

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCIO MATEUS ZAFALON HERREIRA

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA UM AVIÁRIO BASEADO
EM INTERNET DAS COISAS**

CURITIBA

2023

MARCIO MATEUS ZAFALON HERREIRA

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA UM AVIÁRIO BASEADO
EM INTERNET DAS COISAS**

Low-cost automation project for a poultry farm based on the internet of things

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Delvanei Gomes Bandeira Junior

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARCIO MATEUS ZAFALON HERREIRA

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA UM AVIÁRIO BASEADO
EM INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 29 de novembro de 2023

Delvanei Gomes Bandeira Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Adriano Ruseler
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Daniel Flores Cortez
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CURITIBA

2023

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de automação de baixo custo para aviários baseado em internet das coisas (IoT), para controlar as condições de temperatura, luminosidade e concentração de gás tóxicos para cada etapa de desenvolvimento do frango. Para alcançar este propósito, foi utilizado um microcontrolador ESP32, sensor de temperatura e umidade DHT11, sensor de luminosidade LDR e sensor de gás GLP MQ-6. O sistema foi integrado a internet via interface *Blynk*, plataforma para desenvolvimento de sistemas IoT, permitindo ao usuário monitorar as variáveis de controle via aplicativo. O protótipo foi validado dentro da universidade. O intuito é difundir esta tecnologia para pequenos produtores, fomentando a economia.

Palavras-chave: IoT; aviário; frangos; controle de temperatura;

ABSTRACT

This work aimed to develop a low-cost automation system for poultry farms based on the Internet of Things (IoT), to control temperature, light conditions, and toxic gas concentrations for each stage of chicken development. To achieve this goal, an ESP32 microcontroller, DHT11 temperature and humidity sensor, LDR light sensor, and MQ-6 LPG gas sensor were used. The system was integrated into the internet through the Blynk interface, a platform for IoT system development, allowing users to monitor control variables via a mobile application. The prototype was validated within the university. The intention is to disseminate this technology to small-scale producers, fostering the economy.

Keywords: IoT; poultry farm; poultry; temperature control;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Controlador israelense para aviários Temptron 616.....	15
Figura 2 - Diagrama de blocos da automação de um aviário	18
Figura 3 - Sistema de ventilação em um aviário.....	20
Figura 4 - Sistema de pressão negativa	21
Figura 5 - Sistema de pressão Positiva.....	21
Figura 6 - Sistema de aquecimento a gás	22
Figura 7 - relação de iluminação por idade e peso.	23
Figura 8 - Componentes de um microcontrolador	24
Figura 9 - MICROCONTROLADOR ESP32.....	25
Figura 10 - Sensor de amônia MQ-137	26
Figura 11 - Circuito elétrico MQ-137	27
Figura 12 - Curva Característica de Sensibilidade do sensor MQ-137	28
Figura 13 - Curva Característica de Temperatura e Umidade do sensor MQ-137	29
Figura 14 - Curva de Sensibilidade do sensor MQ-137	29
Figura 15 - Curva de Resposta do sensor MQ-137	30
Figura 16 - Sensor de gás MQ-6.....	31
Figura 17 - Circuito elétrico MQ-6.....	31
Figura 18 - Curva Característica de Sensibilidade do sensor MQ-6	32
Figura 19 - Curva Característica de Temperatura e Umidade do sensor MQ-6..	33
Figura 20 - Curva de Sensibilidade do sensor MQ-6.....	34
Figura 21 - Curva de Resposta do sensor MQ-6.....	34
Figura 22 - Curva de estabilidade em longos períodos MQ-6	35
Figura 23 - Sensor de temperatura e umidade DHT11	35
Figura 24 - Esquema de ligação do DHT11	36
Figura 25 - Padrão de resposta do DHT11	36
Figura 26 - Cooler fan	37
Figura 27 - Conexões elétricas <i>cooler fan</i>	37
Figura 28 - Sensor de luminosidade LDR.....	38

Figura 29 - Comportamento da Resistência pela Luminosidade para um LDR de 5 mm	39
Figura 30 - Módulo Relé	40
Figura 31 - Lâmpada 9W sem estrutura.....	40
Figura 32 - Fluxograma do funcionamento do sistema de iluminação	42
Figura 33 - Aplicativo de medição de LUX LightMeter	43
Figura 34 - Fluxograma do funcionamento do sistema da temperatura	43
Figura 35 - Fluxograma do funcionamento do sistema de gás	44
Figura 36 - Site da plataforma de desenvolvimento lot Blynk.....	45
Figura 37 - Bibliotecas inseridas no código	46
Figura 38 - Definição das variáveis no código.....	46
Figura 39 - Código para fluxograma 1	47
Figura 40 - Código para fluxograma 2	48
Figura 41 - Atualização da temperatura de acordo com a semana.....	48
Figura 42 - Código para fluxograma 3	49
Figura 43 - Esquemático elétrico do protótipo	49
Figura 44 - Vista superior do protótipo	51
Figura 45 - Vista horizontal do protótipo.....	51
Figura 46 - Canal 1 relé da lâmpada, Canal 2 sensor LDR.....	53
Figura 47 - Canal 1 DHT11, Canal 2 relé do aquecedor.....	54
Figura 48 - Canal 1 DHT11, Canal 2 relé exaustor	55
Figura 49 - Canal 1 sensor MQ-6, Canal 2 relé exaustor	56
Figura 50 - Vista do protótipo integrado	57
Figura 51 - Aplicativo <i>Blynk</i> demonstrando os valores controlados	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperatura e umidade relativa do ar em relação a idade das aves.	19
Tabela 2 - Especificações do ESP32	25
Tabela 3 - Custo dos equipamentos	58

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Valores lido pelo LDR.....	52
Gráfico 2 - Valores de temperatura lidos pelo sensor DHT11	53
Gráfico 3 - Valores lidos pelo sensor MQ-6	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IOT	<i>Internet of things</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
PIB	Produto interno bruto
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
<i>WIFI</i>	<i>Wireless Fidelity</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
ADC	Conversor analógico digital
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
<i>PPM</i>	Partes por milhão
<i>GLP</i>	Gás liquefeito de petróleo
<i>LKT</i>	Lei Kirchhoff da tensão
<i>LKC</i>	Lei Kirchhoff da corrente

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volts
Ω	Ohms
C°	Celsius
mW	Miliwatt
NH ₃	Gás amoníaco
O ₂	Gás oxigênio
TBS	Temperatura de bulbo seco
UR	Umidade relativa
MCU	Microcontrolador

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Delimitação do tema	13
1.2	Problemas e premissas	14
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.3.3	Justificativa	15
2	REFERENCIAL TEORICO	17
2.1	Automação em aviários	17
2.2	Relação entre gás amoníaco e ave	18
2.3	Relação umidade, temperatura e aves	19
2.3.1	Sistema de ventilação	20
2.3.1.1	<u>Sistema de pressão negativa ou exaustão</u>	20
2.3.1.2	<u>Sistema de pressão positiva ou pressurização</u>	21
2.3.1.3	<u>Sistema de aquecimento</u>	21
2.4	Sistema de iluminação	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Materiais	24
3.1.1	Microcontroladores	24
3.1.1.1	ESP32	25
3.1.2	Sensor de Amônia MQ-137	26
3.1.3	Sensor de GLP MQ-6	31
3.1.4	Sensor de umidade e temperatura DHT11	35
3.1.5	Cooler fan	37
3.1.6	Sensor de luminosidade LDR	38
3.2	Definição da metodologia	39
3.2.1	Monitoramento da iluminação	39
3.2.2	Monitoramento de temperatura	40
3.2.3	Aquecimento	41
3.2.4	Ventilação	41
3.2.5	Monitoramento da concentração de gás amoníaco – GLP	41

3.3	Fluxograma	41
3.4	Desenvolvimento do código	44
3.4.1	Plataforma de desenvolvimento IoT <i>Blynk</i>	44
3.4.2	Programação ESP32	45
3.5	ESQUEMÁTICO	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1	Montagem física protótipo	51
4.2	Teste de cada subsistema	52
4.3	Integração de todos subsistemas	56
5	CONCLUSÃO	59
5.1	Trabalhos futuros	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

As inúmeras variáveis envolvidas na produção de um aviário eram, tempos atrás, razão para a contratação de várias pessoas, o que, além de elevar custos, não representava uma garantia de bons resultados quanto ao desenvolvimento das aves ou produção de ovos. A busca por ganho de produtividade somada à sua participação no agronegócio brasileiro e pelo perfil exportador faz o segmento aderir cada vez mais à automação, com o uso de dispositivos inteligentes, a chamada Internet das Coisas, ou *IOT* (CNA,2018).

O setor de produção de frangos de corte é a atividade agropecuária mais tecnológica e o Brasil ocupa posição de destaque mundial, sendo que, as atividades que estão indiretamente ligadas ao setor desenvolvem constantes inovações tecnológicas (UBABEF, 2017).

O Brasil é líder na exportação mundial de carne de frango desde 2004 e detém, hoje, 35% desse mercado. Só no ano passado, o país produziu 14,3 milhões de toneladas de carne de frango. Deste total, 32% foram exportados para mais de 150 nações, gerando uma receita de US\$ 7,6 bilhões. (GOV,2022).

De acordo com a CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), em 2022 o agronegócio brasileiro representou 24,8% do PIB brasileiro, com o ramo da pecuária crescendo 2,11%.

A automação de granjas e aviários contribui para o crescimento econômico do ramo da pecuária, promovendo aumento da produtividade, eficiência e competitividade. Ao controlar as principais variáveis para o desenvolvimento do animal, como alimentação, iluminação e controle do ambiente, a automação proporciona condições ideais para o crescimento saudável das aves, prevenindo doenças e reduzindo a taxa de mortalidade.

1.1 Delimitação do tema

A operação de um aviário é constituída de vários subsistemas. Desde subsistemas simples, como controle da disponibilidade de alimento e água, e

subsistemas mais complexos, com o controle das diversas variáveis do ambiente, como temperatura, umidade, luminosidade, concentração de gases e etc.

O projeto foi desenvolvido para um aviário já em operação, localizado no município de Marechal Cândido Rondon, no oeste do Paraná. Este trabalho teve como alvo o controle dos subsistemas de temperatura, luminosidade e controle de gases, adequando o ambiente as condições ideais para o desenvolvimento dos frangos. O aviário em questão já possui sistema de alimentação, água e umidade, portanto estes subsistemas não foram abordados neste trabalho.

1.2 Problemas e premissas

A modernização dos aviários pode se tornar algo distante para pequenos produtores. O investimento a ser realizado para aquisição de tais equipamentos aliados ao custo de manutenção é considerado alto pelo senso comum. Além disso, há uma insegurança por parte dos produtores em relação à captação de recursos financeiros, devido às variadas e altas taxas de juros, o que dificulta a contratação de tais créditos. (MOORI, 2013).

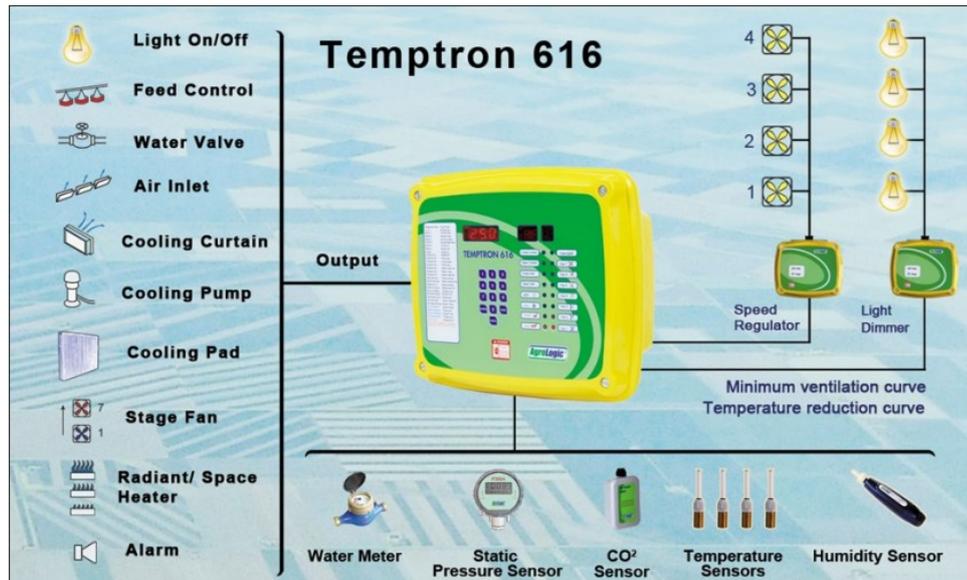
Neste contexto, o emprego de uma tecnologia desenvolvida nacionalmente, de baixo custo, é um passo grande para auxiliar os pequenos produtores a modernizarem seu aviários e conseguirem competir de forma igualitária com os grandes produtores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um sistema de automação de baixo custo para um aviário, com o foco de controlar a temperatura, luminosidade e concentração de gás amoníaco. Foi utilizado como referência o equipamento industrial Temptron 616, fabricado pela empresa Israelense Agrológic, demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Controlador israelense para aviários Temptron 616



Fonte: Agrologic (2023)

1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho teve os tópicos abaixo como objetivos específicos.

- Definir as variáveis do aviário a ser automatizado;
- Pesquisa bibliográfica sobre as condições ideais para o desenvolvimento de frangos;
- Seleção de sensores e atuadores a serem empregados;
- Desenvolvimento de um protótipo;
- Integrar o protótipo à interface *Blynk*;

1.3.3 Justificativa

De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), estima-se que em 2030 o consumo de carne de aves deverá representar 41% de toda proteína animal consumida no mundo. Para os produtores conseguirem acompanhar o ritmo de crescimento do consumo e se manterem

competitivos no mercado, faz-se necessário padronizar as produções para aumentar a eficiência e reduzir custos com mão de obra.

Portanto, a criação de sistemas de automação de baixo custo para aviários, com foco em pequenos produtores traz vantagens econômicas para um país, criando um ecossistema padronizado para um mercado em ascensão.

2 REFERENCIAL TEORICO

Neste capítulo são contextualizados conceitos fundamentais e tópicos relacionados ao desenvolvimento do projeto, através de trabalhos já publicados na área, buscando o princípio teórico sobre automação em aviários e tecnologias associadas ao *IOT*.

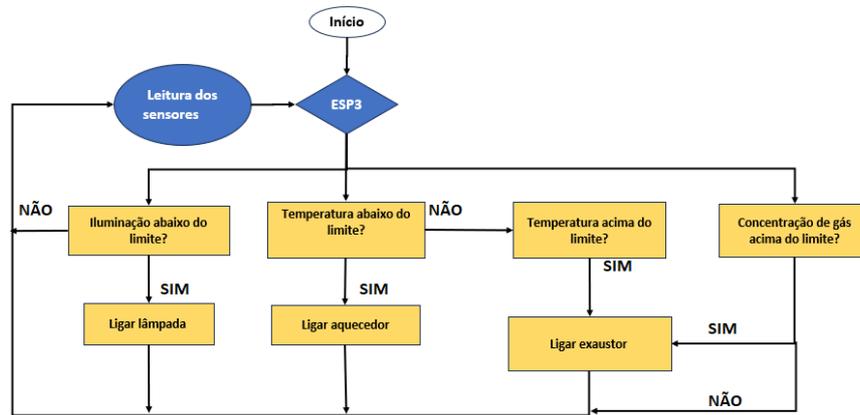
2.1 Automação em aviários

A automação de aviários tem como principais objetivos a melhoria e padronização de processos. Para sua melhor performance, faz-se necessário abranger conhecimentos técnicos sobre dispositivos eletrônicos e eletromecânicos bem como biológicos e veterinários, com o intuito de criar o ambiente ideal para o desenvolvimento do animal.

Segundo Furtado (2003), a partir dos anos 50, a avicultura brasileira ganhou impulso com os avanços da genética, com o desenvolvimento das vacinas, nutrição e equipamentos específicos para sua criação. As grandes agroindústrias avícolas brasileiras ganharam estrutura no início dos anos 60.

A Figura 2 demonstra através de um diagrama de blocos o princípio de funcionamento de uma automação de aviário, onde são verificadas as condições de temperatura, luminosidade e concentração de gás, caso alguma esteja acima do limite estabelecido, o sistema de automação irá atuar.

Figura 2 - Diagrama de blocos da automação de um aviário



Fonte: Autoria própria (2023)

2.2 Relação entre gás amoníaco e ave.

A amônia é um gás incolor e irritante às mucosas, sendo formado a partir da decomposição microbiana do ácido úrico eliminado pelas aves. No ambiente do aviário quando a concentração for superior a 60ppm de amônia, a ave fica predisposta a doenças respiratórias, aumentando os riscos de infecções secundárias. Se a concentração de amônia no ambiente atinge 100ppm, há redução da taxa de respiração, prejudicando os processos fisiológicos de trocas gasosas. Esses níveis altos de amônia (60 a 100ppm) podem ser observados no início da criação em aviários, com cama reutilizada (GONZÁLES, 2001).

A avaliação de emissão de gases poluentes provenientes de instalações de produção animal tem sido realizada em muitas pesquisas (CAMPOS, 2006; MENEGALI, 2005) com o objetivo de quantificar a concentração e o volume de emissão de gases, aprimorar técnicas de coleta de dados e estudar o efeito dos poluentes no desempenho dos animais. A intensificação de estudos na área de qualidade do ar em ambientes de criação de animais também se deve ao fato de que, atualmente, a maioria dos sistemas produtivos é de alta densidade, aumentando o risco de contaminação por microrganismos patogênicos e a necessidade de controle das condições ambientais, como temperatura, umidade, concentração de gases, taxa de ventilação e nível de ruído (MIRAGLIOTA, 2002).

2.3 Relação umidade, temperatura e aves

A temperatura é o mais importante elemento meteorológico que influi diretamente para o conforto térmico e funcionamento geral dos processos fisiológicos, por envolver a superfície corporal dos animais, afeta diretamente a velocidade das reações que ocorrem no organismo que influenciam a produção animal. A temperatura interna das aves é de 41,1 °C, e por se tratarem de animais homeotermos, o seu sistema fisiológico trabalha para manter esta temperatura estável, acionando assim mecanismos de repostas quando elas são submetidas a desafios térmicos. (SANTOS, 2012)

No caso de animais em confinamento o problema se agrava em função do seu espaço físico, que diminui ao longo do ciclo produtivo, isso faz com que a produção de calor gerado pelas aves aumente no interior do galpão, além de dificultar sua dissipação (ABEYESINGHE, 2001).

A Umidade relativa do ar (UR) em conjunto com a Temperatura de bulbo seco (Tbs) possui papel importante na dissipação de calor pelos animais. Altos valores de Tbs e UR são extremamente danosos para a produção, sendo que no interior de instalações zootécnicas, a UR é função da temperatura do ambiente de criação, do fluxo de vapor d'água oriundo dos animais, das fezes e/ou da cama e do sistema de ventilação. Em ambientes no qual a temperatura atinge valores próximos ou acima da temperatura corporal do animal, a perda de calor passa a ocorrer principalmente pela evaporação, que é influenciada pela UR. (SANTOS, 2012)

A Tabela 1 representa a relação de temperatura e umidade relativa do ar pela idade das aves baseada nas informações de Fabricio (2012).

Tabela 1 - Temperatura e umidade relativa do ar em relação a idade das aves

Idade das aves	Temperatura (C°)	Umidade do ar (%)
1 a 7 dias	35	50 a 60
8 a 14 dias	32	51 a 60
15 a 21 dias	29	52 a 60
22 a 28 dias	27	53 a 60
29 a 35 dias	24	54 a 60
36 dias a abate	21	55 a 60

Fonte: Autoria própria (2023)

2.3.1 Sistema de ventilação.

A ventilação é um meio eficiente de controle da temperatura, dentro das instalações avícolas por aumentar as trocas térmicas por convecção. A ventilação adequada se faz necessária também para eliminar o excesso de umidade do ambiente e da cama, proveniente da água liberada pela respiração das aves e através dos dejetos; para permitir a renovação do ar regulando o nível de oxigênio necessário às aves, eliminando gás carbônico e gases de fermentação. (ABREU, 2000)

Para sistema de ventilação é comumente utilizado exaustores industriais, conforme Figura 3.

Figura 3 - Sistema de ventilação em um aviário



Fonte: Paraná cooperativo (2020)

A ventilação artificial é acionada quando a temperatura, umidade relativa ou concentração dos gases amoníaco estão fora dos limites previamente estabelecidos, podendo ser classificada de dois modos:

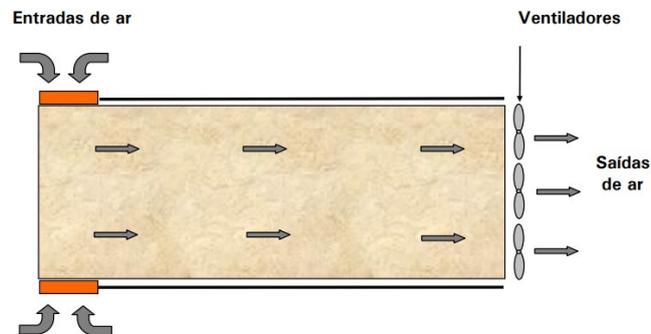
- Sistema de pressão negativa ou exaustão
- Sistema de pressão positiva ou pressurização

2.3.1.1 Sistema de pressão negativa ou exaustão

Neste tipo de sistema, os ventiladores, ou exaustores, forçam o ar de dentro para fora do aviário, por meio de sucção, criando uma pressão negativa no interior do recinto. A Figura 4 abaixo demonstra seu princípio de funcionamento, onde os ventiladores funcionam como exaustores, gerando pressão negativa dentro do aviário,

fazendo com que a extremidade oposta do aviário tenha a função de entrada de ar, e a extremidade onde se encontram os ventiladores tenha a função de saída de ar.

Figura 4 - Sistema de pressão negativa

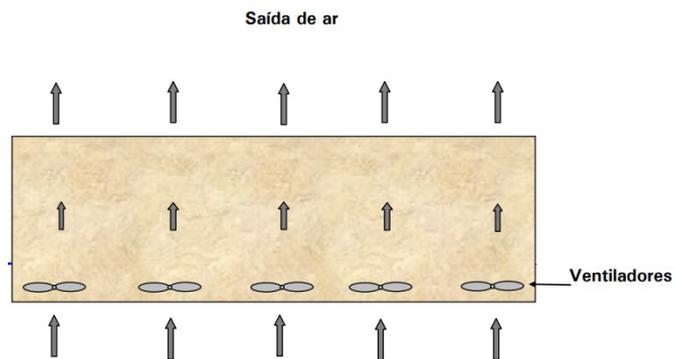


Fonte: Abreu (2000)

2.3.1.2 Sistema de pressão positiva ou pressurização

Neste tipo de sistema, o ar é forçado de fora para dentro, criando uma pressão positiva no recinto, em comparação ao ambiente externo. A Figura 5 abaixo demonstra seu princípio de funcionamento, onde a extremidade que se encontra os ventiladores desempenhe a função de entrada de ar no aviário, e a extremidade oposta tenha a função de sair de ar.

Figura 5 - Sistema de pressão Positiva



Fonte: Abreu (2000)

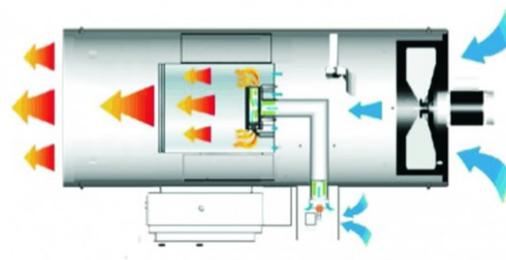
2.3.1.3 Sistema de aquecimento

As aves são animais homeotérmicos, ou seja, têm habilidade para manter constante a temperatura de seus órgãos internos. Mas nem mesmo o mecanismo

termorregulador garante a segurança das aves se não estiverem dentro de certos limites de temperatura. Além disso, este sistema natural não está totalmente pronto antes que os pintainhos completem 21 dias. Essa situação exige aquecimento artificial no aviário. (ABREU,2000)

A Figura 6 abaixo, representa um sistema de aquecimento central a base de gás GLP, muito utilizado em aviários por conta da não necessidade de energia elétrica. O sistema conta com uma câmara de combustão, que é alimentada de gás GLP injetado pelo orifício inferior e também é alimentada de gás oxigênio pelo ventilador.

Figura 6 - Sistema de aquecimento a gás



Fonte: Plasson, 2021

2.4 Sistema de iluminação

Percebe-se que a iluminação é um dos principais fatores ambientais que afeta a produção de animais. O manejo da luz na indústria avícola tem sido usado com sucesso para aumentar a quantidade de ovos produzidos e a produção de aves pesadas. A luz é importante em diversas funções corporais e características animais por poder controlar ritmos biológicos como funções alimentares, reprodutivas, concentração de hormônios, atividades enzimáticas e processos metabólicos, dentre outros (BAÊTA; SOUZA, 2010).

O tempo que cada as aves devem ficar expostas a luz varia de acordo com sua idade e o seu peso, a Figura 7, extraída do livro Produção de frango de corte – FACTA, 2014, ilustra o tempo e o LUX adequado para cada etapa.

Figura 7 - relação de iluminação por idade e peso.

Peso vivo ao abate	Idade em dias	Intensidade luminosa	Fotoperíodo (Horas)
Menos de 2,5 Kg	0 a 7	30 – 40 Lux	23 de luz / 1 de escuro
	8 até 3 dias antes do abate	5 – 10 Lux	20 de luz / 4 de escuro
Mais de 2,5 Kg	0 a 7	30- 40 Lux	23 de luz / 1 de escuro
	8 até 3 dias antes do abate	5 – 10 Lux	18 de luz / 6 de escuro

Fonte: Produção de frango de corte – FACTA, 2014

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será contextualizado o desenvolvimento do projeto de automação do aviário, discriminando os procedimentos e métodos aplicados.

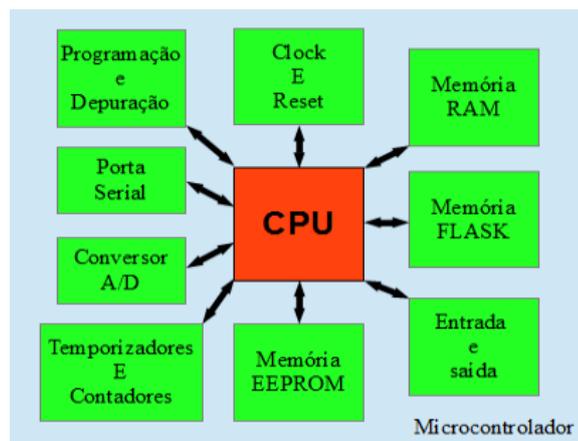
3.1 MATERIAIS

Após o referencial teórico, fica entendido que, para se ter melhor aproveitamento da atividade da avicultura, deve-se buscar ofertar as melhores condições ambientais para o desenvolvimento dos animais, com o intuito de reduzir a taxa de mortalidade além de padronizar a produção. Portanto, se faz necessário a utilização de sensores e atuadores para compreender e modificar estas variáveis.

3.1.1 Microcontroladores

Microcontroladores são circuitos integrados que possuem em seu interior todos os componentes necessários ao seu funcionamento, dependendo unicamente da fonte de alimentação externa. Pode-se dizer que os microcontroladores são computadores de um único chip. A Figura 8 ilustra os componentes de um microcontrolador típico. (KERSCHBAUMER;2018).

Figura 8 - Componentes de um microcontrolador



Fonte: IFC (2018)

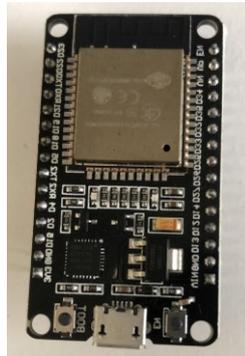
Diferentemente de um sistema tradicional de controle, o microcontrolador já vem com todos os periféricos internamente, como as memórias, *clock*, temporizadores etc. Na Figura 8 pode ser visto os periféricos principais de um microcontrolador, sendo

está das principais vantagens em se trabalhar com este tipo de equipamento, que torna a sua utilização mais simplificada e com um menor custo.

3.1.1.1 ESP32

Um ESP32 é um microcontrolador de código aberto baseado em uma placa de entrada/saída. A placa foi projetada para suportar *Wi-Fi* e *Bluetooth*. O ESP32 possui 34 GPIO, dos quais 14 são conversores analógicos para digitais (ADC) que podem ser conectados aos sensores. A faixa VCC fornecida ao ESP32 é de 2,2V a 3,6V. O *ESP32Thing* se conecta a um micro USB para carregar o programa e a alimentação, ou se conecta a uma bateria de 3,7 V para alimentação. (ALLAFI, IQBAL; 2017) A Figura 9 ilustra um ESP32, enquanto a Tabela 2 fornece detalhes sobre algumas das especificações do ESP 32.

Figura 9 - MICROCONTROLADOR ESP32



Fonte: A autoria própria (2023)

Tabela 2 - Especificações do ESP32

Especificações	
Corrente Média	80 mA
CPU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
ROM	448 KBytes
RAM	520 Kbytes
Flash:	4MB
Clock máximo	240MHz
Conexão Wifi	2.4Ghz (máximo de 150 Mbps)
Pinos de I/O	34 pinos com 16 PWM

Fonte: A autoria própria (2023)

A linguagem de programação mais utilizada no ESP32 é a C. Deste modo a maioria das bibliotecas de APIs é fornecida em C. Contudo, também pode ser utilizado a linguagem C ++, sendo assim, determinadas bibliotecas do Arduino podem ser aproveitadas na opção C ++, ainda que seja possível ter algumas mudanças. De modo que este chip é de código aberto, todos são capazes de desenvolver um “sistema operacional”, inclusive se obtém soluções na Internet para programar em LUA e JavaScript (ALLAFI, 2017).

3.1.2 Sensor de Amônia MQ-137

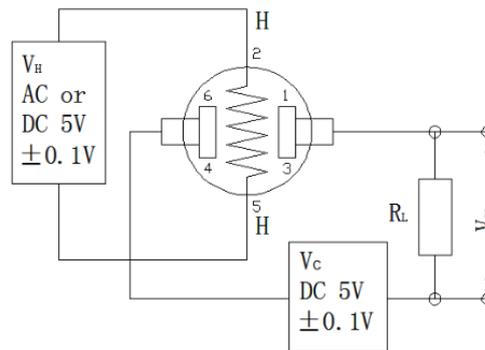
Figura 10 - Sensor de amônia MQ-137



Fonte: Winsen (2018)

O sensor de gás MQ-137, Figura 10, é um dispositivo para detecção do gás NH₃ (gás amoníaco). O material sensível utilizado no MQ-137 é o SnO₂ (dióxido de estanho), que possui baixa condutividade em ar limpo, oferecendo estabilidade ao equipamento (WINSEN CO,2015). A Figura 11 representa o circuito elétrico do sensor MQ-137, onde se encontra a resistência variável e o circuito de potência.

Figura 11 - Circuito elétrico MQ-137



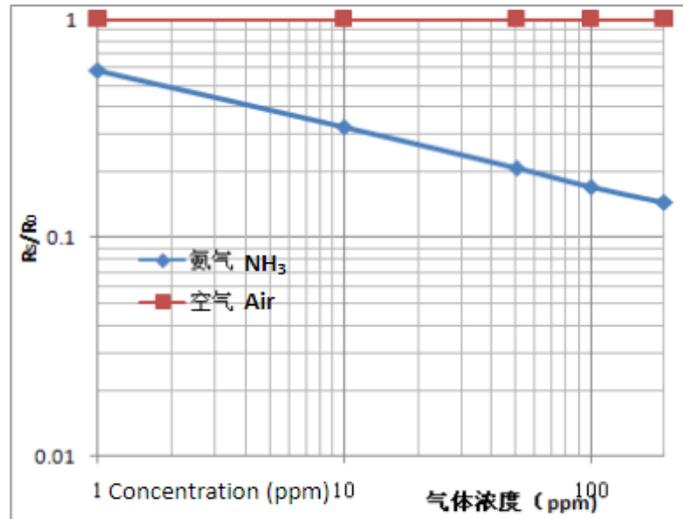
Fonte: Winsen (2015)

O sensor MQ-137 é capaz de detectar concentrações na faixa de 5 ppm a 500 ppm, operando em uma temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ com um consumo médio de 900 mW. Abaixo são relacionadas as suas principais especificações conforme dados retirados de seu datasheet:

- Resistência de aquecimento: $29\ \Omega \pm 3\ \Omega$;
- Tensão de aquecimento: $5\ \text{V} \pm 0,1\ \text{V}$;
- Potência de aquecimento: $\leq 900\ \text{mW}$;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- Dimensões: 32 mm x 20 mm x 15 mm.

Abaixo segue algumas Figuras referente ao comportamento do sensor.

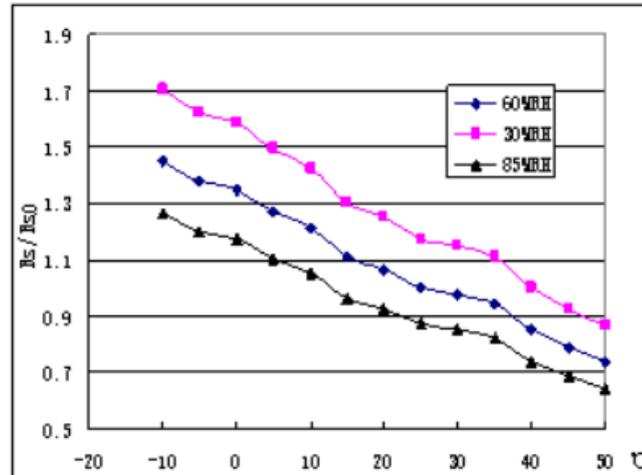
Figura 12 - Curva Característica de Sensibilidade do sensor MQ-137



Fonte: Winsen (2015)

Conforme Figura 12, fica demonstrada graficamente a mudança da sensibilidade do sensor MQ-137 quando submetido à presença de gás amoníaco, considerando uma configuração padrão de ambiente com temperatura estável de 20 °C, umidade de 65 %, concentração padrão de O₂ em 21 %, resistência de carga (RL) em 4.7 kΩ. No eixo ordinário (R_s/R_o) está definida a resistência média do sensor determinada pela razão entre R_s (resistência do sensor em diferentes concentrações de gases) e R_o (resistência do sensor para uma concentração de O₂ em 100 ppm no ar limpo), enquanto que no eixo das abscissas encontram-se a concentração de gases (WINSEN CO, 2015).

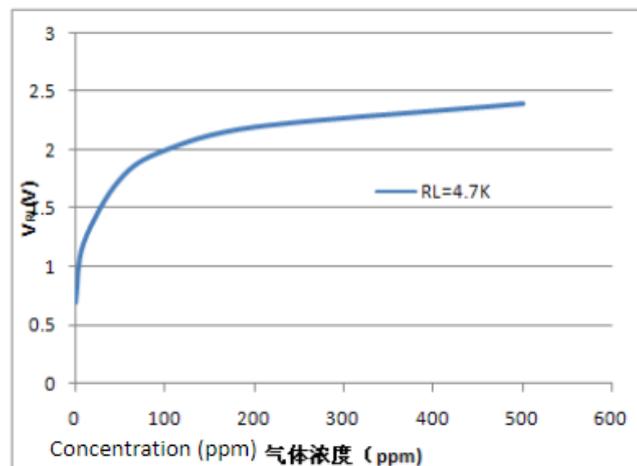
Figura 13 - Curva Característica de Temperatura e Umidade do sensor MQ-137



Fonte: Winsen (2015)

Conforme a Figura 13, fica demonstrada graficamente a mudança da sensibilidade do sensor MQ-137 quando submetido à presença do gás amoníaco, considerando uma configuração padrão de ambiente com temperatura estável de 20 °C, umidade de 65 %, concentração padrão de O₂ em 21 %, resistência de carga (RL) em 4.7 kΩ. No eixo ordinário (R_s/R_o) está definida a resistência média do sensor determinada pela razão entre R_s (resistência do sensor em diferentes concentrações de gases) e R_o (resistência do sensor para uma concentração de O₂ em 100 ppm no ar limpo), enquanto que no eixo das abscissas encontram-se a concentração de gases (WINSEN, 2015).

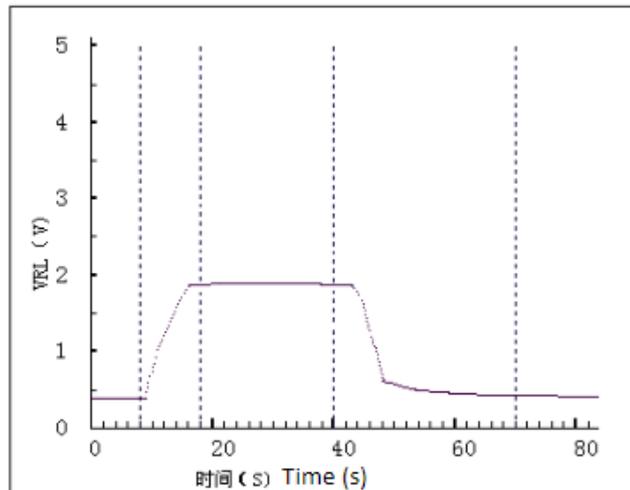
Figura 14 - Curva de Sensibilidade do sensor MQ-137



Fonte: Winsen (2015)

É possível verificar pela curva do gráfico da 14 como a tensão de RL acompanha um crescimento exponencial considerável até 250ppm e posteriormente, de forma mais suave e gradativa, avança para um estado estacionário ao mesmo tempo que se aproxima de 3 V. O teste considera $R_L = 4,7 \text{ k}\Omega$ (WINSEN, 2015).

Figura 15 - Curva de Resposta do sensor MQ-137



Fonte: Winsen (2015)

Na Figura 15, verificou-se a variação da tensão RL pelo tempo em duas situações distintas: colocando o sensor na presença de NH_3 e momentos depois retirando-o. Considerando a faixa de tempo de crescimento e decrescimento da curva, caracterizado pelos dois momentos supracitados, o tempo médio de resposta do sensor seria de 30 segundos (WINSEN, 2015).

3.1.3 Sensor de GLP MQ-6

Figura 16 - Sensor de gás MQ-6

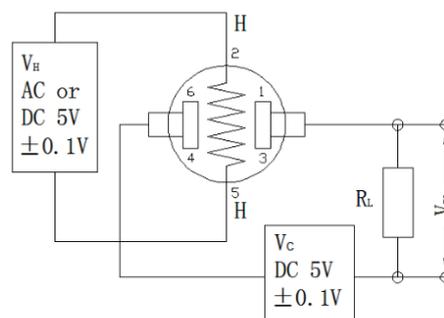


Fonte: Winsen (2018)

O material sensível do sensor de gás MQ-6, Figura 16, é o SnO_2 , o qual possui uma condutividade mais baixa em ar limpo. Quando há a presença do gás inflamável alvo, a condutividade do sensor aumenta à medida que a concentração do gás sobe. Os usuários podem converter a alteração da condutividade em um sinal de saída correspondente à concentração do gás por meio de um circuito simples. O sensor de gás MQ-6 possui alta sensibilidade ao butano, propano, metano e pode detectar metano e propano ao mesmo tempo. Ele também pode detectar diversos tipos de gases inflamáveis, especialmente o GLP (propano). É um tipo de sensor de baixo custo para muitas aplicações. (WINSEN CO,2015).

A Figura 17 representa o circuito elétrico do sensor MQ-6, onde se encontra a resistência variável e o circuito de potência.

Figura 17 - Circuito elétrico MQ-6



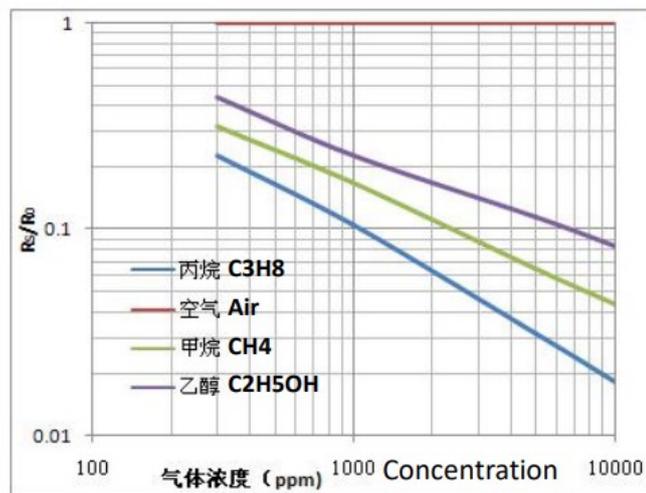
Fonte: Winsen (2015)

O sensor MQ-6 é capaz de detectar concentrações na faixa de 300 ppm a 10000 ppm, operando em uma temperatura de 20 °C com um consumo médio de 950 mW. Abaixo são relacionadas as suas principais especificações conforme dados retirados de seu datasheet:

- Resistência de aquecimento: $30 \Omega \pm 3 \Omega$;
- Tensão de aquecimento: $5 V \pm 0,1 V$;
- Potência de aquecimento: $\leq 950 \text{ mW}$;
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro;
- Dimensões: 19 mm x 24 mm x 19 mm.

Abaixo segue algumas Figuras referente ao comportamento do sensor.

Figura 18 - Curva Característica de Sensibilidade do sensor MQ-6

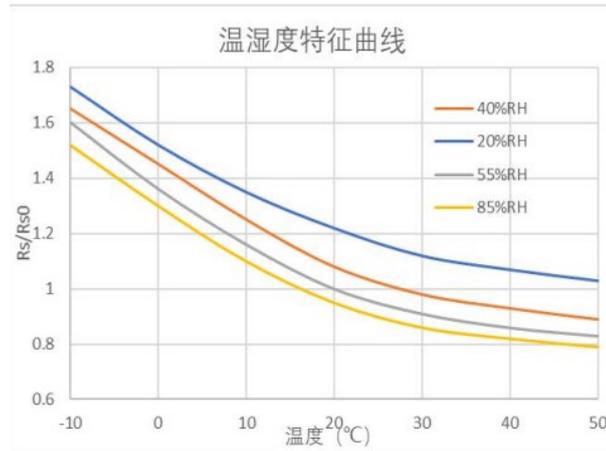


Fonte: Winsen (2015)

Conforme a Figura 18, fica demonstrada graficamente a mudança da sensibilidade do sensor MQ-6 quando submetido à presença de gases inflamáveis, considerando uma configuração padrão de ambiente com temperatura estável de 20 °C, umidade de 55%, concentração padrão de O₂ em 21 %, resistência de carga (RL) em 4.7 kΩ. No eixo ordinário (Rs/Ro) está definida a resistência média do sensor determinada pela razão entre Rs (resistência do sensor em diferentes concentrações

de gases) e R_o (resistência do sensor para uma concentração de O_2 em 100 ppm no ar limpo), enquanto que no eixo das abscissas encontram-se a concentração de gases (WINSEN CO, 2015).

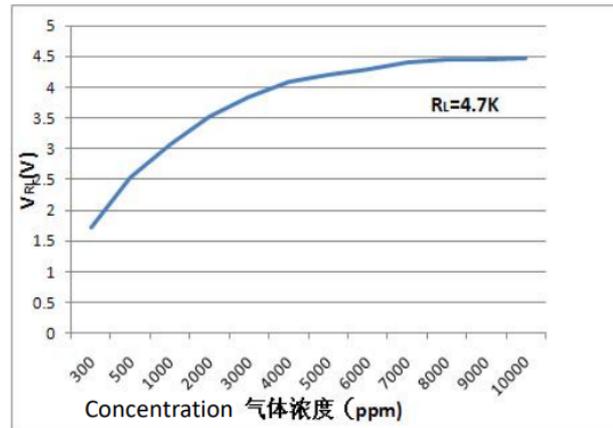
Figura 19 - Curva Característica de Temperatura e Umidade do sensor MQ-6



Fonte: Winsen (2015)

A partir da Figura 19, fica demonstrada graficamente a mudança da sensibilidade do sensor MQ-6 quando submetido à presença de gases inflamáveis, considerando uma configuração padrão de ambiente com temperatura estável de 20 °C, umidade de 65 %, concentração padrão de O_2 em 21 %, resistência de carga (RL) em 4.7kΩ. No eixo ordinário (R_s/R_o) está definida a resistência média do sensor determinada pela razão entre R_s (resistência do sensor em diferentes concentrações de gases) e R_o (resistência do sensor para uma concentração de O_2 em 100 ppm no ar limpo), enquanto que no eixo das abscissas encontram-se a concentração de gases (WINSEN, 2015).

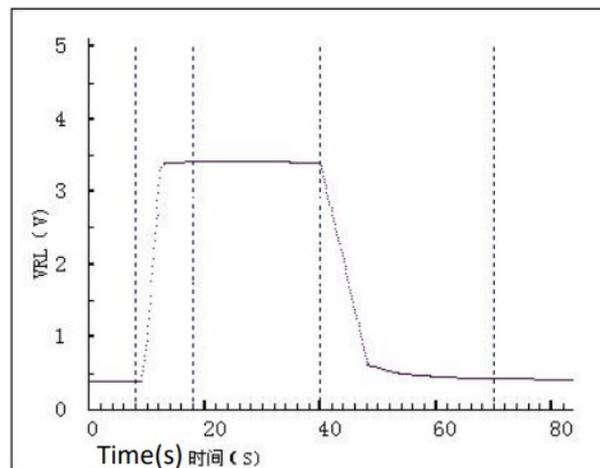
Figura 20 - Curva de Sensibilidade do sensor MQ-6



Fonte: Winsen (2015)

É possível verificar pela curva do gráfico da Figura 20 como a tensão de RL acompanha um crescimento exponencial considerável até 8000 ppm e posteriormente, de forma mais suave e gradativa, avança para um estado estacionário ao mesmo tempo que se aproxima de 4,5 V. O teste considera $R_L = 4,7 \text{ k}\Omega$ (WINSEN, 2015).

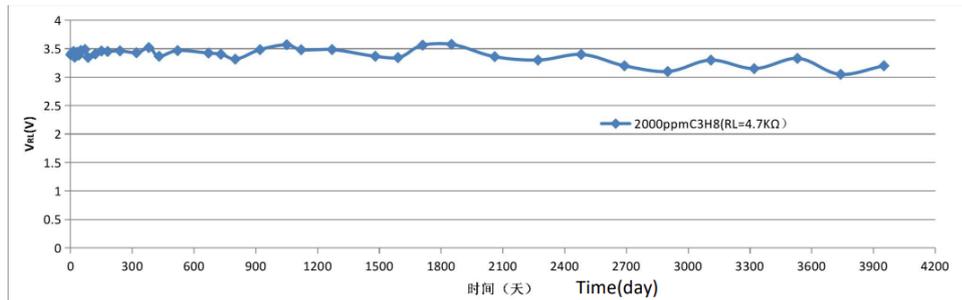
Figura 21 - Curva de Resposta do sensor MQ-6



Fonte: Winsen (2015)

Na Figura 21, verificou-se a variação da tensão RL pelo tempo em duas situações distintas: colocando o sensor na presença de gases inflamáveis e momentos depois retirando-o. Considerando a faixa de tempo de crescimento e decrescimento da curva, caracterizado pelos dois momentos supracitados, o tempo médio de resposta do sensor seria de 50 segundos (WINSEN, 2015).

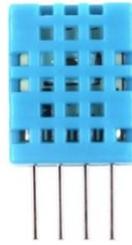
Figura 22 - Curva de estabilidade em longos períodos MQ-6



Fonte: Winsen (2015)

3.1.4 Sensor de umidade e temperatura DHT11

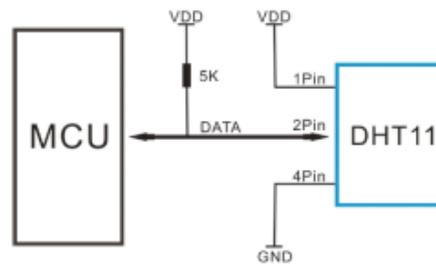
Figura 23 - Sensor de temperatura e umidade DHT11



Fonte: D-ROBOTICS (2011)

O sensor modelo DHT11, Figura 23, mede temperatura (TDHT11, °C) entre 0 °C e 50 °C, com acurácia de ± 2 °C, e umidade relativa (URDHT11, %) entre 20 e 95%, com acurácia de $\pm 5\%$ (D-ROBOTICS, 2011). O sensor modelo DHT11 tem por características elétricas tensão entre 3 e 5,5 V, operando em 5 V a uma temperatura de 25 °C. Na Figura 20 é exibido o esquema de aplicação do sensor modelo DHT11 (D-ROBOTICS, 2011).

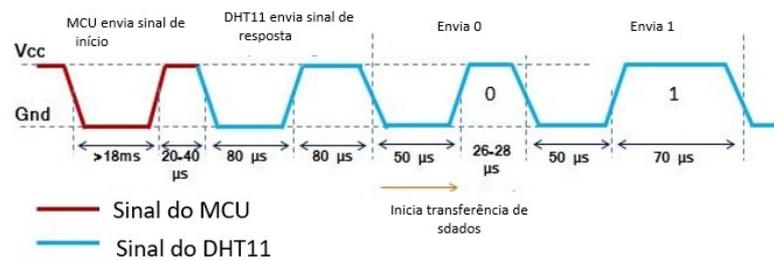
Figura 24 - Esquema de ligação do DHT11



Fonte: D-ROBOTICS (2011)

A Figura 25, adaptada do *datasheet*, representa o padrão de resposta do sensor DHT11, sendo possível identificar as formas de onda.

Figura 25 - Padrão de resposta do DHT11



Fonte: D-ROBOTICS, (2011)

Quando o MCU envia um sinal de início, o DHT11 muda do modo de baixo consumo de energia para o modo de operação, esperando que o MCU conclua o sinal de início. Depois de concluído, o DHT11 envia um sinal de resposta de dados de 40 *bits* que inclui informações sobre umidade relativa e temperatura para o MCU. Os usuários podem optar por coletar (ler) alguns dados. Sem o sinal de início do MCU, o DHT11 não dará o sinal de resposta ao MCU. Depois que os dados são coletados, o DHT11 mudará para o modo de baixo consumo de energia até receber um sinal de início do MCU novamente. está em nível de alta tensão. Quando a comunicação entre o MCU e o DHT11 começar, o programa do MCU definirá o nível de tensão do barramento único de dados de alto para baixo e esse processo deve levar pelo menos

18ms para garantir a detecção do sinal do MCU pelo DHT, então o MCU aumentará a tensão e aguardará 20-40 us para reposta DHT. (D-ROBOTICS, 2011)

3.1.5 Cooler fan

No projeto deste estudo, foi utilizado o *cooler fan* para representar o sistema de ventilação do aviário, representado pela Figura 26.

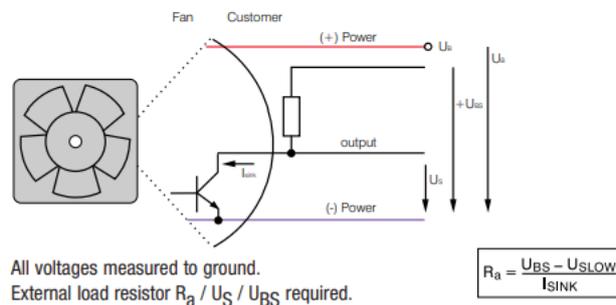
Figura 26 - Cooler fan



Fonte: autoria própria (2023)

A Figura 27 representa as conexões elétricas do *cooler fan*, sendo o fio vermelho a entrada do positivo e o preto o negativo.

Figura 27 - Conexões elétricas cooler fan



Fonte: EMPASPT (2020)

3.1.6 Sensor de luminosidade LDR

Figura 28 - Sensor de luminosidade LDR

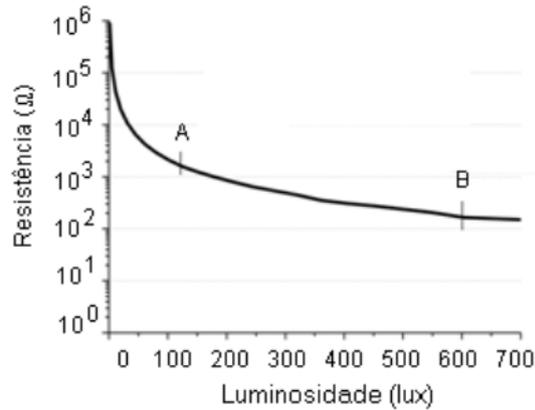


Fonte: Aatoria própria

O LDR, Figura 28, Resistor Dependente da Luz, é um dispositivo semiconductor eletrônico que possui dois terminais e a característica de possuir certa resistência de acordo com a quantidade de luz incidente sobre ele de forma quase linear, além de ser um elemento não polarizado, fazendo com que a corrente possa circular em ambos os sentidos. (MENDES JÚNIOR,2013)

Seu funcionamento é explicado pelo efeito fotoelétrico. Assumindo que elementos condutores (na teoria eletrostática) possuem diferença energética entre a banda de valência e a banda de condução quase nula (sem oferecer obstáculos à passagem de corrente) e que materiais isolantes se comportam de maneira inversa (diferença energética muito grande); os semicondutores, por sua vez, têm a diferença de energia entre o valor dos condutores e dos isolantes e necessitam de alguma força externa, como a luminosidade e a temperatura, para conduzir corrente elétrica. Juntamente com a teoria em que a luz pode ser definida como pacotes de energia com determinados comprimentos de onda (energia transmitida a partir de fótons) e que um feixe luminoso está incidindo sobre uma superfície, os elétrons “presos” ao elemento tendem a interagir com os fótons, desde que estes atinjam um valor mínimo de frequência do material. Quando o LDR é exposto a um feixe luminoso, começa a dispor de elétrons livres, fazendo sua resistência diminuir; reduzindo o feixe luminoso, começa a faltar elétrons livres, aumentando a resistência do mesmo. (GHELLERE, 2009). O comportamento da resistência pela luminosidade pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Comportamento da Resistência pela Luminosidade para um LDR de 5 mm



Fonte: RS COMPONENTS (1997)

3.2 Definição da metodologia

Após a definição dos principais equipamentos empregados no projeto, rumou-se para a metodologia.

3.2.1 Monitoramento da iluminação

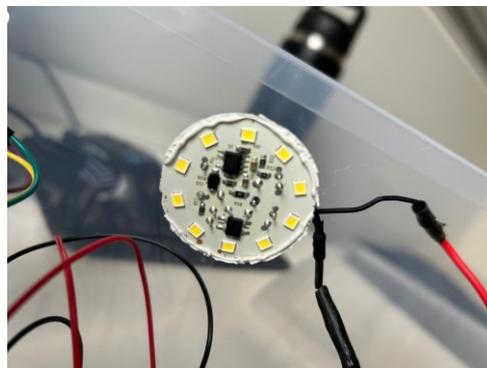
O controle da iluminação é essencial para o desenvolvimento dos frangos, tendo em vista que necessitam estar mais de 80% do tempo em ambiente luminoso. Iluminação

Para ofertar a iluminação necessária, foi utilizado uma lâmpada LED de 9 W e 127 V. Para o seu acionamento, foi utilizado um módulo relé, dispositivo eletromecânico utilizado para controlar o fluxo de corrente elétrica em um circuito cujo acionamento depende somente de um sinal enviado pelo microcontrolador, apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Módulo Relé

Fonte: Autoria própria (2023)

Para adequar a lâmpada ao protótipo, foi removida sua estrutura e utilizado apenas a parte eletrônica, conforme Figura 31.

Figura 31 - Lâmpada 9W sem estrutura

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2.2 Monitoramento de temperatura

O monitoramento da temperatura é o principal objetivo deste projeto, visto que em média, 44% das perdas de frangos em aviário ocorrem por questões metabólicas, influenciadas diretamente pela temperatura.

O sensor DHT11 foi selecionado para o projeto pois atende todos os requisitos, realiza medições de temperatura e umidade do ambiente com uma precisão aceitável para nosso protótipo além de apresentar um custo baixo. O sensor pode ser encontrado facilmente no mercado pelo preço de R\$ 20,00.

3.2.3 Aquecimento

Para elevar a temperatura ambiente, a utilização de um aquecedor é indispensável. Neste projeto foi utilizado um LED para simular um aquecedor, com o foco de representar o funcionamento da parte lógica do sistema.

3.2.4 Ventilação

O dispositivo escolhido para reduzir a temperatura e a concentração de gás amoníaco, foi um *fan cooler* de 12V, o seu acionamento é realizado através de um módulo relé, semelhante da Figura 31. Ele irá simular um ventilador - exaustor industrial e tem um preço médio de mercado de R\$ 20,00.

3.2.5 Monitoramento da concentração de gás amoníaco – GLP

O sensor MQ-137 é um sensor destinado somente para a medição de gás amoníaco, cujo preço médio de mercado está em torno de R\$ 150,00.

Como durante a realização do projeto não foi possível validar o protótipo *in loco*, e em ambientes urbanos a concentração de amônia é praticamente nula, foi utilizado um sensor MQ-6, que monitora a concentração de gás GLP (gás liquefeito de petróleo), encontrado comumente em isqueiros, assim permitindo realizar a validação da parte lógica do sistema em qualquer ambiente.

O sensor MQ-6 tem um ótimo custo benefício comparado ao MQ-137, tendo um preço médio de mercado de R\$ 25,00.

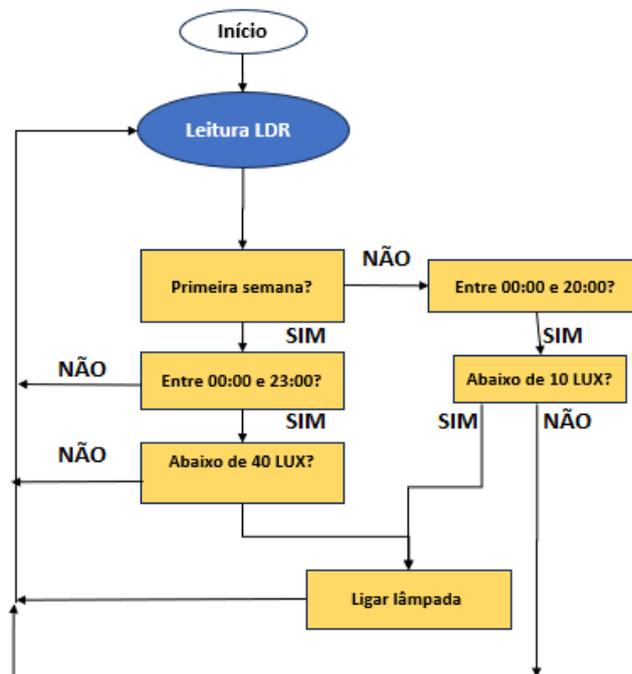
3.3 Fluxograma

Este projeto foi dividido em três fluxogramas, abrangendo luminosidade, temperatura e concentração de gás amoníaco.

A Figura 32 representa o fluxograma de luminosidade, onde foi definido um valor de referência de LUX, de acordo com o período de vida do frango. Durante a primeira semana de vida, o animal necessita de no mínimo 40 LUX durante 23 horas por dia. A partir da segunda semana, o frango necessita de ao menos 10 LUX durante 20 horas por dia. Foi definido também os horários permitidos para o acionamento do relé da lâmpada caso a leitura realizada pelo LDR fique abaixo da referência. Para a

primeira semana, foi definido o horário entre 00:00 e 23:00, para o restante do ciclo, o horário definido foi entre 00:00 até as 20:00. Caso a leitura do LDR fique abaixo do valor de referência durante os horários determinados, deverá acionar o relé da lâmpada. O LDR teve sua calibração realizada utilizando o aplicativo *LightMeter*, Figura 33, que utiliza o sensor de luz ambiente disponível nos aparelhos celulares, sua precisão varia de acordo com o aparelho que está sendo utilizado.

Figura 32 - Fluxograma do funcionamento do sistema de iluminação



Fonte: Autoria própria (2023)

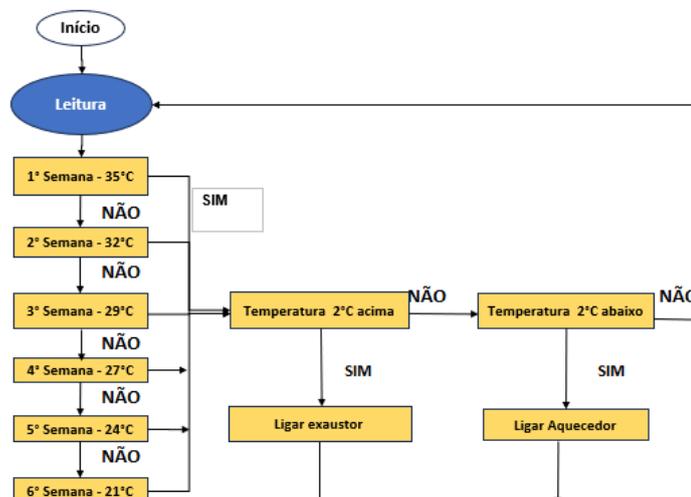
Figura 33 - Aplicativo de medição de LUX LightMeter



Fonte: Autoria própria (2023)

O segundo fluxograma, representado pela Figura 34, foi definido a temperatura alvo para cada semana de vida do animal, de acordo com a literatura mencionada no referencial teórico. Caso a temperatura fique 2 °C acima do alvo, deverá acionar o exaustor, caso fique 2 °C abaixo, deverá acionar o aquecedor, caso estas condições não sejam atendidas, o sistema não deve sofrer alterações. O DHT 11, de acordo com o datasheet, foi calibrado previamente em laboratório, portando não foi necessária sua calibração em campo.

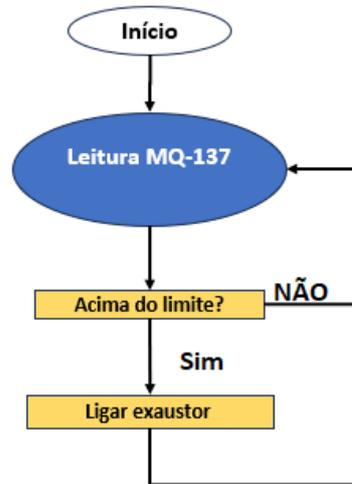
Figura 34 - Fluxograma do funcionamento do sistema da temperatura



Fonte: Autoria própria (2023)

O terceiro fluxograma, representado pela Figura 35, refere-se à medição de gás amoníaco pelo sensor MQ-137, neste projeto representado pelo MQ-6. Caso sua leitura esteja do valor estabelecido, deverá acionar o exaustor, caso contrário, não realiza nenhuma ação.

Figura 35 - Fluxograma do funcionamento do sistema de gás



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4 Desenvolvimento do código

Partindo da definição dos sensores e atuadores empregados bem como os fluxogramas, foi necessário realizar a programação do ESP32, utilizando a plataforma IDE do Arduino, utilizando a linguagem de programação C++, e também, criar o projeto virtual dentro da plataforma de desenvolvimento IoT *Blynk*.

3.4.1 Plataforma de desenvolvimento IoT *Blynk*

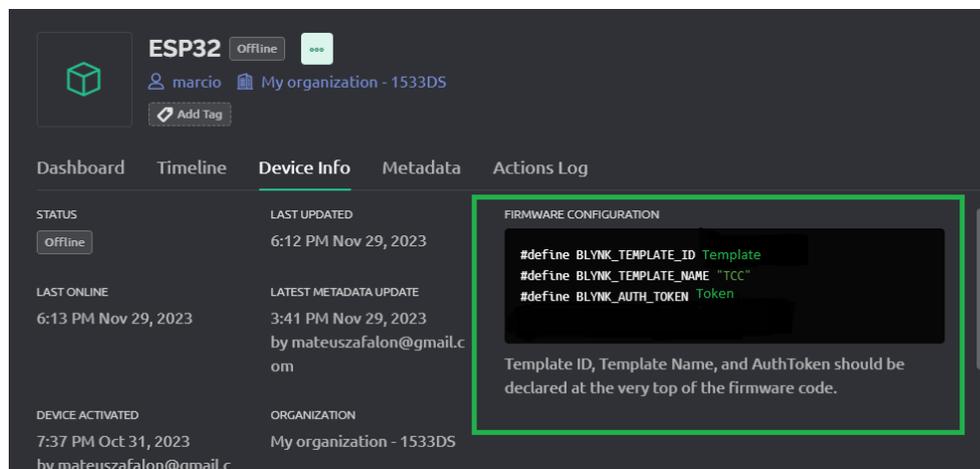
Com o intuito de conectar o protótipo a internet e poder monitorar as variáveis de controle remotamente, utilizou-se a plataforma de desenvolvimento IoT *Blynk*. A plataforma oferece a utilização gratuita com recursos limitados, sendo possível realizar compras dentro do site para aumentar os recursos.

O desenvolvedor da plataforma disponibiliza no próprio site bibliotecas que devem ser instaladas e incluídas no código de programação sendo

responsável pela conectividade, autenticação de dispositivo na nuvem e processos de comandos entre a *Blynk*, a nuvem e o hardware.

Para sua utilização, o usuário deverá baixar o aplicativo da *Blynk*, ou entrar no site pelo navegador, criar sua conta e por seguinte gerar um *template* e um *token* que também deverá ser incluído no código de programação. Na Figura 36, extraída do site do desenvolvedor, é possível identificar as informações de *template* e *token*. A conexão entre o microcontrolador e a plataforma é feita via *wifi*.

Figura 36 - Site da plataforma de desenvolvimento lot Blynk



Fonte: Autoria própria (2023)

3.4.2 Programação ESP32

Inicialmente foram definidas todas as bibliotecas necessárias para a realização do projeto, na Figura 37, nota-se a inclusão da biblioteca e *template* referente a plataforma *Blynk*, inclusão da biblioteca *Timelib*, responsável por atualizar a data e hora atual, bibliotecas para conexão com *Wifi* e a biblioteca do DHT, para converter os sinais lidos em temperatura e umidade.

Figura 37 - Bibliotecas inseridas no código

```

1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "Template"
2  #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "TCC"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "Token"
4
5  /* Comment this out to disable prints
6  #define BLYNK_PRINT Serial
7
8  #include <WiFi.h>
9  #include <WiFiClient.h>
10 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
11 #include <DHT_U.h>
12
13 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
14 char ssid[] = "Wifi";
15 char pass[] = "Senha";

```

Fonte: Autoria própria (2023)

Em seguida, foram declarados os pinos referentes a cada sensor e atuador e as variáveis trabalhadas. Na Figura 38 é possível identificar a declaração da variável semana, responsável por atualizar a semana de vida do animal a partir do momento que o sistema seja iniciado. O vetor de temperatura alvo, definindo a temperatura de referência para cada período de vida no animal, no caso, 6 semanas. Também se encontra a definição de duas variáveis para o LDR, sendo minLDRvalor1 referente a primeira semana de vida do animal, e minLDRvalor2 referente à segunda semana em diante, além do valor de referência para o MQ-6.

Figura 38 - Definição das variáveis no código

```

25 #define LED1 18
26 #define LED2 19
27 #define LED3 21
28 #define MQ6_SENSOR 34
29 #define LDR_SENSOR 35
30
31 DHT_Unified dht(DHTPIN, DHTTYPE);
32
33 int currentWeek = 1;
34 float targetTemperature[6];
35 int minLDRValue1 = 2000;
36 int minLDRValue2 = 1000;
37 int minMQ6Value = 600;
38

```

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a declaração das variáveis, foi incrementado a lógica de programação para o primeiro fluxograma, onde é definido o princípio de funcionamento da iluminação no sistema. É importante reforçar, que a lógica depende do período de vida do animal.

Nota-se na Figura 39, dentro do *void loop*, primeiro é definido a data e hora atual, para em seguida verificar as condições de iluminação.

Figura 39 - Código para fluxograma 1

```

68 void loop() {
69   Blynk.run();
70   struct tm timeinfo; // DEFININDO HORA LOCAL PELA INTERNET
71   if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
72     Serial.println("Erro ao obter o tempo");
73     return;
74   }
75   timeinfo.tm_hour -= 3; // CORRIGE FUSO HORARIO
76   if (timeinfo.tm_hour < 0) {
77     timeinfo.tm_hour += 24;
78   }
79   // LOGICA SEMANA 1
80   if (currentWeek == 1) {
81     if (timeinfo.tm_hour >= 0 && timeinfo.tm_hour <= 23) {
82       if (ldrValue < minLDRValue1) {
83         digitalWrite(LED1, HIGH);
84       } else {
85         digitalWrite(LED1, LOW);
86       }
87     }
88     // LOGICA SEMANA 2
89   } else {
90     if (timeinfo.tm_hour >= 0 && timeinfo.tm_hour < 20) {
91       if (ldrValue < minLDRValue2) {
92         digitalWrite(LED1, HIGH);
93       } else {
94         digitalWrite(LED1, LOW);
95     } // CONTINUA...

```

Fonte: Autoria própria (2023)

Avançando para o segundo fluxograma, definiu-se a lógica de programação referente a definição de temperatura em relação ao período de vida do animal.

Na Figura 40, torna-se evidente a lógica de acionamento do exaustor e aquecedor, já a Figura 41 demonstra atualização do valor da temperatura alvo de acordo com o período de vida do animal.

Figura 40 - Código para fluxograma 2

```

101 sensors_event_t event;
102 dht.temperature().getEvent(&event);
103 float currentTemperature = event.temperature; // lendo a temperatura
104
105 for (int i = 0; i < 6; i++) {
106     if (currentTemperature > targetTemperature[i] + 2) {
107         digitalWrite(LED2, HIGH);
108         digitalWrite(LED3, LOW);
109     } else if (currentTemperature < targetTemperature[i] - 2) {
110         digitalWrite(LED2, LOW);
111         digitalWrite(LED3, HIGH);
112     } else {
113         digitalWrite(LED2, LOW);
114         digitalWrite(LED3, LOW);
115     }
116 }
117

```

Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 41 - Atualização da temperatura de acordo com a semana

```

145 void updateTargetTemperature() {
146     for (int i = 0; i < 6; i++) {
147         switch (i) {
148             case 0:
149                 targetTemperature[i] = 35.0;
150                 break;
151             case 1:
152                 targetTemperature[i] = 32.0;
153                 break;
154             case 2:
155                 targetTemperature[i] = 29.0;
156                 break;
157             case 3:
158                 targetTemperature[i] = 27.0;
159                 break;
160             case 4:
161                 targetTemperature[i] = 24.0;
162                 break;
163             case 5:
164                 targetTemperature[i] = 21.0;
165                 break;
166             default:
167                 targetTemperature[i] = 35.0;
168                 break;

```

Fonte: Autoria própria (2023)

Rumando para o terceiro fluxograma, onde é realizado a lógica de acionamento do exaustor com base na concentração de gás amoníaco. A Figura 42 demonstra a programação. É importante destacar que a lógica dos 3 fluxogramas se encontra dentro do mesmo *void loop*.

Figura 42 - Código para fluxograma 3

```

118 | int mq6Value = analogRead(MQ6_SENSOR); // Lendo concentração de gás
119 | if (mq6Value > 600) {
120 |     digitalWrite(LED2, HIGH);
121 | }

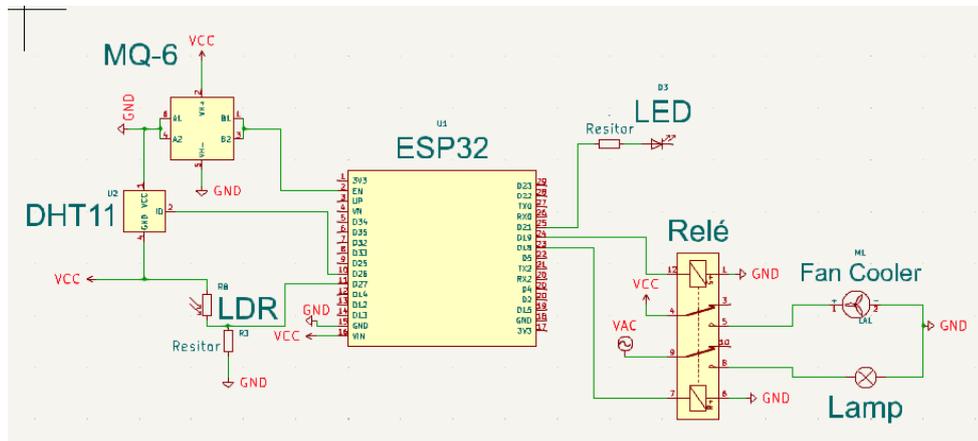
```

Fonte: Autoria própria (2023)

3.5 Esquemático

Com base nos *datasheets* de cada componente, foi desenvolvido um esquemático elétrico do sistema. Para tal, foi utilizado a ferramenta Kicad versão 7.0, representado na Figura 43. Nota-se que só foi utilizado resistor para o LDR e LED 3, visto que os demais componentes já possuem um circuito impresso totalmente dimensionado.

Figura 43 - Esquemático elétrico do protótipo



Fonte: Autoria própria (2023)

Tanto o LDR quanto o LED são conectados no microcontrolador em associação em serie de resistores. O objetivo da associação em serie com o LDR é medir a variação da tensão em um ponto central, já para o LED 3 é limitar a tensão que será imposta nele.

Para o dimensionamento do resistor em série com o LDR foi levado em consideração a resolução do pino ADC do ESP32 quando conectado ao *wifi*, com isso foi definido que a queda de tensão no sensor deve ser de 0,6 V quando estiver em resistência mínima, 1 k Ω , que é quando está exposto a luminosidade máxima. Através da lei de Ohm, identificamos que a corrente é de 6 mA

$$VRldr = VS - VLDR$$

- $VRldr$ – Tensão no resistor em série com o LDD;
- VS - Tensão fornecida pelo ESP32 (3,3 V);
- $VLDR$ – Queda de tensão no LDR quando está com mínima resistência;

Com isso chega-se à conclusão que $VRldr$ é de 2,7 V. Utilizando a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKV), conclui-se que o $Rldr$ deve ser de 45 k Ω .

Para o resistor em série com o LED levamos em consideração que o LED vermelho suporta uma tensão de até 2 V e uma corrente de 20 mA. Portanto, podemos calcular a resistência que foi ligada em séria pela seguinte equação:

$$RLED = \frac{VS - VLED}{I}$$

O valor mínimo de $RLED$ deve ser de 65 Ω , contudo foi-se utilizado um resistor de 100 Ω no projeto, afim de reduzir a corrente injetada pelo microcontrolador.

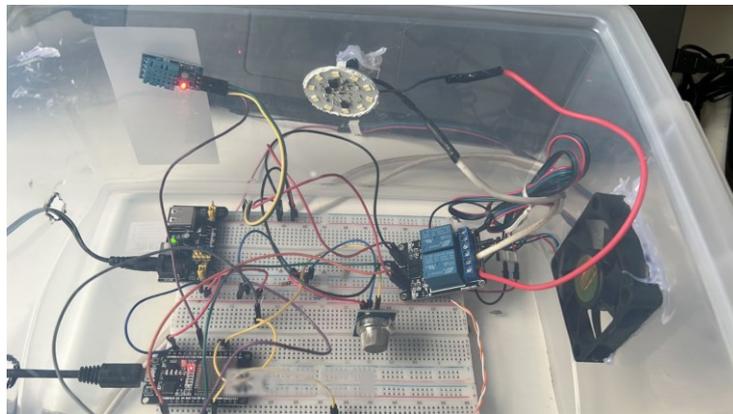
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é destinado à demonstração dos resultados obtidos. Foram realizados testes para cada um dos subsistemas, de acordo com os 3 fluxogramas, e para finalizar, um teste com todos os subsistemas integrados.

4.1 Montagem física protótipo

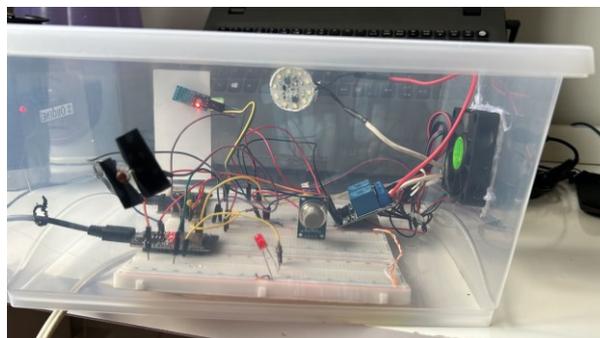
Para a validação do projeto, foi feito um protótipo. Utilizou-se uma caixa plástica de 10 L para simular o aviário, em seguida foram instalados os sensores e atuadores, como pode ser observado nas Figuras 44 e 45.

Figura 44 - Vista superior do protótipo



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 45 - Vista horizontal do protótipo



Fonte: Autoria própria (2023)

4.2 Teste de cada subsistema.

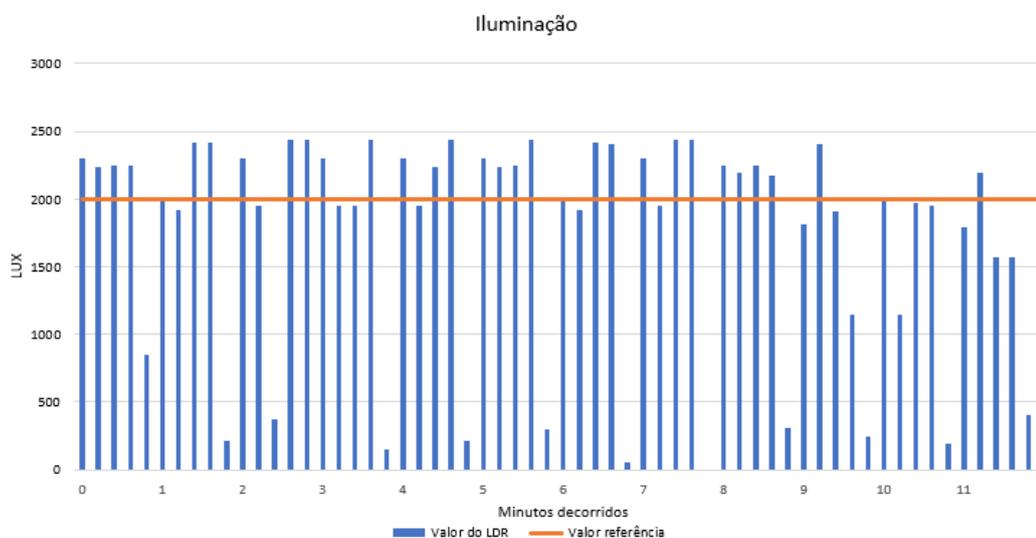
Para tal, o ciclo de funcionamento, que na prática dura 6 semanas, foi alterado para 12 minutos, sendo cada semana representada por 2 minutos, sendo realizada a leitura dos sensores a cada 10 segundos, resultando em um total de 72 leituras.

4.2.1 Teste de iluminação

Com o intuito de realizar o teste de 12 minutos simulando todas as condições presentes no código completo de 6 semanas, foi adotada a seguinte condição, nos 2 primeiros minutos, que simula a primeira semana, a lógica do LDR irá funcionar durante os primeiros 50 segundos de cada minuto, para os últimos 10 segundos de cada minuto, a lâmpada ficará apagada, independentemente do valor lido pelo LDR. Para os minutos seguintes, a lógica irá funcionar para os 40 primeiros segundos de cada minuto, o restante a lâmpada ficará apagada.

O gráfico 1 demonstra as leituras do LDR durante um ciclo de funcionamento, sendo possível observar que a leitura nos segundos finais de cada minuto ficou zerado, confirmando o funcionamento da lógica.

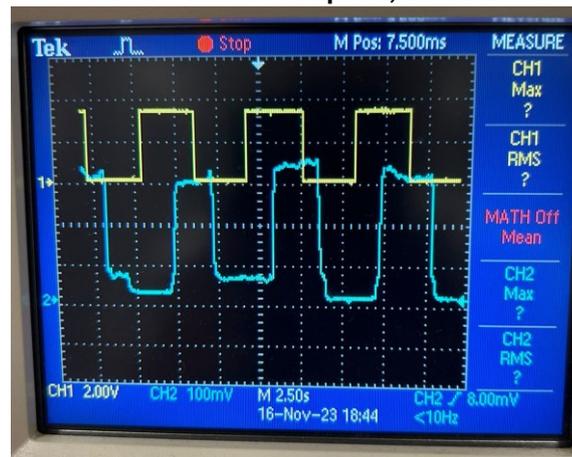
Gráfico 1 - Valores lido pelo LDR



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 46 apresenta medições realizadas com o equipamento osciloscópio, demonstrando o comportamento elétrico do relé de acionamento da lâmpada e do sensor LDR, sendo notável o nível lógico do relé alterando para 1 quando a leitura do LDR ficava abaixo do valor estabelecido, e também o nível lógico alterando para 0 quando o valor lido pelo LDR ultrapassava o valor estabelecido.

Figura 46 - Canal 1 relé da lâmpada, Canal 2 sensor LDR

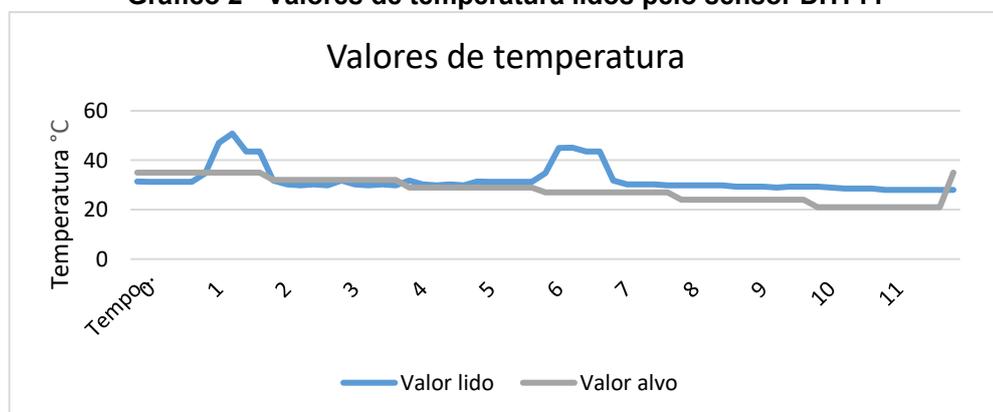


Fonte: Autoria própria (2023)

4.2.2 Teste de Temperatura

Seguindo o parâmetro do teste anterior, foram obtidos dados de um ciclo de funcionamento gerando o gráfico 2.

Gráfico 2 - Valores de temperatura lidos pelo sensor DHT11



Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que, a temperatura ambiente no dia que foi realizado os testes estava em torno de 30°C, com isso, os valores de temperatura lidas ficaram próximas a este patamar, visto que à utilização de apenas um *fan cooler* não foi suficiente para reduzir a temperatura. Também vale destacar os picos de temperatura representados no gráfico, são referentes a utilização de um secador de cabelo, utilizado para simular um aumento de temperatura. Disto isto, pode se concluir que a lógica funcionou perfeitamente, acionando o exaustor quando a temperatura ficava acima da temperatura alvo, e acionando o aquecedor (LED), quando a temperatura ficava abaixo do patamar estabelecido.

A Figura 47 apresenta medições realizadas em um osciloscópio, demonstrando o comportamento elétrico do relé do aquecedor e do sensor DHT 11

Figura 47 - Canal 1 DHT11, Canal 2 relé do aquecedor



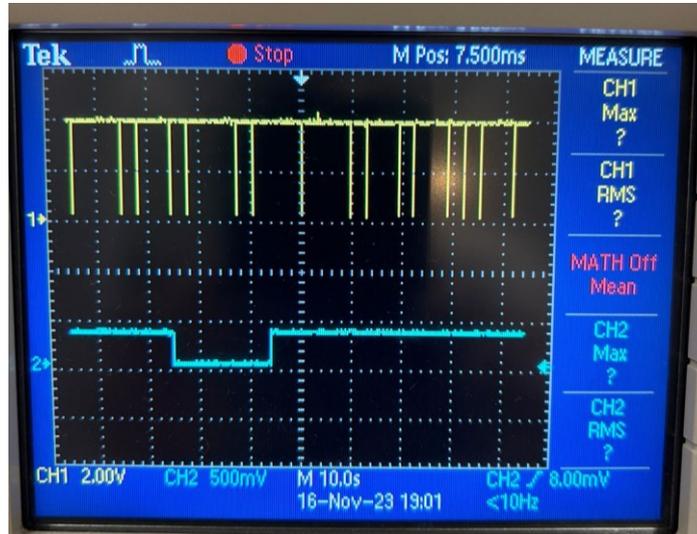
Fonte: A autoria própria (2023)

Para a realização desta medição, iniciou-se quando o relé do aquecedor estava com o nível lógico 1, ou seja, quando a temperatura lida estava abaixo da temperatura alvo, quando a temperatura lida atingiu o patamar desejado, o relé alterou seu estado para nível lógico 0. Confirmando o funcionamento da lógica.

Já a Figura 48, demonstra o funcionamento do relé do exaustor, é possível notar que ele inicia no nível lógico 1, pois a temperatura lida estava acima da temperatura alvo, ao atingir o patamar desejado alterou seu estado para nível lógico 0. Utilizando novamente um secador de cabelo, aqueceu-se o ambiente e temperatura lida pelo sensor ficou acima da temperatura alvo, alterando o estado do relé para nível

lógico 1, assim demonstrando que o funcionamento do mesmo está de acordo com a lógica estabelecida.

Figura 48 - Canal 1 DHT11, Canal 2 relé exaustor



Fonte: Autoria própria (2023)

Também é possível notar na Figura 49 o processo de comunicação do DHT, que é representado conforme Figura 25.

4.2. Teste do sensor MQ-6

O gráfico 3 demonstra os valores de concentração de gás GLP lido pelo sensor MQ-6, bem como o valor limite.

Gráfico 3 - Valores lidos pelo sensor MQ-6

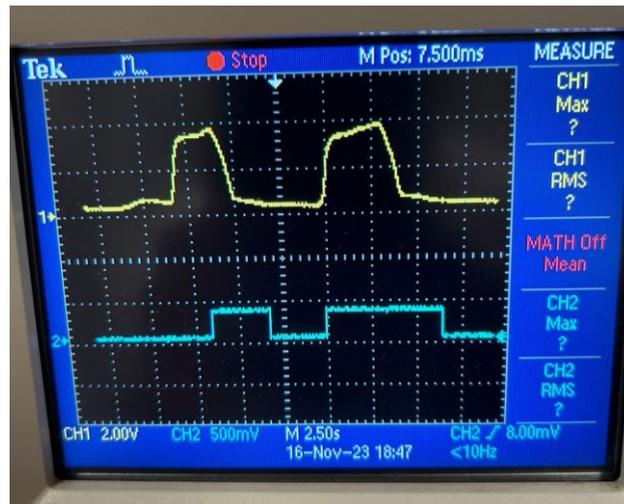


Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que, os picos visto no gráfico são referentes a injeção artificial de gás GLP no sistema para testar o funcionamento da lógica.

A Figura 49 é referente a medição realizada no osciloscópio, verificando o nível logico do relé do exaustor e da tensão no sensor MQ-6.

Figura 49 - Canal 1 sensor MQ-6, Canal 2 relé exaustor



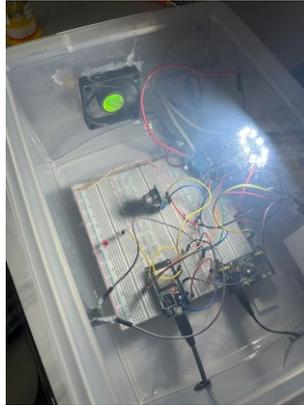
Fonte: Autoria própria (2023)

É de fácil visualização a alteração do nível lógico do relé, de zero para 1, quando o valor lido pelo MQ-6 ultrapassava o patamar estabelecido, confirmando o funcionamento da lógica.

4.3 Integração de todos subsistemas

Após a validação de funcionamento de cada subsistema individualmente, rumou-se para a integração dos mesmo e a conexão na plataforma *Blynk*. A Figura 50 é o protótipo integrado e em funcionamento.

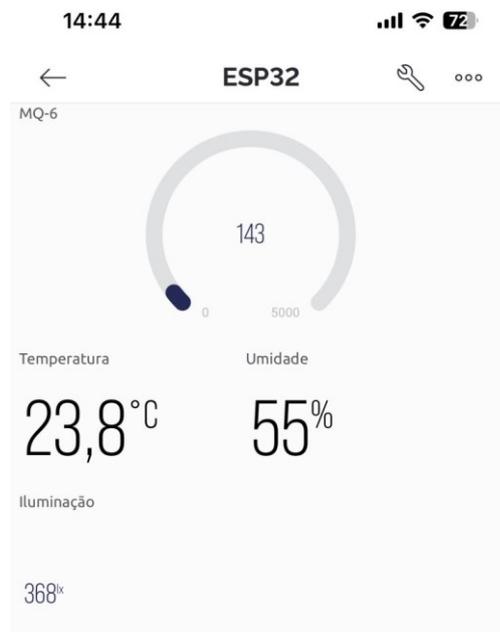
Figura 50 - Vista do protótipo integrado



Fonte: Autoria própria (2023)

A Figura 51 demonstra o monitoramento das variáveis de controle remotamente, utilizando o aplicativo da plataforma *Blynk* no celular. Os dados são atualizados a cada 10 segundos, conforme definido no código de programação.

Figura 51 - Aplicativo *Blynk* demonstrando os valores controlados



Fonte: Autoria própria (2023)

O custo total do projeto foi de R\$222,00. A Tabela 3 descreve os custos de cada componente.

Tabela 3 - Custo dos equipamentos

Componentes	Preço (R\$)
ESP32	R\$ 40,00
DHT11	R\$ 20,00
MQ-6/MQ 137	R\$ 15,00 / R\$ 150,00
LDR	R\$ 1,00
Resistores	R\$ 1,00
Protoboard	R\$ 25,00
Jumpers	R\$ 20,00
Caixa 10 litros	R\$ 50,00
<i>Fan cooler</i>	R\$ 20,00
Modulo relé	R\$ 15,00

Fonte: Aatoria própria (2023)

O projeto tem um ótimo custo benefício em comparação ao equipamento de inspiração Temptron, encontrado no site *Alibaba* pelo valor de \$260,00. Utilizando o sensor de amônia MQ-137, item mais caro do sistema, o projeto teria um custo estimado em R\$ 357,00, representando apenas 27% do valor do Temptron. Vale ressaltar também, que o Temptron é apenas o controlador, sendo necessário a aquisição dos periféricos.

Com a produção em escala deste sistema, o custo final tende a diminuir, aumentando sua vantagem competitiva e atendendo o objetivo de ofertar a pequenos produtos um sistema de automação para seus aviários com um baixo investimento inicial.

5 CONCLUSÃO

Inicialmente o objetivo do projeto era desenvolver uma automação de baixo custo para um aviário, baseado em internet das coisas e indústria 4.0, com o intuito de controlar e monitorar algumas variáveis de controle remotamente, e por consequência gerar dados para o criador.

Com este propósito, foi realizada uma pesquisa literária para compreender o processo de desenvolvimento dos frangos e a importância da tecnologia no setor agropecuário. Em seguida, foi pesquisado as condições ideais de ambiente para o animal e quais variáveis deveriam ser controladas para aumentar a produtividade e criar uma padronização do processo.

Com estas informações, foi necessário definir qual microcontrolador seria utilizado, bem como os sensores e atuadores, levando em conta o princípio do projeto, de poder monitor remotamente e ser de baixo custo. Definiu-se então que seria utilizado o microcontrolador ESP32, sensor de temperatura e umidade DHT 11, sensor de iluminação LDR e sensor de concentração de amônia MQ-137.

Frente a isto, foi realizado fluxogramas para melhor visualização da lógica que deveria ser desenvolvida no código, e por consequência, o desenvolvimento da programação na plataforma Arduino IDE. Frente a isto, foi realizada a simulação do protótipo, demonstrando seu correto funcionamento diante do esperado.

Por conta do tempo de execução do projeto, não foi possível criar uma base em SQL para receber os dados gerados, com isso, o projeto não atingiu o objetivo de se enquadrar no termo indústria 4.0.

Por fim, o projeto atendeu quase todos os objetivos estabelecidos, o microcontrolador ESP32 se mostrou adequado para a função, e os sensores atendem as especificações de projeto.

5.1 Trabalhos futuros

Como continuação do trabalho, sugerem-se os seguintes:

- Criação de uma base SQL

- Validação *in loco*
- Utilizar protocolo de comunicação *Zigbee*

REFERÊNCIAS

MASLARIĆ, M.; NIKOLICIC, S.; MIRČETIĆ, D. **Logistics response to the industry 4.0: The physical internet**. *Open Engineering*, v. 6, 01 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/310732890_Logistics_Response_to_the_Industry_40_The_Physical_Internet

CNA- Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). **A Internet das Coisas chega à avicultura**. Publicado: 17 abr.2018. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/noticias/a-internet-das-coisas-chega-a-avicultura>

UBABEF – União Brasileira da Avicultura. **Relatório Anual de 2016**. Acesso em: <http://www.ubabef.com.br/publicacoes>.

BRASIL. Notícia. **Brasil lidera ranking mundial de exportação de carne de frango**. [Brasília]: Notícias, 09 set. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2022/09/brasil-lidera-ranking-mundial-de-exportacao-de-carne-de-frango>

CEPEA. Notícia. **PIB do agronegócio brasileiro**.: Notícias, 13 mar. 2023. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>

GIRO MOORI, R.; CALDEIRA, A.; MARQUES PROCÓPIO, E. **Intermediação financeira na cadeia produtiva da avicultura de corte**. Revista de Administração FACES Journal, v. 12, n. 2, 2013.

AGROLOGIC, **Catalogo Temptron 616**, 2023 Disponível em: <https://agrologic.com/product-catalog/temptron-616/>

NUTRITIME, Fatores que interferem no estresse térmico em frangos de corte, 2012 Disponível em:https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-162.pdf?_sm_nck=1

AGRICOLAS. **OCDE e FAO projetam que carne de aves deve ser a mais consumida até 2030**, Publicado: 27 jun.2022. Disponível em:

<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/granjeiros/320740-ocde-e-fao-projetam-que-carne-de-aves-deve-ser-a-mais-consumida-ate-2030.html>

AVICULTURA. **A história da avicultura brasileira**, Publicado: 20 mai.2003. Disponível:<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/a-historia-da-avicultura-brasileira/20030520-151203-0539>

IFC- Instituto Federal Catarinense, **Microcontroladores**, Publicado em fev.2018. Disponível em:

<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/ricardo-kerschbaumer/wp-content/uploads/sites/43/2018/02/Apostila-Microcontroladores.pdf>

ALLAFI I.; Iqbal T., **Design and Implementation of a Low-Cost Web Server Using ESP32 for Real-Time Photovoltaic System Monitoring**. Publicado em 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8286184>

ALIBABA - **ISRAEL AGROLOGIC TEMPTRON 616 CONTROLADOR DE SENSOR**. Publicado em 2017. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/Israel-AgroLogic-Temptron-616-controller-Sensor-60827707955.html>

EMBARCADOS, **ESP32: o sucessor do ESP8266**, Publicado em 2015. Disponível em: <https://embarcados.com.br/esp32-o-sucessor-do-esp8266/>

GONZÁLES, E.; SALDANHA, E.S.P.B. **Os primeiros dias de vida do frango e a produtividade futura**. In: Congresso brasileiro de zootecnia, 11.; congresso internacional de zootecnia, 3., 2001, AZEG: ABZ, 2001. p.312-313.

MENEGALI, I. **Diagnóstico da qualidade do ar na produção de frangos de corte em instalações semiclimatizadas por pressão negativa e positiva, no inverno, no sul do Brasil**. 2005. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CAMPOS, J.A. **Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho animal em dois tipos de suinoculturas**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados**. 2005. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, na Área de Concentração de Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas.

WINSEN CO. **Datasheet MQ-137** Publicado em 2015. Disponível em:

<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1307654/WINSEN/MQ137/761/3/MQ137.html>

SANTOS, RABELLO, PANDORFI, TORRES, SANTOS, CAMELO. **Fatores que interferem no estresse térmico em frangos de corte**. Publicado: jun.2002. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-162.pdf>

ABEYESINGHE, S.M. et al. **The aversion of broiler chickens to concurrent vibration and thermal stressors.** *Applied Animal Behaviour Science*, Amsterdam, v.73, n.3, p.199-215, 2001.

D-ROBOTICS. **Datasheet DHT11**, Publicado em 2011. Disponível em:
<https://datasheet-pdf.com/PDF/DHT11-Datasheet-D-Robotics-785590>

ABREU, ABREU. **Ventilação na avicultura de corte**, Publicado:2000. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58306/1/doc63.pdf>

FURTADO. **A história da avicultura brasileira**, Publicado:2003. Disponível em:
<https://www.agrimidia.com.br/agronegocio/a-historia-da-avicultura-brasileira/>

PARANA COOPERATIVO, **COPACOL: Manutenção e manuseio correto dos equipamentos evitar casos de emergência/sinistros**, Publicado: 15 set,2020. Disponível:
<https://paranacooperativo.coop.br/ppc/index.php/sistema-ocepar/comunicacao/2011-12-07-11-06-29/ultimas-noticias/130189-copacol-manutencao-e-manuseio-correto-dos-equipamentos-evitar-casos-de-emergenciasinistros>

PLASSON, **SISTEMAS DE AQUECIMENTO**. Publicado 2021. Disponível:
<https://www.plasson.com.br/livestock/site/products/chicken/product/16>

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 269 p.

FACTA, **Produção de frango de corte**; Publicado em 2014

KALABURQI, Narayan, **Working of dht sensor**. Publicado: 20201. Disponível em:
<https://nerdyelectronics.com/working-of-dht-sensor-dht11-and-dht22/>

MENDES JUNIOR. **LDR e sensores de luz ambiente: funcionamento e aplicações**. Publicado: 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50534452-Ldr-e-sensores-de-luz-ambiente-funcionamento-e-aplicacoes.html>

GHELLERE, G. **LDR Light Dependent Resistor: Resistor Variável de acordo com incidência de luz**. Publicado em 2009. Disponível em:
<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/compendiov7.pdf>.

RS COMPONENTES. **Light Dependent Resistors**. Publicado em 1997. Disponível em: http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf.

MIBRASIL. **Câmera de Segurança Residencial com Visão 360°**. Publicado em 2022. Disponível em: <https://www.mibrasil.com.br/camera-de-seguranca-360-1080p-x314-p1964>

RPRNA. **Xiaomi updated the Mi Home app, new version is V7.7.702y**. Publicado em 2022. Disponível em: <https://www.rprna.com/apps/latest-mi-home-app-update-11/>