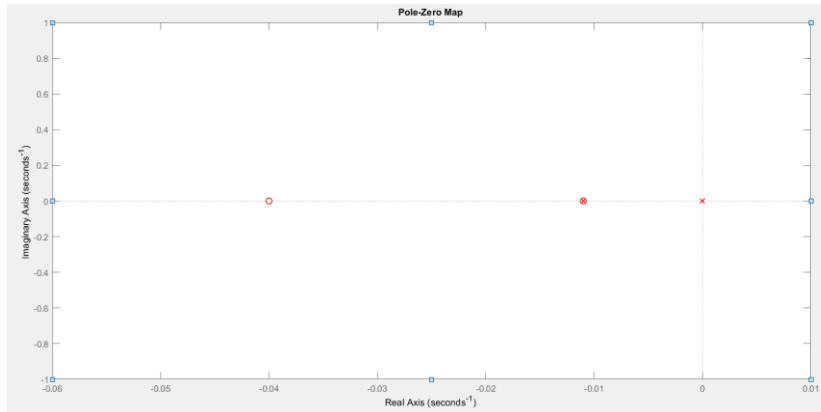
Fonte: Autor

Podemos perceber que devido ao erro de estado estacionário o sistema atinge apenas a metade do valor de *Set Point*. Para isso projetamos um compensador que possibilite o sistema atingir o nível desejado.

Para conseguir compensar esse sistema, primeiramente precisamos deixá-lo mais preciso, através do método do caminho do lugar das raízes definimos um zero em  $-0,04$  pelo fato de quanto mais distante do centro do eixo estiver seu polo ou zero, mais estável se torna seu sistema. Mas para adicionar esse zero na função de transferência ela teria que se tornar uma função de segunda ordem e isso não é muito útil para o controle de um sistema lento de primeira ordem, por isso optamos pelo cancelamento de um polo com um zero colocando um

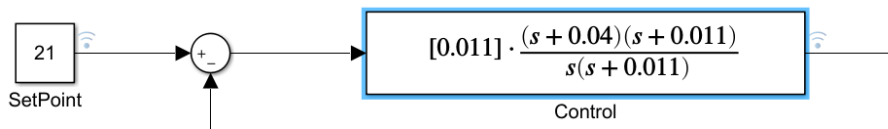
zero em  $-0,01$ , mantendo a estabilidade e a ordem do sistema, como podemos ver na Figura 28.

Figura 28 - Diagrama de Polos e Zeros já compensado



Fonte: Autor

Figura 29 - Modelo Teórico do compensador

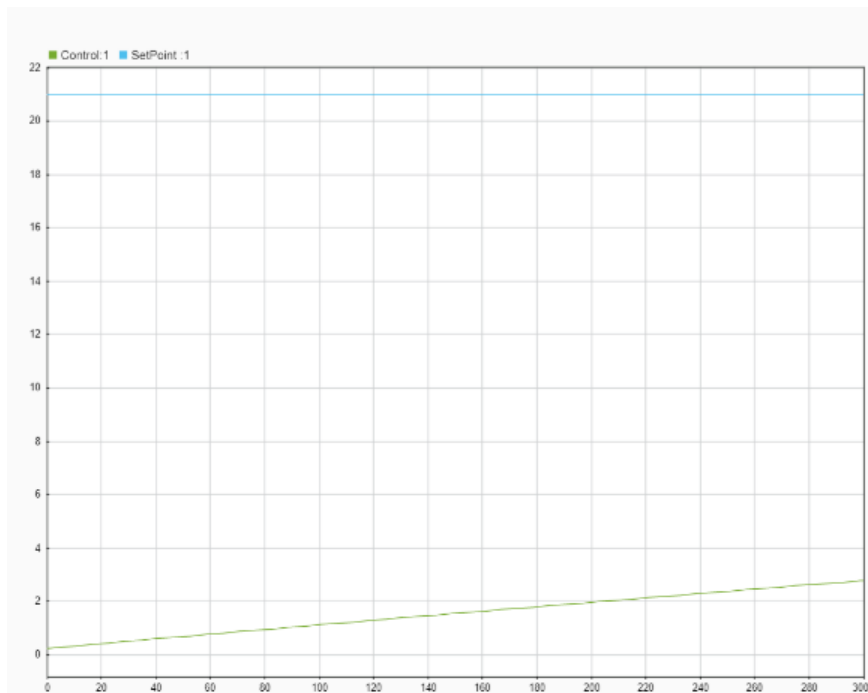


Fonte : Autor

O sistema compensado (Figura 29), nos mostra um comportamento já esperado, agora com o erro estacionário corrigido e o sistema mais estável podemos perceber que a resposta aparenta estar muito lenta o que não é interessante para um projeto de controle de temperatura. Como podemos ver no gráfico da Figura 30 - Resposta do sistema compensado com ganho igual a 1 Figura 30, apesar do *Set Point* ser  $21^{\circ}\text{C}$  a resposta atinge o valor de apenas  $3^{\circ}\text{C}$  no espaço de tempo da amostragem, ou seja, o sistema levaria muito tempo para atingir o valor desejado, essa demora na resposta poderia ser a sentença de morte de uma colônia inteira do fungo. Para solucionar esse problema basta acrescentar um ganho proporcional  $K$  cuja função é diminuir o tempo de resposta do sistema.



Figura 30 - Resposta do sistema compensado com ganho igual a 1

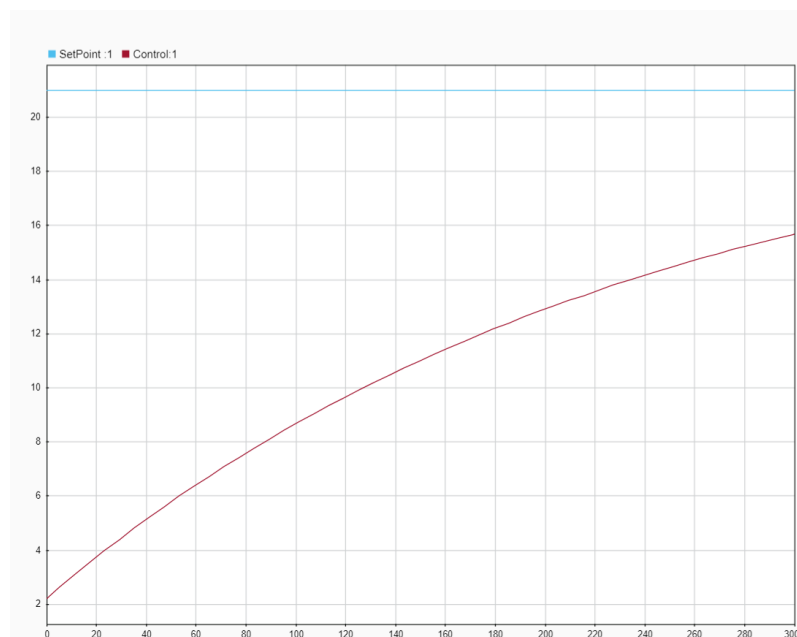


Fonte: Autor

O  $K$  foi calculado através da equação abaixo, na Figura 31 podemos ver que a resposta do sistema melhora bastante com o ganho calculado.

$$\frac{K \cdot (0,02 + 0,04) \cdot (0,02 + 0,011)}{0,02} = 1 \quad \rightarrow \quad K = \frac{0,02}{0,00186} \cong 10,7$$

Figura 31 - Resposta com ganho de 10,7



Fonte: Autor

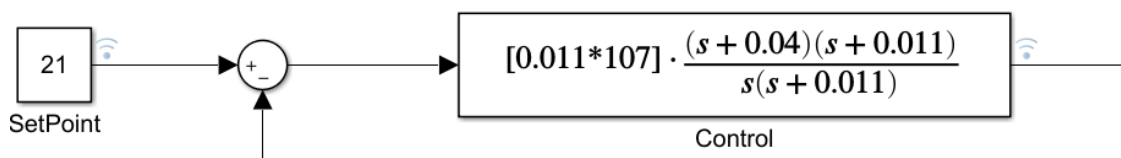
Mas podemos ver que a Figura 31 ainda demora para atingir o valor ideal, parando em 16 ao fim da amostragem, portanto para reduzir esse tempo de resposta, multiplicamos o valor de K por 10, obtendo então a resposta desejada (Figura 32).

Figura 32 - Resposta do sistema com ganho de 107



Fonte: Autor

Figura 33 – Modelo teórico com ganho de 107.



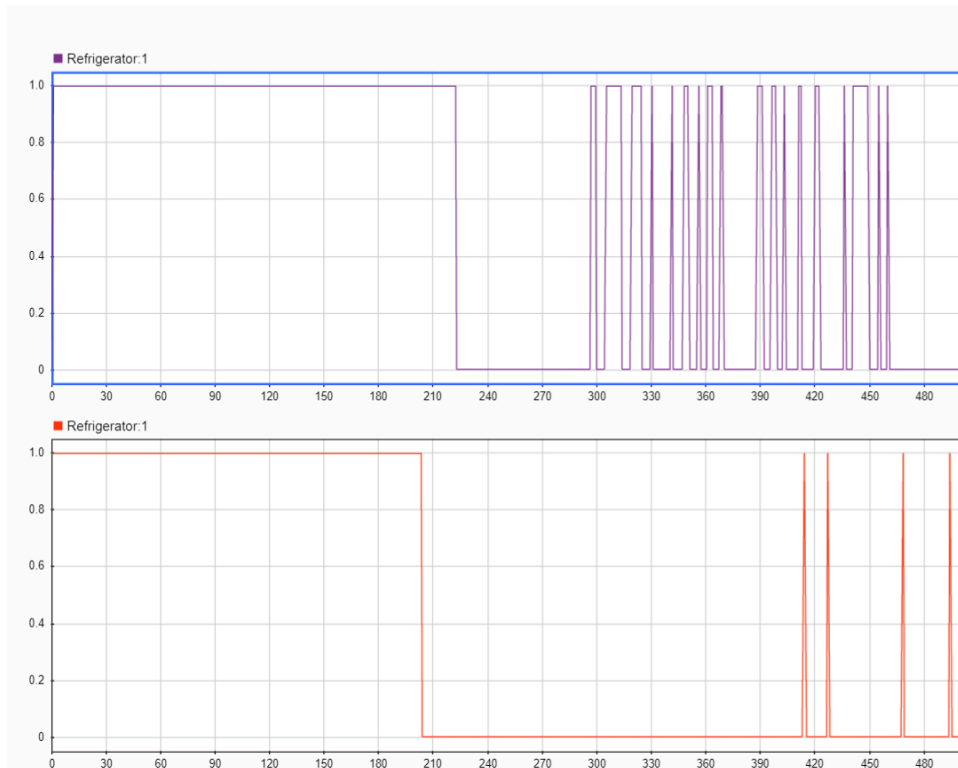
Fonte: Autor

Agora que o sistema apresenta um comportamento mais rápido, o compensador está pronto como podemos ver na Figura 24 **Error! Reference source not found..**

## 4. SIMULAÇÃO E RESULTADOS OBTIDOS

Após realizado alguns ensaios, o sistema apresentou uma pequena perturbação que mantinha o controle *On/Off* (Liga-Desliga) instável. Para isso resolvemos adotar uma *dead zone* (Zona Morta) de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Figura 34 - Gráfico da saída do Controle *On/Off*



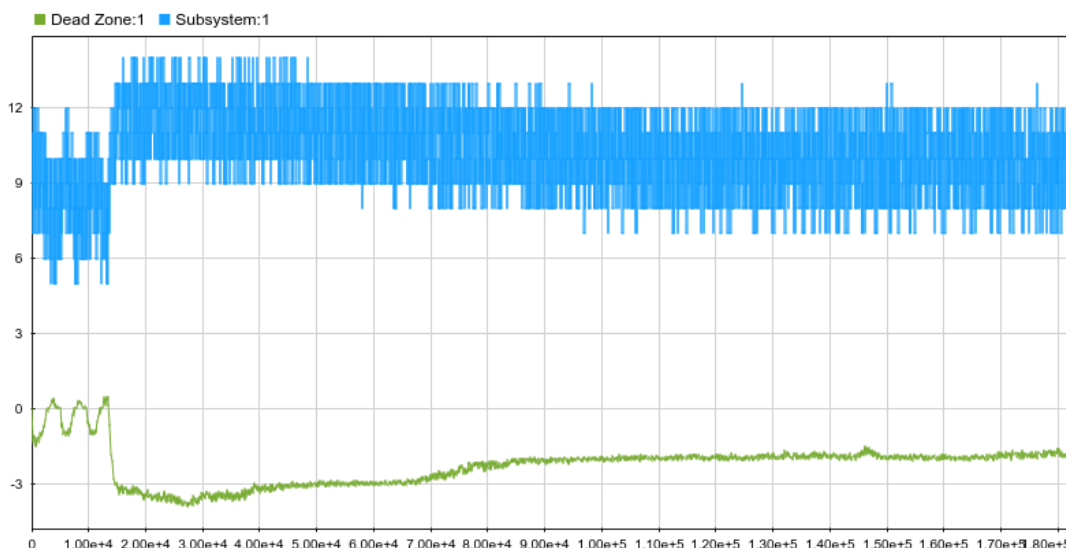
Fonte: Autor

Essa *dead zone* possibilita que o sistema não acione com qualquer ruído que a fonte apresentar como podemos ver pela comparação entre o gráfico roxo (sem filtro) e o laranja (com filtro) da *Figura 34*, visto que o LM35 possui uma resolução de  $10\text{mV}$  por  $^{\circ}\text{C}$ , qualquer ruído na ordem de  $\text{mV}$  tem a capacidade de interferir e atrapalhar o controle do sistema. Corrigido isso o sistema aproximou-se de uma maior estabilidade permitindo a coleta de dados que virá a ser descrita nesse capítulo.

Quando pensamos em controle de temperatura a primeira coisa que nos vem à cabeça é que o sistema seja capaz de manter a temperatura que lhe foi definida no *Set Point*. Para isso então o primeiro ensaio realizado nesse projeto consiste na adição de um copo de água quente ao sistema. Os parâmetros avaliados foram estabilidade e tempo de resposta a perturbações externas. O copo com água encontra-se na faixa de temperatura de aproximadamente 90°C e foi colocado no centro da caixa regulada para a temperatura de 8°C.

No começo o sistema sofreu para buscar a estabilização, devido ao rápido aumento da temperatura, mas depois a mesma foi impedida de subir muito se estabilizando em 12°C. Após 2 horas o copo que se encontrava a 90°C agora encontra-se à 18°C e o ambiente controlado que se encontrava a 12°C agora está em 9°C, devido a troca de calor o sistema demora mais para se estabilizar, pois apesar do refrigerador estar ligado em sua potência máxima a amplitude térmica é muito grande dificultando a aproximação do valor definido como 8°C (*Set Point*).

Figura 35 - Simulação Copo de Água



O gráfico azul na Figura 35, representa o sensor de temperatura. Analisando-o percebemos claramente o distúrbio causado pelo copo, observamos o sistema mantendo-se no *Set Point*, com alguns ruídos, funcionando como o esperado na parte da esquerda, entre 0 e 1,5 unidades de tempo. Com 2 unidades podemos ver que o sistema sofre um aumento na temperatura e logo depois começa a retornar à condição inicial de trabalho.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS FUTURAS**

A interdisciplinaridade proporcionada por esse estudo, possibilitou um avanço considerável a respeito da perspectiva do cultivo de insumos da natureza, tanto comestíveis quanto não comestíveis.

Os cogumelos são incapazes de sintetizar matéria orgânica e são desprovidos de clorofila, o que os impede de realizar a fotossíntese. Por isso, não possuem capacidade de produzir seu próprio alimento, além de necessitar de condições de ambiente muito específicas.

Com a competência das disciplinas de controle, programação e eletrônica, além do conhecimento básico de materiais, tornou possível mensurar e ter o olhar crítico para resolução de problemas e situações chave no caminho.

O sucesso da estufa por assegurar e possuir um tempo de resposta teoricamente alto se tratando de um sistema de malha fechada, deixa em aberto duas perspectivas, além da motivação do emprego desse conceito para outros tipos de cultivo, tornam viável comparar e melhorar a produtividade em relação ao processo macro de cultivo de cogumelos.

Pela estufa micro controlada conseguir obter um bom desempenho em uma faixa de controle estreita, possibilita pensar no cultivo de outros insumos com necessidades especiais e certa inviabilidade para plantio em qualquer ambiente.

## REFERÊNCIAS

Burrage, S.W., Varley, M.J., Noble, R. and Perrin, P.S.G., 1988. A microcomputer-based environmental control system for mushroom cropping tunnels. *Comput. Electron. Agric.*, 2: 193-207.

I funghi. 2008. le parti del fungo. [ONLINE] Available at: <https://davantiaimieiocchi.myblog.it/2008/05/15/le-parti-del-fungo/>. [Accessed 24 April 2018].

LA GRANDE ENCICLOPEDIA DEI FUNGHI. 2018. *I FUNGHI*. [ONLINE] Available at: <http://www.atlantedeifunghi.altervista.org/>. [Accessed 27 April 2018].

Khan, Md. Asaduzzaman & Tania, Mousumi. (2012). Nutritional and Medicinal Importance of Pleurotus Mushrooms: An Overview. *Food Reviews International*. 28. 313-329 10.1080/87559129.2011.637267.

MAYA, Paulo Alvaro; LEONARDI, Fabrizio. *Controle essencial*. Ed **Pearson Prentice Hall**, 2011.

Miles, P.G. and Chang, S.T., 2004. *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRC press.

Royse, D. J. (1995), Specialty mushrooms: cultivation on synthetic substrate in the USA and Japan. *Interdisciplin. Sci. Rev.* 20, 1-10.

Stamets, P.; Chilton, J. S. *The Mushroom Cultivator: A Practical Guide to Growing Mushrooms at Home*. Washington: Agarikon Press, 1983.

TECHNICAL DATA: MQ-135 GAS SENSOR. Olimex. Disponível em: <<https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>>. Acesso em: 15 de dez de 2017.

W. Gay, Warren. (2014). DHT11 Sensor. 263-273. 10.1007/978-1-4842-0181-7\_22.

What's Arduino. Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em 15 de dezembro de 2017.

Atmel, 2016. *ATmega328/P - DATASHEET COMPLETE*. [Online]  
Available at: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)  
[Accessed 03 July 2018].

BIBLIOGRAPHY Agarwal, T., s.d. *MQ135 Alcohol Sensor Circuit And Working*. [Online]  
Available at: <https://www.elprocus.com/mq-135-alcohol-sensor-circuit-and-working/>  
[Acesso em 03 July 2018].

Atmel, 2016. *ATmega328/P - DATASHEET COMPLETE*. [Online]  
Available at: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)  
[Accessed 03 July 2018].

Basic, C., s.d. *How to Set Up the DHT11 Humidity Sensor on an Arduino*. [Online]  
Available at: <http://www.circuitbasics.com/how-to-set-up-the-dht11-humidity-sensor-on-an-arduino/>  
[Acesso em 3 July 2018].

Education, U. O. o., 1944. *How Refrigerators Work: "Principles of Refrigeration" 1944 US Office of Education*. [Online]  
Available at: [https://www.youtube.com/watch?v=kBorxPr\\_iNc](https://www.youtube.com/watch?v=kBorxPr_iNc)  
[Acesso em 03 July 2018].

Eletronica, B. d., s.d. *Sensor de Temperatura LM35*. [Online]  
Available at: <http://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-temperatura-lm35.html>  
[Acesso em 03 July 2018].

Nedelkovski, D., s.d. *DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using Arduino*. [Online]  
Available at: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>  
[Acesso em 03 July 2018].