

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

FERNANDO BORDIGNON PAZ SORTICA

**ESTUDO DO MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE VARIÁVEIS DE
AMBIENTE PERTINENTES A AVICULTURA**

PORTO ALEGRE
2023

FERNANDO BORDIGNON PAZ SORTICA

**ESTUDO DO MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE VARIÁVEIS DE
AMBIENTE PERTINENTES A AVICULTURA**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2023

Catlogação de Publicação na Fonte

S714e Sortica, Fernando Bordignon Paz.

Estudo do monitoramento automatizado de variáveis de ambiente pertinentes a avicultura. / Fernando Bordignon Paz Sortica– Porto Alegre, 2023.

67 f., il.

Orientadora: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul; Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, Unidade em Porto Alegre, 2023.

1. Avicultura. 1. Frango. 2. MQTT. 3. Automação. 4. IIoT. I. Peixoto, João Alvarez II. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Carina Lima CRB10/1905

FERNANDO BORDIGNON PAZ SORTICA

**ESTUDO DO MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE VARIÁVEIS DE
AMBIENTE PERTINENTES A AVICULTURA**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 30 / 11 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof. Dr. André Borin Soares
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. Fernando Almeida Santos
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

PORTO ALEGRE

2023

Dedico este trabalho a todo o curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, corpo docente e discente, a quem fico lisonjeado por dele ter feito parte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos, me permitindo ultrapassar todos os obstáculos encontrados.

Agradeço a minha família, por estarem comigo nos momentos mais difíceis e por serem meus pilares e exemplo de amor e dedicação constante, além de me impulsionarem a sonhar.

Agradeço ao professor Dr. João Peixoto, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Aos professores, pelas correções e ensinamentos, que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Não poderia fazer meus agradecimentos sem lembrar dos amigos da faculdade. Agradeço aos meus amigos, parceiros de vida. Eles fazem meus dias mais alegres, minha vida mais leve e estão ao meu lado nos momentos bons e ruins.

RESUMO

A avicultura no Brasil destaca-se como uma das cadeias produtivas mais eficientes em escala global. Entretanto, diversos aspectos demandam a atenção do produtor para otimizar plenamente o potencial produtivo dos animais, destacando-se entre eles os fatores de ambiência e bem-estar animal. O desempenho produtivo dos animais é maximizado quando mantidos em suas zonas de termoneutralidade, ou seja, em condições ideais de conforto. Conscientes desse princípio, os produtores buscam mitigar o desconforto das aves, causado por variações extremas de umidade, temperatura e luminosidade, mediante a implementação de equipamentos como ventiladores, exaustores, nebulizadores e aquecedores, nos aviários. No entanto, a operação inadequada desses dispositivos, além de não atingir o objetivo primordial de proporcionar um ambiente interno confortável para as aves, resulta em desperdício de energia e, conseqüentemente, elevação dos custos de produção. Diante desse cenário, foi concebido uma prova de conceito de monitoramento das variáveis pertinentes a avicultura. O propósito desse desenvolvimento é possibilitar o monitoramento preciso e automatizado dos equipamentos de climatização, através da internet das coisas, com plataforma de IIoT, além disso implementar e monitorar fisicamente o projeto realizando uma comunicação *publish subscribe*, valendo-se do protocolo MQTT e aplicativo MQTT Dash para seu monitoramento a fim de tornar o ambiente o mais propício e confortável possível, realizando simulações de temperatura, umidade e luminosidade. Este avanço tecnológico contribui de maneira significativa para a otimização dos fatores genéticos e nutricionais, almejando alcançar a máxima capacidade produtiva do plantel avícola. Como resultados, são apresentadas funcionalidades de monitoramento de temperatura, umidade e luminosidade, através de aparelhos remotos, conectados à internet.

Palavras-chaves: Avicultura. Frango. MQTT. Automação. IIoT.

ABSTRACT

Poultry farming in Brazil stands out as one of the most efficient production chains on a global scale. However, several aspects required the producer's attention to fully optimize the animals' productive potential, highlighting environmental and animal welfare factors. Animal performance is maximized when kept in their thermoneutral zones, that is, in ideal comfort conditions. Aware of this principle, producers seek to mitigate bird discomfort, caused by extreme variations in humidity, temperature and light, through the implementation of equipment such as fans, exhaust fans, nebulizers and heaters in poultry houses. However, the operation involves these devices, in addition to not achieving the primary objective of providing a comfortable internal environment for the birds, resulting in wasted energy and, consequently, increased production costs. Given this scenario, a proof of concept for monitoring variables relevant to poultry farming was designed. The purpose of this development is to enable precise and automated monitoring of air conditioning equipment, through the internet of things, with an IIoT platform, in addition to physically implementing and monitoring the project by carrying out a publishing subscribe communication, using the MQTT protocol and MQTT application Dash for monitoring in order to make the environment as conducive and comfortable as possible, carrying out temperature, humidity and luminosity simulations. This technological advance contributes significantly to the optimization of genetic and nutritional factors, aiming to achieve maximum productive capacity of the poultry plant. As a result, functionalities for monitoring temperature, humidity and luminosity are presented, through remote devices connected to the internet.

Keywords: poultry farming. Chicken. MQTT. Automation. IIoT.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Projeto do dispositivo de monitoramento das variáveis em uma produção avícola.....	18
Figura 2 - Orientação do galpão conforme a trajetória do sol.....	20
Figura 3 - Sensor de temperatura e umidade DHT11.....	24
Figura 4 - Dimensões em mm do módulo DHT11	25
Figura 5 - Sensor de luminosidade LDR.....	26
Figura 6 - MQTT estrutura de conexão	28
Figura 7 - Distribuição dos protocolos nas camadas ISO/OSI.....	28
Figura 8 – Estrutura de dispositivos em IoT	31
Figura 9 - Modulo ESP8266 NodeMCU.....	32
Figura 10 – Dimensões do módulo ESP12E	33
Figura 11 - Pinagem ESP8266.....	34
Figura 12 - Comunicação sem fio em produção avícola.....	35
Figura 13 - Diagrama geral do sistema inteligente de monitoramento das aves.....	37
Figura 14 - Etapas da metodologia e suas aplicações	41
Figura 15 - Termorregulação da ave	46
Figura 16 - Desenvolvimento da estrutura controlada para criação de frangos	47
Figura 17- Cerquite utilizado no projeto.....	48
Figura 18 - Papelão utilizado no telhado do ambiente simulado de criação de aves	48
Figura 19 - Montagem estrutural da prova de conceito para monitoramento das variáveis de ambiente, na criação de aves.....	49
Figura 20 - Desenvolvimento do circuito elétrico projetado	49
Figura 21 - Montagem física do circuito elétrico projetado	50
Figura 22 - Gerenciadores de placas da IDE do Arduino	51
Figura 23 - Parâmetros de <i>Wi-Fi</i> para conexão do módulo ESP8266 NodeMCU	52
Figura 24 - Tópicos <i>publish</i> e <i>subscribe</i> da aplicação.....	53
Figura 25 - Chave de conexão à API	53
Figura 26 - Parâmetros Adafruit IO	54
Figura 27 - Teste de conexão através do monitor serial	54
Figura 28 - <i>Feeds</i> Adafruit IO.....	55
Figura 29 - Criação do <i>dashboard</i> na plataforma Adafruit IO	56

Figura 30 - Criação de <i>widgets</i> na plataforma Adafruit IO.....	56
Figura 31 - <i>Dashboard</i> apresentando o monitoramento de umidade, luminosidade e temperatura.....	57
Figura 32 - Configuração do servidor Adafruit no aplicativo MQTT Dash.....	58
Figura 33 - Adicionando tópicos no MQTT Dash.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Idade da ave em relação a temperatura do ambiente de criação.....	22
Tabela 2 – Idade da ave em relação a umidade relativa do ar necessária no ambiente de criação.....	23
Tabela 3 - Especificações técnicas do módulo DHT11	24
Tabela 4 - Especificações do sensor de luminosidade.....	26
Tabela 5 - Materiais utilizados e seus custos estimados.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funcionalidades de monitoramento de ambientes de criação de frangos, de forma automatizadas	59
Quadro 2 - Comparativo das funcionalidades com e sem monitoramento	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HCT	<i>High critical temperature</i> – temperatura crítica máxima
LCT	<i>Low critical temperature</i> – Temperatura crítica mínima
CO ₂	Dióxido de carbono
IIoT	<i>Industrial internet of things</i> – Internet das coisas industrial
IoT	<i>Internet of things</i> – internet das coisas
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> – coeficiente negativo de temperatura
Bit	<i>Binary digit</i> – dígito binário
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> – Fila de transportes de mensagens telemétricas
M2M	<i>Machine to Machine</i> – alusivo a máquina à máquina
IA	Inteligência artificial
BI	<i>Business intelligence</i> – inteligência gerencial
IDE	<i>Integrated development environment</i> – ambiente de desenvolvimento integrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMÁTICA	17
1.2 HIPÓTESE	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.1 Ambiente para produção em avicultura	20
2.1.2 Temperatura e Umidade	22
2.1.3 Sensor de temperatura e umidade DHT11	23
2.1.4 Sensor de Luminosidade LDR	25
2.1.5 Protocolo MQTT	26
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS	34
2.2.1 Pesquisa de Ammad-uddin sobre sensoriamento em fazendas, a partir de redes remotas	35
2.2.2 Trabalho de Amir, Abas e Azmi em um sistema de monitoramento na criação de aves	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 TIPO DE PESQUISA	38
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	39
3.3 MÉTODO APLICADO	40
4 RESULTADOS	46
5 ANÁLISE	60
6 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A indústria avícola, como um componente vital da produção alimentar global, desempenha um papel crucial na disponibilização de proteína animal, essencial para a dieta humana. A qualidade do ambiente em que as aves são criadas tem um impacto direto na saúde, bem-estar e produtividade das aves, e consequentemente, na eficiência e lucratividade da indústria. Nesse contexto, o monitoramento das variáveis ambientais pertinentes à avicultura, como temperatura, umidade, luminosidade e quantidade de alimento, emerge como uma preocupação fundamental para otimizar a produção avícola, em termos de qualidade, eficiência e sustentabilidade (Ponciano *et al.*, 2011).

A avicultura moderna enfrenta uma série de desafios complexos, incluindo a necessidade de atender à crescente demanda por produtos avícolas, garantindo ao mesmo tempo práticas sustentáveis de produção e bem-estar animal. Abreu e Abreu (2001) destacam que as condições do ambiente em que as aves são criadas, desempenham um papel crucial na saúde das aves e, por conseguinte, na qualidade e segurança dos produtos avícolas oferecidos aos consumidores. O controle rigoroso dessas condições é essencial para garantir não apenas a saúde das aves, mas também para otimizar a produção e minimizar os riscos associados.

Nesse contexto, a capacidade de controlar e monitorar de perto as variáveis ambientais torna-se um fator decisivo na busca por sistemas de produção mais eficientes, saudáveis e responsáveis. A abordagem do monitoramento automatizado das variáveis ambientais ganha destaque, proporcionando aos produtores a capacidade de coletar dados precisos e em tempo real (Amir *et al.*, 2016). Dessa forma, é possível tomar decisões de manejo para melhorar a saúde e o desempenho das aves, ao mesmo tempo em que otimizam os processos de produção.

O bem-estar e a saúde das galinhas dependem do clima nos aviários. Se as condições climáticas não forem adequadas, pode haver perigo de distúrbios digestivos, respiratórios e comportamentais nas aves. Frangos saudáveis consomem mais ração e crescem rapidamente, o que é conhecido como desempenho ideal dos frangos. Os aviários são projetados para que o clima possa ser alterado por ventilação, resfriamento e isolamento leve do telhado, paredes e piso. As aves estão diretamente rodeadas pelo microclima. O microclima é o mais importante para a saúde das aves.

O clima do aviário pode ser bom, mas pode não ser adequado ao ambiente das aves (microclima), por exemplo, o CO₂ é um gás pesado e seu nível é mais alto próximo ao solo, próximo ao microclima das aves.

A seguir estão alguns dos fatores que devem ser medidos a nível animal: temperatura, umidade, luz e alimentação.

Em uma produção avícola, a temperatura corporal dos frangos é mantida entre 41°C e 42,2°C. Proporcionar uma zona de conforto no galpão para as aves é a principal prioridade para que seja necessário menos esforço para manter a temperatura corporal constante (North; Bell, 1990). A temperatura superior e inferior na zona de conforto é indicada por LCT (*low critical temperature* – traduzido do inglês, temperatura crítica baixa) e HCT (*high critical temperature* – traduzido do inglês, temperatura crítica alta). Se as temperaturas caírem abaixo do LCT ou subirem acima do HCT, isso poderá afetar a saúde das aves, a produção avícola e a economia. Existem controles para manter a temperatura na zona de conforto, para evitar qualquer distúrbio comportamental, como o aumento ou diminuição na ingestão de alimentos, saúde das penas do animal, mudança de posição do corpo e amontoamento entre si, vaporização da água através do corpo, fluxo de sangue através da pele e membranas mucosas dos frangos.

Os distúrbios respiratórios são causados pela umidade relativa mais alta ou mais baixa nos aviários. A condensação ocorre no caso de humidade elevada, o que provoca o crescimento de microrganismos. A umidade do ar pode ser classificada da seguinte maneira:

- a) umidade absoluta: umidade presente atualmente em 1m³ de ar em gramas;
- b) umidade máxima: quantidade máxima de umidade que pode estar presente em 1 m³ de ar a uma determinada temperatura;
- c) umidade relativa: proporção de umidade em relação à umidade máxima na temperatura atual do ar, expressa em porcentagens.

O aumento da temperatura diminui a umidade relativa, enquanto a diminuição da temperatura aumenta a umidade relativa.

A iluminação tem um papel muito importante no ambiente da granja avícola. A luz influencia o crescimento e o desempenho reprodutivo das espécies de aves, tanto aviárias quanto mamíferas (North; Bell, 1990). A luz estimula as três funções da seguinte forma:

- a) para facilitar a visão;
- b) para estimular os ciclos internos causados pelas mudanças na duração do dia;
- c) para iniciar a liberação hormonal.

As cores podem ter muitos efeitos diferentes no comportamento, crescimento e reprodução das aves. Como os longos comprimentos de onda de luz penetram na pele e no crânio com mais eficiência do que os comprimentos de onda curtos, os pesquisadores observaram que o azul esverdeado ajuda a estimular o crescimento, enquanto a luz laranja-avermelhada estimula a reprodução em galinhas.

Conforme já mencionado, este estudo se concentra em investigar em profundidade o monitoramento automatizado das variáveis de ambiente relevantes para a avicultura. Em particular, será dada ênfase à temperatura, umidade, luminosidade e quantidade de alimento (Ammad-Uddin *et al.*, 2014).

Cada uma dessas variáveis desempenha um papel fundamental na saúde e desempenho das aves, bem como na otimização da eficiência produtiva e no bem-estar animal. A inter-relação dessas variáveis é complexa e requer um sistema de monitoramento preciso, para garantir que as condições ideais sejam mantidas em todos os momentos (Ashtom, 2009).

A automatização do monitoramento dessas variáveis oferece, não apenas a coleta eficiente de dados, mas também a capacidade de análise em tempo real e ajustes instantâneos (Bari *et al.*, 2013). Isso permite que os produtores atuem de forma proativa, implementando correções e melhorias conforme necessário, como apontado por Sharma e Kumar (2021). Com os avanços tecnológicos na coleta e análise de dados, é possível transformar esses *insights* em ações tangíveis, que beneficiam tanto as aves quanto a eficiência da produção.

Este estudo abordará os avanços tecnológicos que tornaram possível o monitoramento automatizado de variáveis ambientais na avicultura. Além disso, serão explorados os benefícios que essa abordagem traz para a indústria avícola, incluindo a redução de riscos de saúde, a melhoria do bem-estar animal, a economia de recursos e a produção mais eficiente. Serão discutidos os desafios e as oportunidades associadas ao uso dessa tecnologia, bem como suas implicações para a indústria avícola global.

1.1 PROBLEMÁTICA

A indústria avícola, como um componente vital da produção alimentar global, desempenha um papel crucial na disponibilização de proteína animal, essencial para a dieta humana. No entanto, a qualidade do ambiente em que as aves são criadas desempenha um papel fundamental na saúde, bem-estar e produtividade desses animais. Isso, por sua vez, afeta diretamente a eficiência e lucratividade da indústria.

A busca por práticas de produção mais eficientes, sustentáveis e responsáveis tornou-se imperativa, diante dos desafios complexos que a avicultura moderna enfrenta, incluindo a crescente demanda por produtos avícolas e a necessidade de garantir o bem-estar animal. Nesse contexto, o monitoramento das variáveis ambientais pertinentes à avicultura, como temperatura, umidade e luminosidade, emerge como uma preocupação fundamental para otimizar a produção avícola em termos de qualidade, eficiência e sustentabilidade.

1.2 HIPÓTESE

Partindo dessa problemática, a hipótese central deste estudo é que o monitoramento automatizado das variáveis de ambiente relevantes para a avicultura, com foco em temperatura, umidade e luminosidade, desempenha um papel crucial na melhoria da saúde, bem-estar e desempenho das aves. Bem como na otimização dos processos de produção e na eficiência global da indústria avícola. A automação do monitoramento dessas variáveis permitirá a coleta de dados precisos e em tempo real, fornecendo aos produtores informações valiosas para tomar decisões informadas e promover ajustes imediatos quando necessário.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso visa implementar uma prova de conceito para o monitoramento automatizado de variáveis ambientais, sendo elas temperatura, umidade e luminosidade, pertinentes a criação de frangos de corte. O sistema proposto visa aprimorar a eficiência da produção avícola, garantir o bem-estar das aves e otimizar o uso de recursos, promovendo práticas sustentáveis na indústria

avícola.

Os objetivos específicos incluem:

- a) selecionar as variáveis de ambiente que afetam a criação de frangos;
- b) definir as variáveis de interesse a serem monitoradas ou comandadas, sendo elas temperatura, umidade e luminosidade;
- c) desenvolver um ensaio laboratorial para monitoramento e comando das variáveis definidas;
- d) programar a comunicação em rede por internet das coisas;
- e) editar o dashboard para monitoramento das variáveis em IIoT;
- d) realizar o ensaio laboratorial, monitorando as condições ambientais desejadas;
- e) analisar as funcionalidades da prova de conceito se tornar um protótipo funcional para criação de frangos;
- f) divulgar os resultados.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

O resultado esperado deste trabalho de conclusão de curso é a demonstração, através de prova de conceito, de que o monitoramento automatizado de variáveis ambientais pode contribuir significativamente para a otimização da produção de frangos de corte, sendo realizado o monitoramento de temperatura, luminosidade, umidade e quantidade de alimento na criação de frangos de corte, através de IIoT. A Figura 1 demonstra o projeto previsto do dispositivo que irá monitorar e apresentar os resultados pertinentes às variáveis de ambiente, na produção avícola.

Figura 1 – Projeto do dispositivo de monitoramento das variáveis em uma produção avícola



Fonte: Autor (2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de tornar este trabalho mais acessível para o leitor, nesta seção, os conceitos e informações pertinentes ao tema estão agrupados.

A primeira seção é dedicada a fundamentação teórica, em que serão minuciosamente delineados os conceitos e informações cruciais, relacionados aos dispositivos e materiais que desempenham um papel fundamental no contexto abordado.

A segunda seção é destinada às pesquisas relacionadas, abrangendo uma revisão crítica da literatura. Nessa parte, serão apresentados trabalhos anteriores, que se alinham tematicamente com este estudo. Isto permite identificar lacunas e contribuições específicas que este trabalho trará.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos últimos anos, o setor avícola tem aumentado os investimentos em tecnologia, visando o aumento da produtividade. Nesse aspecto, a automação e adoção de novos equipamentos e sistemas monitoradores vem a contribuir para aumento dos índices produtivos da atividade.

Segundo Abreu e Abreu (2001), a automação é o processo através do qual são implantados sistemas para garantir maior rendimento e produtividade, com qualidade e custos compatíveis com o mercado. Ultimamente, os sistemas de controle automático têm adquirido grande importância em todos os campos da avicultura.

Lopes (2011) diz que no setor de produção de ovos, os computadores estão presentes desde o fornecimento de ração, coleta e transporte de ovos até o empacotamento do produto. Já no setor de produção de frango de corte, é possível controlar o ambiente interno do aviário em função das condições climáticas externas.

Nesses aspectos, o objetivo do setor avícola tem sido a automação do processo de produção.

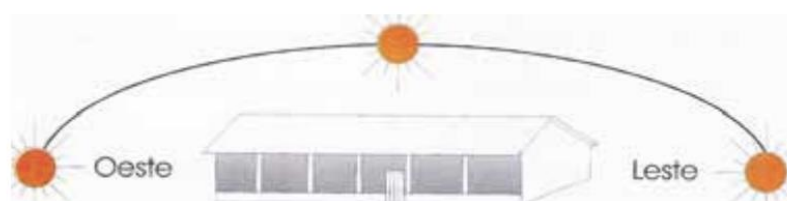
Nesta seção, será explorada a base teórica, na qual serão apresentados os princípios e dados essenciais relacionados às variáveis de ambiente e aos dispositivos que desempenham um papel central no tópico em discussão.

2.1.1 Ambiente para produção em avicultura

O ambiente é um fator de fundamental importância na produção de frangos, pois, quando as aves são mantidas em um ambiente confortável, o produtor obtém reposta positiva em relação à produtividade, seja no aumento da conversão alimentar, ganho de peso ou na diminuição do índice de mortalidade, causado por várias doenças (metabólicas, respiratórias, entre outras), que acometem as aves quando as condições do ambiente de produção são adversas.

A orientação do sol é um fator que já contribui para o melhor bem-estar animal, durante a construção dos galpões de criação. Construir os galpões no sentido Leste-Oeste, isto é, seguir uma orientação observando uma linha imaginária do trajeto do sol durante o dia (do amanhecer ao pôr-do-sol), passando sobre a cumeeira no sentido do comprimento do galpão. Este posicionamento evita a incidência solar excessiva sobre as aves, além de manter luminosidade adequada do ambiente (Gomes, 1998). A Figura 2 demonstra tal orientação.

Figura 2 - Orientação do galpão conforme a trajetória do sol



Fonte: Gomes (1998).

Já em relação aos sistemas de criação, segundo Lizia (2012) as aves podem ser produzidas de acordo com três sistemas, que são eles:

- a) aberto ou livre;
- b) semiconfinamento;
- c) confinamento.

O sistema aberto consiste na criação de aves em um ambiente de liberdade, onde elas se alimentam através do pasto ou da oferta de vegetação picada. Este método busca otimizar áreas inativas na propriedade, garantir carne e ovos de qualidade para consumo familiar, comercializar o excedente a preços mais elevados do que os produtos industriais, diversificar as atividades rurais e até mesmo produzir

e vender pintinhos de raça mais qualificada. Dentro do contexto rural tradicional, o sistema aberto é considerado ideal para a criação de galinhas, uma vez que permite que as aves vivam livremente no pasto. Adicionalmente, podem ser fornecidos galpões para abrigá-las durante a noite, oferecendo maior proteção contra chuva e predadores, especialmente nos primeiros estágios de vida. Nesse sistema, é comum criar aves de ambos os sexos em grupos com até 10 indivíduos.

O semiconfinamento demanda maiores recursos em termos de insumos e gestão, como programas de imunização, alimentação equilibrada, áreas de pastagem, estruturas para abrigo como galpões, entre outros, devido ao seu foco na obtenção de lucro. Adicionalmente, um galpão é imprescindível para abrigar as aves, e, visando economizar, o fazendeiro pode aproveitar materiais excedentes já disponíveis na propriedade para construí-lo. O sistema de semiconfinamento é altamente recomendado para a criação de frangos, caracterizando-se pela combinação de espaços fechados, como galpões, e áreas ao ar livre, como pastagens delimitadas por piquetes. O manejo nesse sistema é mais complexo, incluindo programas de vacinação, fornecimento de ração balanceada, alocando as aves tanto nos piquetes quanto em gaiolas para pastagem. Durante o processo de incubação, métodos artificiais, como incubadoras, são empregados para chocar os ovos.

Já o sistema de confinamento é necessário criar as condições essenciais para o desenvolvimento das aves. Nele, as aves são mantidas em galpões durante todo o ciclo produtivo, ou seja, permanecem em confinamento completo, desde o primeiro dia de vida até o momento do abate. Portanto, é fundamental manter a saúde do lote e garantir que a cama esteja sempre em condições adequadas, mantendo-a constantemente seca e na altura correta, além de utilizar material apropriado. É importante evitar superlotar o galpão com uma densidade maior do que ele pode suportar. Além disso, é necessário ter equipamentos como bebedouros, comedouros e ventiladores em quantidade suficiente para atender às exigências ideais de manejo, implementar medidas de controle de pragas e doenças, bem como seguir um programa de vacinação, são extremamente necessários. Todas essas ações contribuem para alcançar uma alta produtividade nesse sistema de criação.

O tamanho do galpão é definido em razão do número de aves a serem criadas, observando a capacidade de venda. Sugerem-se módulos de 100m², subdivididos em duas salas de 50m² que comportam de 500 a 600 aves em cada sala e de 1.000 a

1.200 aves por galpão, para venda de frangos em pé. Módulos de 200m² subdivididos em duas salas de 100m², comportam 1.000 a 1.200 aves por sala e 2.000 a 2.400 aves por galpão. No sistema em semiconfinamento, a densidade é de 10 a 12 aves/m².

Segundo Ponciano *et al.* (2011), animais mantidos nas suas zonas de termoneutralidade, evitam o desperdício de energia, seja ela na forma de energia metabólica contida na ração fornecida para os animais e gasta para manutenção da temperatura corporal, seja na forma de energia elétrica que é utilizada no funcionamento dos sistemas de climatização, quando acionados indevidamente.

2.1.2 Temperatura e Umidade

A preocupação com a umidade relativa do ar e a temperatura dentro dos aviários é de suma importância para os produtores, visto que esses parâmetros climáticos podem exercer influência significativa sobre o desempenho das aves. Variações extremas nesses fatores têm o potencial de prejudicar consideravelmente a eficiência produtiva da criação. No que diz respeito à temperatura interna dos aviários, é fundamental que se mantenha uma faixa de aproximadamente 35°C durante a fase inicial de vida das aves. Após esse período, é recomendado um decréscimo gradual de temperatura, reduzindo-se em torno de 2 a 3 graus Celsius a cada semana subsequente (Amir; Abas; Azmi, 2016).

A Tabela 1 demonstra a idade da ave em relação a temperatura do ambiente de criação.

Tabela 1 - Idade da ave em relação a temperatura do ambiente de criação

Idade da ave [dias]	Temperatura [Graus Celsius]
0-6	35
7-13	33
14-20	30
21-27	28
28-35	26

Fonte: Amir; Abas; Azmi (2016).

A temperatura adequada para as aves varia conforme a idade. Portanto, é

essencial possuir um sistema capaz de ajustar essa temperatura de maneira rápida e simples. A umidade, bem como a temperatura, requer atenção especial e não deve exceder os 70%, nem cair abaixo de 50%. A umidade ideal variará dentro desses dois limites, dependendo da faixa etária das aves. A Tabela 2 mostra a relação da idade da ave com a umidade do ar, no ambiente de criação.

Tabela 2 – Idade da ave em relação a umidade relativa do ar necessária no ambiente de criação

Idade da ave (dias)	Umidade (UR%)
0-6	30-50
7-13	40-50
14-20	40-60
21-27	50-65
28-35	50-70

Fonte: Amir; Abas; Azmi (2016).

Da mesma forma que a temperatura, a umidade relativa do ar pode exercer um impacto adverso na produtividade, caso seu nível não esteja alinhado com as recomendações estabelecidas para as aves. Por conseguinte, torna-se imprescindível a vigilância atenta das oscilações climáticas dentro dos recintos aviários, abrangendo não apenas a temperatura e a umidade do ar, mas também a qualidade atmosférica, mediante o monitoramento de substâncias gasosas prejudiciais à saúde das aves.

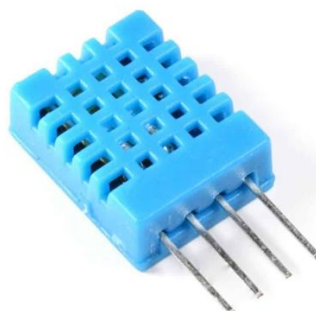
2.1.3 Sensor de temperatura e umidade DHT11

O sensor digital de temperatura e umidade DHT11¹ é um sensor complexo, que contém uma saída calibrada de sinal digital da temperatura e umidade. Ele inclui um componente de medição de umidade de tipo resistivo e um componente de medição de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient*). E se conecta a um microcontrolador de 8 bits de alto desempenho, oferecendo excelente qualidade,

¹ Um sensor é um dispositivo que pode detectar eventos ou mudanças de diferentes tipos e fornecer uma saída correspondente. É um dispositivo que altera algumas características devido a condições externas e pode ser conectado a um circuito, convertendo o sinal para que possa ser interpretado por um microprocessador. Disponível em: <https://www.makerhero.com/img/files/download/DHT11-Datasheet.pdf>

resposta rápida, capacidade de redução de interferência e custo-efetividade. A Figura 3 ilustra o mesmo.

Figura 3 - Sensor de temperatura e umidade DHT11



Fonte: Autor (2023).

O elemento sensor de temperatura é um transmissor do tipo NTC e o sensor de Umidade é do tipo HR202. O circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador através de um sinal serial de uma via. A Tabela 3 demonstra suas especificações técnicas.

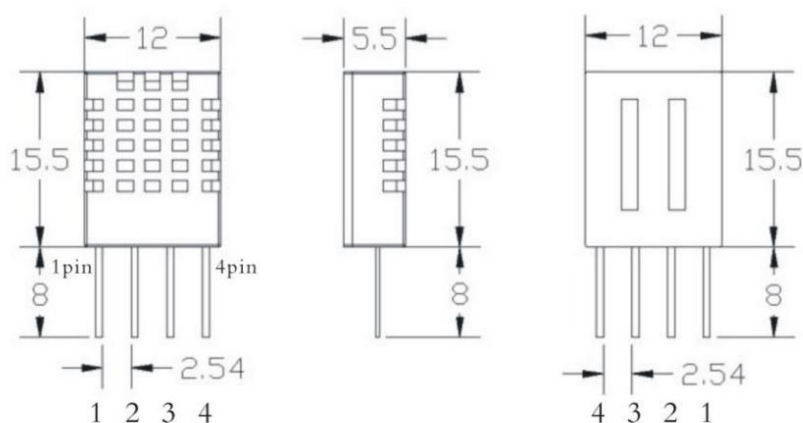
Tabela 3 - Especificações técnicas do módulo DHT11

Especificações	Características
Faixa de medição umidade relativa	20% a 90% UR
Precisão na umidade	±5,0% UR
Resolução na umidade	0,024% UR
Faixa de temperatura	0 a 50°C
Precisão na temperatura	± 2,0°C
Resolução na temperatura	0,01°C
Tempo de resposta	2 segundos
Alimentação	3V a 5V
Consumo máximo de corrente	200µA a 500µA
Dimensões	23mm x 12mm x 5mm

Fonte: Makerhero (2023).

A aplicação do módulo DHT11 é variada, sendo utilizada como HVAC², desumidificador, equipamentos de teste e inspeção, bens de consumo, aplicações automotivas, controle automático, registradores de dados, estações meteorológicas, eletrodomésticos, regulador de umidade, umidade médica e outras medições e controle. A Figura 4 indica suas dimensões.

Figura 4 - Dimensões em mm do módulo DHT11



Fonte: Electronics Co. (2023).

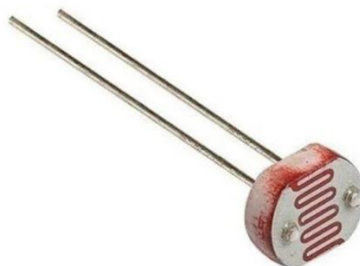
2.1.4 Sensor de Luminosidade LDR

O sensor LDR³ (*Light Dependent Resistor*) - é composto por duas células foto condutoras de sulfureto de cádmio, com respostas espectrais semelhante ao do olho humano. A resistência celular cai com o aumento da intensidade da luz. A Figura 5 o demonstra fisicamente esse sensor.

² A sigla HVAC: *heating, ventilating and air conditioning*, que em português foi traduzida para: AVAC—aquecimento, ventilação e ar-condicionado, refere-se a funções básicas e primordiais dos sistemas de climatização.

³ Este sensor tem como característica detectar a luminosidade. Em sua arquitetura possui uma saída digital e analógica, e pode ser conectado a um microcontrolador. Disponível em: <https://www.makerhero.com/img/files/download/GL5528-Datasheet.pdf>

Figura 5 - Sensor de luminosidade LDR



Fonte: Autor (2023).

Este sensor de luminosidade pode ser utilizado em projetos com microcontroladores para alarmes, automação residencial, sensores de presença e uma vasta gama de aplicações. A Tabela 4 demonstra suas especificações.

Tabela 4 - Especificações do sensor de luminosidade

Características	Valores
Diâmetro	5mm
Tensão máxima	150VDC
Potência máxima	100 mW
Tensão de operação	-30°C a 70°C
Espectro	540nm
Comprimento com terminais	32mm
Resistencia ao escuro	1 MΩ (Lux 0)
Resistencia a luz	10-20 kΩ (Lux 10)

Fonte: Makerhero (2023).

2.1.5 Protocolo MQTT

O Protocolo MQTT ⁴(*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação leve e eficiente. Ele foi desenvolvido pela IBM em meados de 1990, mas agora é mantido pela OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards*) como um padrão aberto. O protocolo de comunicação MQTT é voltado para aplicações M2M (*Machine-to-Machine*) e utiliza o paradigma

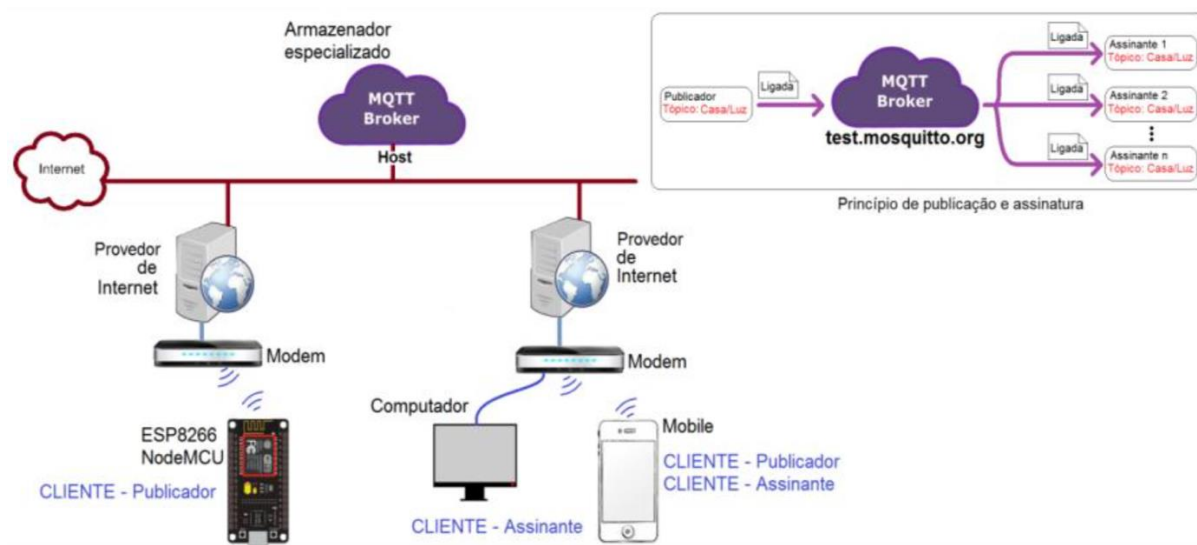
⁴ O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de mensagens assíncronas, o que significa que permite que dispositivos publiquem e assinem mensagens em tópicos específicos.

publish/subscribe para troca de mensagens. O leiaute das mensagens foi pensado para atender a taxas de conexão de rede e *hardwares* modestos, mas que possibilitem em certo grau, garantia de entrega das mensagens e de confiabilidade. Estas características fazem do MQTT um dos principais candidatos a protocolo de comunicação voltado para aplicações IoT ou M2M, e que também desponta quando se trata de aplicações destinadas a dispositivos móveis, em que a economia de energia é um quesito vital (MQTT.ORG, 2014).

Dentro deste paradigma, o dispositivo assume a responsabilidade de transmitir (publicar) informações ao servidor, que desempenha a função de intermediário (*broker*). O *broker*, dotado de conhecimento acerca dos clientes que demonstram interesse pelas informações transmitidas (assinantes), procede à retransmissão das informações que lhe são direcionadas (Da Conceição; Costa, 2019).

Segundo Peixoto (2021) o componente denominado cliente publicador assume a função de prover informações de valor ou mensagens a todos os interessados em acessar tais informações. Para realizar tal propósito, este componente coloca a informação à disposição em um agente de recepção e entrega, dotado de uma estrutura de tópico (identificador) associada. Compete ao agente de recepção e entrega, a tarefa de receber a informação com seu respectivo tópico e, a partir disso, identificar dentre os clientes assinantes aqueles que manifestaram interesse em assinar o tópico correspondente. Subsequentemente, o agente encarregado retransmite a informação publicada a todos os clientes que a requisitaram. Aos clientes assinantes, uma vez devidamente identificados pelo agente como adeptos do tópico específico, será entregue simultaneamente a informação enviada pelo cliente publicador. A Figura 6 demonstra a estrutura de conexão MQTT.

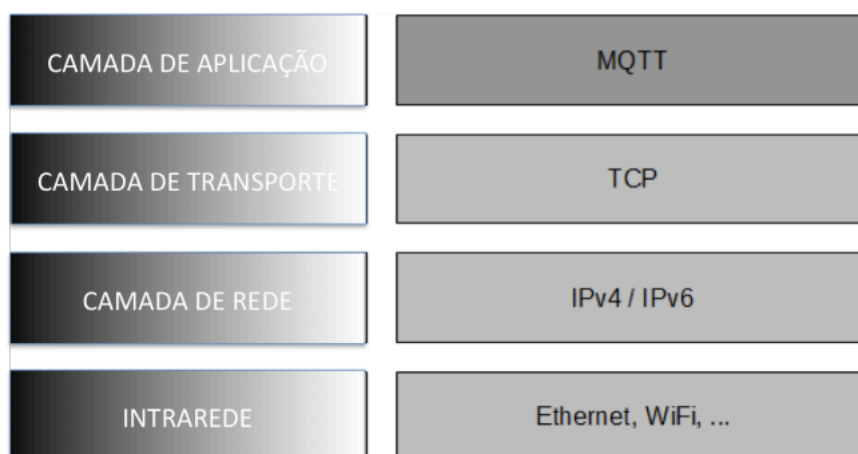
Figura 6 - MQTT estrutura de conexão



Autor: Peixoto (2021).

O MQTT é um protocolo situado na camada de aplicação da arquitetura TCP/IP. Ele define o modelo de operação entre os equipamentos, especificando os papéis de cada um, o formato das mensagens e a ordem entre elas. Adicionalmente, as funcionalidades da rede são providas pelas camadas imediatamente anteriores, com destaque para o protocolo TCP e para o protocolo IP. A Figura 7 demonstra a distribuição dos protocolos nas camadas.

Figura 7 - Distribuição dos protocolos nas camadas ISO/OSI



Fonte: Da Conceição e Costa (2019).

O agenciador, ou *broker*, desempenha um papel de extrema relevância na arquitetura de publicação e subscrição. Em função da natureza da aplicação em

questão, é possível que tal componente se veja incumbido da gestão simultânea de um volume considerável, na ordem dos milhões, de mensagens provenientes e destinadas a uma diversidade de clientes. Incumbe ao *broker* a responsabilidade primordial de acolher todas as mensagens, proceder à sua filtragem, determinar os respectivos destinatários e, finalmente, encaminhar tais mensagens para os respectivos destinos (Da Conceição; Costa, 2019).

Uma outra atribuição crucial que compete ao *broker* consiste na autenticação e na autorização de clientes, conferindo-lhes a permissão para efetuar o envio e/ou a recepção das mensagens. Deste modo, o *broker* tem a capacidade de estabelecer e preservar sessões de clientes que tenham sido devidamente autenticados, evitando assim a necessidade de nova autenticação, a cada nova mensagem. As mensagens pertinentes à gestão de conexões, tanto no início como no término, bem como as relacionadas com a manutenção de sessões, encontram-se contempladas no âmbito do protocolo MQTT.

2.1.6 IIoT

IIoT (*Industrial Internet of Things*) significa Internet das Coisas Industrial e, como o nome sugere, refere-se ao uso da tecnologia da Internet das Coisas (máquinas conectadas, dispositivos e sensores) em aplicações industriais. Quando administrados por um ERP moderno com recursos de IA⁵ e *Machine Learning*⁶, os dados gerados pelos dispositivos IIoT podem ser analisados e aproveitados para melhorar a eficiência, a produtividade, a visibilidade e muito mais. As redes IIoT normalmente suportam a comunicação máquina a máquina (M2M) e a transmissão regular de dados entre o sistema central e todos os dispositivos integrados com IoT. A tecnologia IIoT também é um componente fundamental das tecnologias da Indústria 4.0.

Internet das Coisas Industrial (*IIoT*) se faz do uso de sensores, atuadores e outros dispositivos inteligentes para aprimorar os processos industriais e de fabricação. Esses dispositivos são conectados em rede para fornecer coleta, troca e

⁵ Sigla para inteligência artificial, que consiste em replicar a forma com que o cérebro humano interpreta informações e procede a tomada de decisão, em uma forma computacional.

⁶ Aprendizagem de máquina, que utiliza a inteligência artificial para criar meios de aprendizagem digitais, a partir da experimentação.

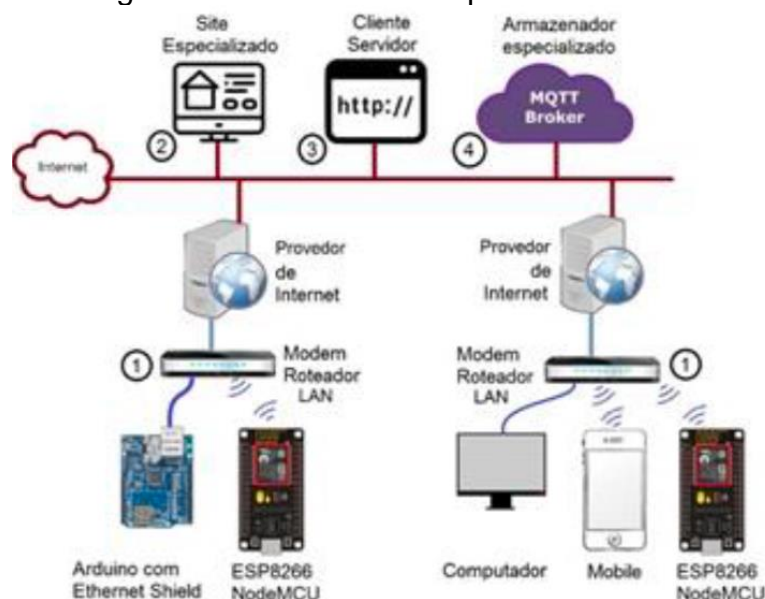
análise de dados. Os *insights* obtidos com esse processo auxiliam em mais eficiência e confiabilidade. Nesse contexto, a *IloT* passou a ser chamada por muitos de quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 (Oracle, 2019).

A filosofia por trás da *IloT* é que as máquinas inteligentes não são apenas melhores que os humanos na captura e análise de dados em tempo real, mas também são melhores na comunicação de informações importantes, que podem ser usadas para conduzir decisões de negócios com mais rapidez e precisão.

As discrepâncias entre as tecnologias IoT e IloT residem menos em suas modalidades operacionais e mais nas respectivas modalidades de aplicação. Em grande medida, a predominância das soluções de Internet das Coisas (IoT) no cenário global recai sobre a incorporação por parte de indivíduos como seus utilizadores derradeiros, encontrando aplicações mais prevalentes em dispositivos como *smart watches*, assistentes digitais com comando de voz ou dispositivos inteligentes, bem como em televisores (SAP, 2023).

Segundo Peixoto (2021) em um mundo interconectado, no qual uma vasta quantidade de informações abrange praticamente todos os âmbitos da existência, torna-se absolutamente imperativo promover a interatividade entre seres humanos e dispositivos eletrônicos, frequentemente referidos como coisas. Ao longo do processo de evolução da era digital, os computadores desempenharam o papel fundamental de mediadores nas interações entre indivíduos e a vasta rede global conhecida como a internet. Portanto, eles constituíam o meio primordial pelo qual as informações de um sujeito eram disseminadas. A Figura 8 apresenta uma estrutura de IoT.

Figura 8 – Estrutura de dispositivos em IoT



Autor: Peixoto (2021).

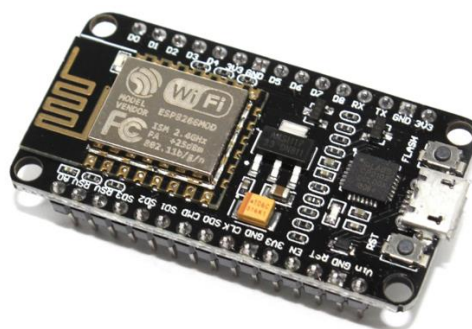
Por sua vez, a Internet Industrial das Coisas (IIoT) emerge como um subconjunto da IoT, compartilhando a base tecnológica subjacente. Contudo, seu enfoque primordial repousa na automação e otimização dentro de um ecossistema organizacional interconectado. Em contrapartida, há a ênfase em utilizadores individuais. Para maximizar os benefícios potenciais para uma empresa, torna-se imprescindível a aplicação de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina sobre tais dados, propiciando *insights* de elevada precisão e aprimorando os fluxos de trabalho e tarefas automatizadas. Adicionalmente, é necessário viabilizar a interação fluente dos seres humanos com esses dispositivos, a fim de estabelecer redes ciberfísicas em que as competências humanas e tecnológicas se potencializem mutuamente, de maneira otimizada.

Sensores e atuadores conectados permitem que as empresas detectem ineficiências e problemas mais rapidamente, economizando tempo e dinheiro, ao mesmo tempo que apoiam os esforços de *business intelligence* (BI). Especificamente na indústria transformadora, a IIoT tem o potencial de fornecer controlo de qualidade, práticas sustentáveis e ecológicas, rastreabilidade e eficiência geral da cadeia de abastecimento. Num ambiente industrial, a IIoT é fundamental para processos como manutenção preditiva, serviço de campo melhorado, gestão de energia e rastreamento de ativos.

2.1.7 Módulo ESP8266 NodeMCU

O módulo ESP8266⁷ consiste de um módulo na forma de placa de circuito impresso, onde são embarcados um conversor serial-USB e o módulo ESP12E, com um *firmware* específico para prover o acesso aos periféricos disponibilizados. Assim, as características do módulo ESP8266 passam a ser as mesmas do módulo ESP12E, nele embarcados. A Figura 9 demonstra o módulo.

Figura 9 - Modulo ESP8266 NodeMCU



Fonte: Autor (2023).

A alimentação do módulo é realizada pela própria conexão USB, com uma tensão de 5V. Internamente a tensão de trabalho do módulo é de 3,3V. Isto é provido pelo regulador de tensão AMS1117 (Systems, 2021).

O regulador de tensão fornece 1A, considerando que o consumo do módulo é de aproximadamente 200mA, sobrando 800mA para alimentar periféricos. Sendo que se recomenda que nunca ultrapasse os 500mA de consumo por periféricos conectados ao módulo. O conversor serial-USB é o responsável pela conexão serial com o computador, a fim de que se realize a programação do módulo ou troca de mensagens/comandos através do monitor serial no computador. Esse conversor necessita de um *driver* específico, a ser instalado no computador, para reconhecer a

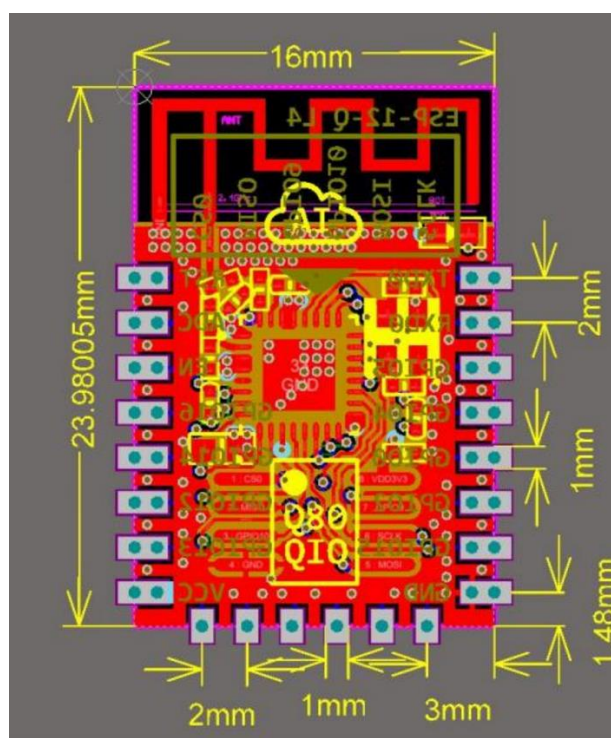
⁷ O datasheet do módulo microcontrolador ESP8266 NodeMCU, traduzido do inglês, com especificações completas podem ser encontradas em:
https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ESP8266_Specifications_English.pdf

conexão USB como uma porta serial do tipo COM.

As principais aplicações relacionadas ao ESP8266 são voltadas para plugues de energia inteligentes, automação residencial, rede *mesh*, controle sem fio industrial, monitores para bebês, câmeras IP, redes de sensores, eletrônicos vestíveis, dispositivos com reconhecimento de localização *Wi-Fi*, *tags* de identificação de segurança, *beacons* do sistema de posição *Wi-Fi*, entre outros.

O tamanho externo do módulo é 16mm x 24mm x 3mm, conforme ilustrado na Figura 10. Neste módulo há uma memória *flash* SPI, com capacidade de 4 MB e tamanho do pacote SOP-210mil. A antena aplicada neste módulo é uma antena 3DBi PCB *on-board*.

Figura 10 – Dimensões do módulo ESP12E



Fonte: Makerhero (2023).

Segundo Peixoto (2021), o componente denominado bloco ESP12E, integrado no módulo em análise, desempenha a função primordial de gerenciar a conectividade *Wi-Fi* e, adicionalmente, assume uma função lógica programável. Esta última característica se traduz na capacidade de incorporar um *firmware* personalizado para a execução de comandos predefinidos pelo utilizador. O bloco ESP12E concede acesso a diversos recursos, através de seus pinos GPIOs (*General Purpose*

alinham tematicamente com este estudo. Isto permite identificar lacunas e contribuições específicas que este trabalho trará.

2.2.1 Pesquisa de Ammad-uddin sobre sensoriamento em fazendas, a partir de redes remotas

O objetivo do trabalho foi a introdução de tecnologias mais modernas na criação de aves, para estabelecer uma exploração avícola ideal. Na arquitetura da solução de rede sem fio, as aves foram equipadas com RFIDs (*Radio Frequency Identification*), acelerômetros e sensores de temperatura, para que os parâmetros vitais das aves pudessem ser monitorados e transmitidos para os pontos de acesso sem fio.

Ammad-uddin *et al.* (2014), propuseram em seu trabalho um esquema de rede de sensores sem fio para ambiente de produção avícola. A Figura 12 demonstra esse esquema.

Figura 12 - Comunicação sem fio em produção avícola



Fonte: Ammad-uddin *et al.* (2014).

Além disso, foram monitoradas também as variáveis de ambiente, como temperatura, umidade, composição do ar e luminosidade, pois são parâmetros que influenciam diretamente na saúde e bem-estar das aves. O trabalho deles mostra o quão importante é o uso da tecnologia para atingir os índices produtivos desejados na

produção avícola.

No entanto, para a produção de frango de corte, equipar cada ave com sensores pode se tornar economicamente inviável visto que, o ciclo de vida, ou seja, o ciclo produtivo das aves é relativamente curto.

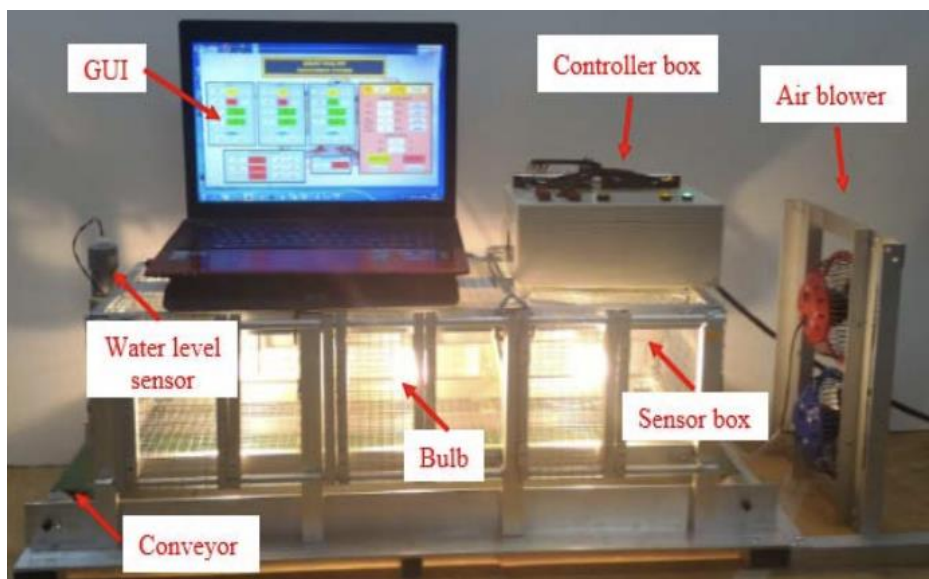
O aproveitamento deste estudo consiste na conexão sem fio para monitoramento das variáveis de ambiente, bem como a forma de extração de seus resultados. Com alguns ajustes, posicionamento de sensores e dando uma maior ênfase no tipo de conexão, será possível monitorar as variáveis pertinentes de qualquer local.

2.2.2 Trabalho de Amir, Abas e Azmi em um sistema de monitoramento na criação de aves

No trabalho de Amir, Abas e Azmi (2016), foi desenvolvido um protótipo de um sistema para o monitoramento de aviários de frangos caipiras, com base em unidades de comunicação sem fio, para a transferência de dados utilizando módulos sem fio, combinados com sensores que permitem detectar valores de temperatura, umidade, luminosidade e nível da água. O protótipo foca em coletar, armazenar e controlar informações dos aviários em um sistema de produção baseado gaiolas individuais, em que cada gaiola é equipada com um módulo de sensores e unidade de comunicação sem fio.

Eles utilizaram uma placa Arduino para coletar e processar os dados dos sensores e utilizaram o *framework* Matlab para desenvolver a aplicação. A Figura 13 ilustra esse protótipo.

Figura 13 - Diagrama geral do sistema inteligente de monitoramento das aves



Fonte: Amir, Abas e Azmi (2016).

O trabalho não mostra resultados em forma numérica. Descrevem apenas que o protótipo se comportou como esperado. Os testes foram realizados em um ambiente simulado, ou seja, um ambiente criado em escala reduzida, apenas para efeito de testes.

Este trabalho demonstra conexão somente de forma interna, sem conexão ao mundo exterior, deste modo este trabalho pode ser melhorado alterando a GUI⁸ (*Graphical User Interface*) para a *web* e modificando o método de transferência de dados dos sensores ao microcontrolador, para o modo sem fio, a fim de que o sistema possa ser monitorado, até mesmo com o usuário estando fora do país.

⁸ Na informática, a sigla GUI refere-se a denominação "*Graphical User Interface*" (Interface Gráfica do Usuário, em português), que consiste em um modelo de interface do utilizador que permite a interação com os dispositivos digitais através de elementos gráficos.

3 METODOLOGIA

Este estudo acadêmico tem como finalidade apresentar uma investigação experimental, referente a um sistema automatizado de variáveis de ambiente, pertinentes a avicultura. Serão empregados dispositivos de monitoramento do ambiente, tais como sensores, que serão instalados no aviário modelo. Isso possibilitará uma maior comodidade e bem-estar para os utilizadores no que concerne ao controle e monitorização da criação.

O enfoque da pesquisa é predominantemente qualitativo, uma vez que foram incorporados ao sistema dispositivos para a monitorização de temperatura, umidade e alimentação. Dessa forma, será possível avaliar as funcionalidades proporcionadas por esses dispositivos no contexto avícola, comparando com o cenário em que essas funcionalidades não existiam.

Este estudo possui um caráter exploratório, pois baseou-se em literatura especializada, metodologias e pesquisas anteriores, como fonte de conhecimento para a automação aplicada.

O objetivo principal culmina em facilitar a utilização dos processos existentes pelos utilizadores na criação avícola.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Esta pesquisa foi conduzida com uma estratégia, que pode ser classificada quanto a abordagem, de natureza qualitativa, segundo Goldenberg (1997).

“Na pesquisa qualitativa a preocupação do pesquisador não é com a representatividade numérica do grupo pesquisado, mas com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, de uma instituição, de uma trajetória, entre outras (Goldenberg, 1997, pg. 34).”

Além disso, pode ser considerada explicativa e experimental.

Explicativa, pois preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (Gil, 2007). Ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos.

Experimental, em função das etapas de pesquisa que iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas, que atuam no fenômeno estudado (Triviños, 1987). Para Gil (2007), a pesquisa

experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Com o objetivo de investigar as variáveis pertinentes a avicultura, busca-se proporcionar maior praticidade, conforto e versatilidade aos usuários deste sistema.

Como forma de obter resultados que possam comprovar uma hipótese, realizou-se a implementação de um sistema de gerenciamento em um ambiente reduzido, controlado e de baixa escala, com propósito de verificar as funcionalidades propostas.

A interação entre o usuário e o sistema desenvolvido será estabelecida por meio do controle, exercido pelo microcontrolador e os dispositivos conectados a ele, como sensores e atuadores. Isso será realizado por meio da implementação de um protótipo de criação avícola em escala reduzida, culminando na elaboração de um protótipo funcional do sistema.

3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

O estudo do monitoramento automatizado de variáveis de ambiente pertinentes a avicultura, desenvolvido neste projeto, demonstra potencial para ser aplicado em diversas outras atividades, como suinocultura, em que pode ser empregado no gerenciamento da temperatura, regulagem da alimentação e fornecimento de água, bem como no controle da iluminação.

De acordo com a EMBRAPA (2017), para otimizar o desempenho na produção de carne suína, é imperativo adotar uma série de medidas relacionadas ao bem-estar dos animais. Isso inclui o controle rigoroso da temperatura, que deve ser mantida entre 16°C e 23°C, assim como o monitoramento da umidade, que deve variar entre 50% e 70%.

Além disso, suas aplicações se estendem à hidroponia, possibilitando o controle da temperatura e umidade. Assim, essa tecnologia pode ser implementada com sucesso em cultivos de pequena e média escala.

Na avicultura, vários fatores exercem influência direta na produção de ovos, em aves de postura. Entre esses fatores, destaca-se o controle rigoroso da temperatura, que deve ser mantida, bem como da umidade relativa. Além disso, é essencial

proporcionar às aves aproximadamente 12 a 16 horas de exposição à luz solar ou artificial, conforme preconizado pela EMBRAPA (2004).

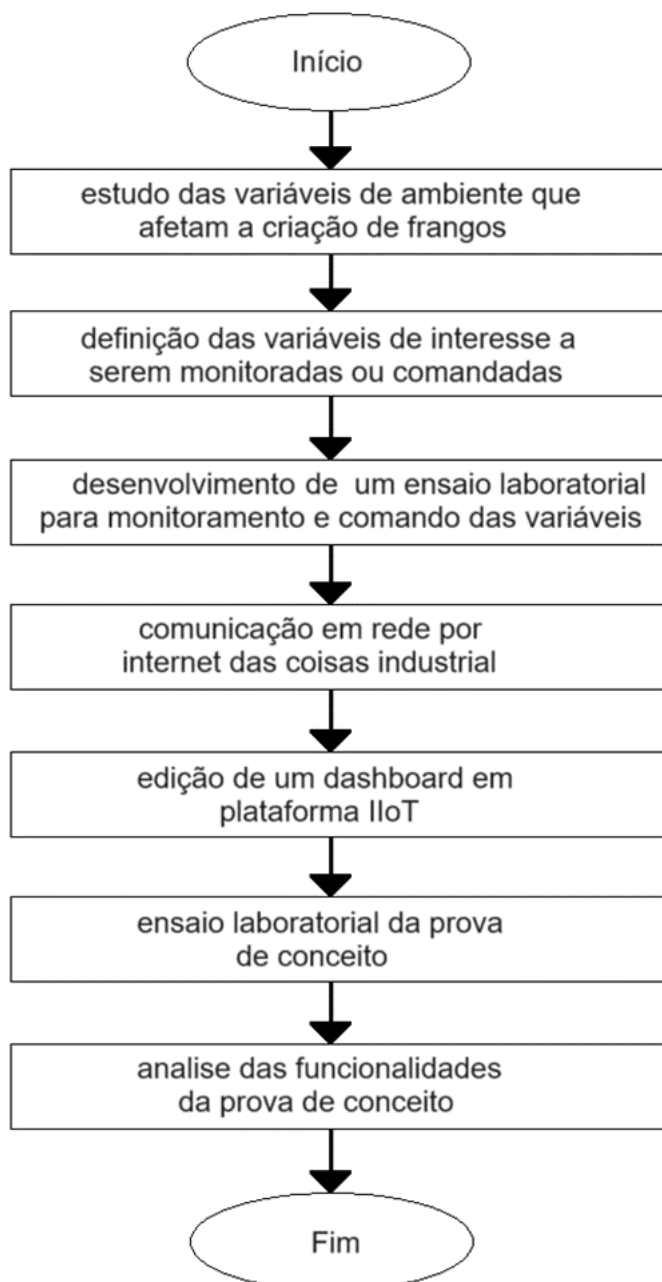
Este estudo proposto se limita ao universo da criação de frangos para abate, em ambiente confinado, com restrição de movimentos das aves ao espaço interno do pavilhão de criação.

3.3 MÉTODO APLICADO

Com o intuito de alcançar os resultados desejados, procede-se à implementação de um experimento funcional, que incorpora recursos de sensoriamento de umidade, temperatura, luminosidade e controle de alimentação, de um ambiente que simula a criação de frangos.

No método utilizado, contempla-se funcionalidades para a regulação da intensidade e do tipo de iluminação, monitoramento de umidade e monitoramento de temperatura e atuação na climatização do ambiente. Tais dispositivos de entrada e saída são meticulosamente controlados por meio de um módulo microcontrolador o qual estabelece conexão com uma rede *WiFi*, e que prove o acesso a uma plataforma IoT (*Internet of Things*), a fim de interagir com o usuário, independentemente do local que ele estiver. Este arranjo viabiliza a transmissão de dados provenientes dos sensores, ao mesmo tempo que possibilita a recepção e o envio de parâmetros através de um aplicativo supervisor na plataforma de IoT. A Figura 14 apresenta de maneira elucidativa as diferentes fases do método aplicado, que orienta a execução deste projeto.

Figura 14 - Etapas da metodologia e suas aplicações



Fonte: Autor (2023).

Na fase 1, estudo das variáveis de ambiente que afetam a criação de frangos, fora realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as principais variáveis que afetam o ambiente da criação de frangos. Uma rodada de pesquisas, que resultou em trabalhos acadêmicos. Utilizou-se termos de busca e bases diferentes, tendo como base de acesso o Google Acadêmico (*Scholar*), *Scientific Electronic Library Online* (*Scielo*), sites de universidades e empresas que ofertam equipamentos para agroindústrias de

frango. Dentre os diversos fatores que influenciam a produção, os fatores ambientais, como a temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminância entre outros, assumem relevante importância no processo de criação dos animais.

Na fase 2, definição das variáveis de interesse a serem monitoradas ou comandadas, levou-se em consideração de um universo de possibilidades referenciadas bibliograficamente, as seguintes variáveis: temperatura; umidade; e luminosidade. A ambientação assume um papel de extrema relevância no contexto da produção avícola, uma vez que a manutenção de um ambiente propício para as aves resulta em respostas positivas, que se refletem na produtividade. Isso se traduz em melhorias na eficiência da conversão alimentar, no ganho de peso e na redução da taxa de mortalidade. Animais mantidos nas suas zonas de termoneutralidade evitam o desperdício de energia, seja na forma de energia elétrica, que é utilizada no funcionamento dos sistemas de climatização, quando acionados indevidamente.

Na fase 3, desenvolvimento de um ensaio laboratorial para monitoramento e comando das variáveis definidas, faz-se necessário a construção de um ambiente de criação de frangos, em baixa escala, que possa ser monitorado e ajustado, conforme necessidades específicas. Isso é essencial para garantir a saúde, o bem-estar e o crescimento eficiente das aves. Também é necessário proceder o sensoriamento das variáveis importantes para este trabalho, consideradas críticas no ambiente de criação, tais como temperatura, umidade e luminosidade. Esses sensores coletarão dados em tempo real, fornecendo informações valiosas sobre as condições do ambiente.

Além disso, é imperativo instalar atuadores que permitam o controle de fatores como a ventilação, o aquecimento e a iluminação do ambiente de criação em baixa escala. Isso assegura que as condições ideais sejam mantidas para o crescimento saudável das aves e a eficiência operacional. Por exemplo, os atuadores podem ajustar automaticamente a ventilação com base nos dados dos sensores, garantindo que a temperatura e a umidade sejam mantidas dentro dos limites desejados.

Todo esse sistema de monitoramento pode ser centralizado e gerenciado por um módulo microcontrolador, com capacidade de acesso à rede de internet. Isso permite que os operadores acessem os dados e controlem os parâmetros de criação remotamente, proporcionando uma maior flexibilidade e eficiência na gestão da produção avícola.

Além disso, a conectividade à internet possibilita o uso de análises avançadas de dados e a implementação de sistemas de alerta precoce, para detectar quaisquer problemas potenciais no ambiente de criação. Isso ajuda a minimizar os riscos e a maximizar a produtividade, tornando o processo de criação de frangos mais sustentável e lucrativo.

Na fase 4, comunicação em rede por Internet das Coisas Industrial (IIoT), utilizando um protocolo adequado ao conceito de publicador e assinante (*Publish/Subscriber*), com uso de *brokers* e *gateways*, é peça fundamental para o monitoramento eficiente das variáveis pertinentes à avicultura. Essa abordagem proporciona uma infraestrutura robusta e escalável, para coletar dados em tempo real de diversas fontes, dentro do ambiente avícola.

Os *brokers* desempenham um papel crucial nesse cenário, atuando como intermediários que recebem os dados dos dispositivos sensores, como sensores de temperatura, umidade, qualidade do ar e outros, e os encaminham para os sistemas de processamento e análise. Isso permite que os dados sejam distribuídos de forma eficiente para os assinantes, que necessitam dessas informações em tempo real, como os produtores, gestores de fazendas e sistemas de automação.

Além disso, os *gateways* desempenham um papel importante na integração de dispositivos, que utilizam diferentes protocolos de comunicação, garantindo que todas as variáveis relevantes sejam coletadas e transmitidas para o *broker*, de maneira padronizada e compatível. Dessa forma, a gestão da avicultura pode obter informações detalhadas sobre o ambiente das instalações, o desempenho das aves e outros fatores que impactam diretamente a produção.

A utilização de IIoT com protocolos de *Publish/Subscriber*, *brokers* e *gateways* na avicultura moderna representa um avanço significativo no monitoramento e controle do ambiente avícola. Isso permite aos produtores tomar decisões mais assertivas, melhorar a eficiência da produção e garantir o bem-estar das aves, contribuindo para uma indústria avícola mais sustentável e lucrativa.

Na fase 5, edição de um *dashboard* em plataforma IIoT, para monitoramento e das variáveis de ambiente da criação de frangos, torna-se essencial considerar uma série de fatores cruciais para o sucesso da avicultura. A avicultura moderna depende de um monitoramento preciso e eficiente das variáveis pertinentes ao ambiente de criação de frangos, para garantir o bem-estar das aves e a produção de carne de alta

qualidade.

Nesse contexto, as variáveis mais importantes a serem monitoradas em um *dashboard* IIoT incluem:

- a) temperatura: monitorar a temperatura no galpão de criação é fundamental para o conforto das aves, pois o monitoramento preciso da temperatura ajuda a evitar o estresse térmico, o que pode afetar negativamente o crescimento e a saúde das aves;
- b) umidade: a umidade do ambiente também desempenha um papel crucial na criação de frangos, pois manter níveis adequados de umidade é essencial para evitar problemas respiratórios e garantir um ambiente saudável;
- c) luminosidade: o ciclo de iluminação desempenha um papel vital no monitoramento do crescimento e desenvolvimento das aves, já que uma iluminação adequada é essencial para otimizar a produção.

Um *dashboard* IIoT bem projetado pode reunir dados em tempo real de sensores distribuídos pelo galpão de criação e permitir que os produtores ajam proativamente, a fim de manter as condições ideais para as aves. Isso não apenas melhora o bem-estar das aves, mas também pode aumentar a eficiência da produção e a qualidade do produto final na indústria avícola.

Na fase 6, ensaio laboratorial da prova de conceito, monitorando as condições ambientais desejadas no protótipo funcional, detectando as funcionalidades e seu impacto no processo, assim como avaliando as variáveis pertinentes à avicultura, como a temperatura, umidade e luminosidade. Esses fatores desempenham um papel crítico na produção avícola, pois afetam diretamente o desempenho das aves, a taxa de crescimento e a qualidade dos produtos finais, como carne e ovos.

Ao conduzir ensaios laboratoriais, é necessário controlar essas variáveis para garantir resultados confiáveis e relevantes para a indústria avícola. Além disso, a prova de conceito também pode incluir a avaliação de tecnologias inovadoras, que melhoram a eficiência e a sustentabilidade da produção avícola. Portanto, a análise cuidadosa dessas variáveis é essencial para o sucesso do projeto e sua aplicação prática na avicultura.

Na fase 7, análise das funcionalidades da prova de conceito, comparando cada funcionalidade no cenário implementado e no cenário anterior a esse. Quando tais funcionalidades não existiam, torna-se essencial no contexto da avicultura moderna. O monitoramento de variáveis como temperatura, umidade e luminosidade são

cruciais para garantir o bem-estar das aves, a eficiência da produção e a qualidade dos produtos.

Antes da implementação das novas funcionalidades, o monitoramento dessas variáveis era frequentemente um processo manual e demorado. Os produtores dependiam de inspeções regulares e experiência prática para detectar problemas de saúde, comportamento das aves e condições ambientais. Isso era ineficiente e muitas vezes resultava em atrasos na detecção de problemas, impactando negativamente a produtividade e o bem-estar das aves.

Com a introdução das novas funcionalidades de monitoramento, como sensores de temperatura, umidade e luminosidade, a avicultura deu um salto significativo em termos de eficiência e bem-estar animal. Essas funcionalidades permitem um monitoramento em tempo real e uma análise precisa das condições de criação das aves.

Sensores de temperatura e umidade garantem que as condições ambientais estejam sempre dentro da faixa ideal para o crescimento saudável das aves. A detecção precoce de desvios nessas variáveis permite ajustes imediatos, prevenindo doenças e mortalidade desnecessária.

Com base nos dados coletados, os produtores podem ajustar a oferta de alimentos e água de acordo com as necessidades das aves, economizando custos e reduzindo o impacto ambiental.

As funcionalidades de monitoramento introduzidas na avicultura moderna têm revolucionado a forma como os produtores gerenciam suas operações. Essas tecnologias proporcionam um ambiente mais saudável para as aves, aumentam a eficiência da produção e garantem produtos de melhor qualidade. A análise comparativa entre o cenário anterior e o atual é fundamental para demonstrar o valor dessas inovações e continuar a aprimorar a avicultura, para o benefício de todos os envolvidos.

4 RESULTADOS

Na primeira fase do projeto, fora realizado um estudo relacionando as variáveis que afetam a criação de frango, dentre elas se pode citar:

- a) temperatura do ar;
- b) umidade relativa;
- c) luminosidade.

Além das variáveis ambientais, como citado, se ressalta também a importância das variáveis biológicas da ave, que estão totalmente ligadas à sensação de conforto e ao seu comportamento. A taxa de atividade, o metabolismo, idade, gênero, empenamento, ração consumida e densidade, apresentam impacto direto sobre essas variáveis. A Figura 15 demonstra essas variáveis biológicas de uma ave.

Figura 15 - Termorregulação da ave

1. CONVECÇÃO

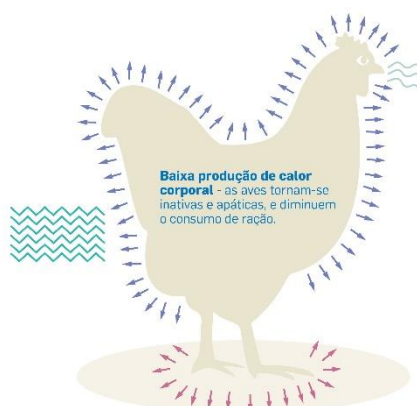
Calor corporal perdido para o ar ambiente mais frio. As aves aumentam a área de superfície exposta, inclinando e abrindo as asas.

A convecção é auxiliada pelo movimento do ar, afetando a sensação térmica da ave.

Vasodilatação - O aumento da irrigação das cristas e barbelas e a maior circulação sanguínea, trazem o calor para a superfície corporal facilitando a troca de temperatura com o ambiente através do ar fresco circulante.

2. RADIAÇÃO

As ondas eletromagnéticas transferem calor através do ar para um objeto distante. O calor do corpo é irradiado para objetos mais frios do galpão (ou seja, paredes, teto, equipamentos).



3. RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

A respiração rápida, rasa e com a boca aberta, ou seja, a ofegação, provocam o aumento da perda de calor corporal através da eliminação de água contida no sistema respiratório. O resfriamento evaporativo é auxiliado em situações de baixa umidade do ar.

4. CONDUÇÃO

Perda de calor corporal para objetos mais frios em contato direto com a ave (ou seja, cama, ripas, arame de gaiola). As aves procuram lugares mais frescos no galpão, deitam-se no chão e ciscam a cama para encontrar um lugar mais fresco.

Termorregulação da ave

Fonte: Hy-Line International (2018).

Com base nas variáveis analisadas no âmbito deste estudo, já na fase dois foram selecionadas aquelas consideradas mais relevantes para o escopo do projeto, a saber: temperatura, umidade e luminosidade.

Para obter resultados que comprovem a prova de conceito, optou-se por simular um ambiente de criação animal (neste caso frangos), de forma a monitorar as variáveis de interesse, sem ter a preocupação com o desenvolvimento das aves, visto ser uma prova de conceito.

No desenvolvimento do estudo a ser analisado, foi utilizado uma caixa de madeira com uma dimensão de 34cm de comprimento e 18cm de largura. A Figura 16

demonstra esta estrutura.

Figura 16 - Desenvolvimento da estrutura controlada para criação de frangos



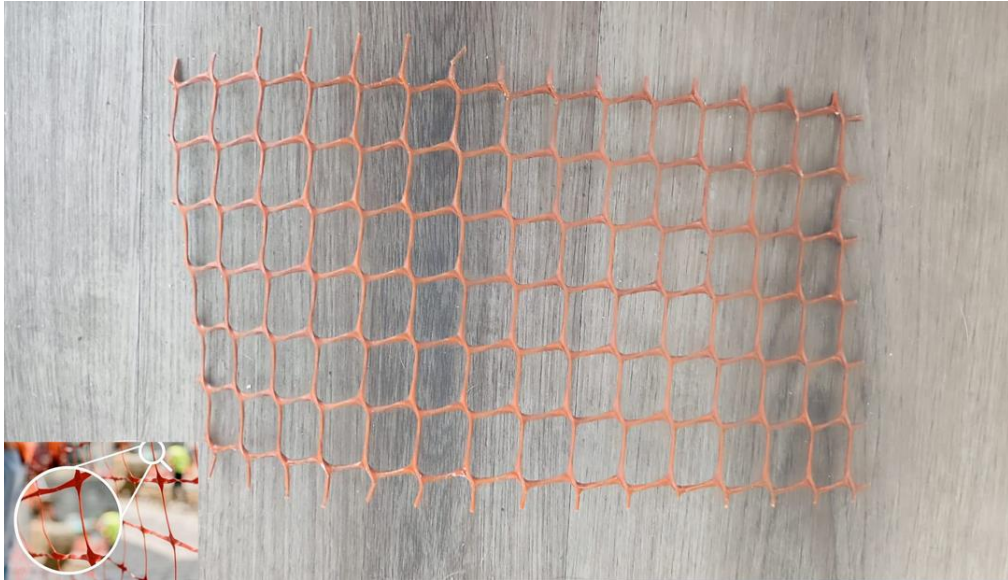
Fonte: Autor (2023).

Ainda em sua montagem estrutural, fora utilizado um cerquite⁹ de proteção, feito com material reciclado. Para este material, ele foi cortado tendo em base uma medida de 30cm de largura por 14cm de comprimento. Com o auxílio de uma serra, foi realizado um recorte na caixa, a fim de fixar o cerquite, prendendo o mesmo por dentro, com o objetivo de deixar o projeto o mais similar possível com um galheiro real. A

⁹ A tela tapume, também conhecida como cerquite, foi desenvolvida para ser uma tela de segurança e sinalização, muito utilizada no isolamento de áreas de risco, sinalização de obras e bloqueios.

Figura 17 demonstra o cerquite.

Figura 17- Cerquite utilizado no projeto



Fonte: Autor (2023).

Para a fabricação do telhado fora utilizado papelão reciclado com as medidas 47cm de comprimento por 33cm de largura. Após, foi fixado a caixa de madeira sendo moldado e dando uma sensação de telhado. A Figura 18 representa o papelão utilizado no telhado.

Figura 18 - Papelão utilizado no telhado do ambiente simulado de criação de aves



Fonte: Autor (2023).

Após a união de todas as partes, caixa, cerquite e papelão, se obtém o modelo estético de aviário, pronto para realizar o monitoramento das variáveis. A Figura 19 demonstra o projeto da estética do aviário completo.

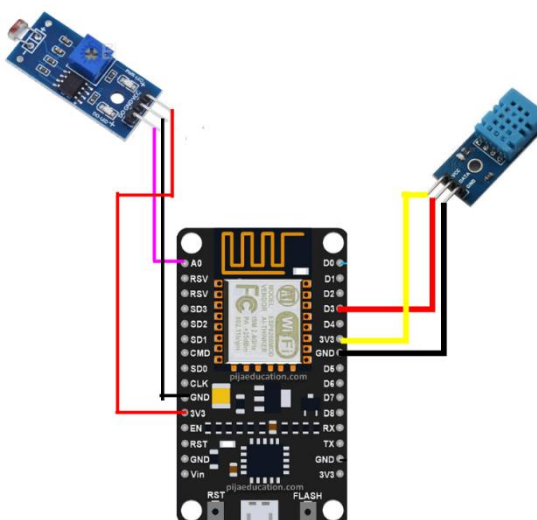
Figura 19 - Montagem estrutural da prova de conceito para monitoramento das variáveis de ambiente, na criação de aves



Fonte: Autor (2023).

O desenvolvimento do diagrama elétrico do circuito fora realizado, tendo como base o sensor DHT11, que fara o monitoramento da temperatura e umidade. E o sensor LDR, que fará o monitoramento da luminosidade. Ambos conectados ao controlador ESP8266 NodeMCU. A Figura 20 demonstra o desenho do circuito projetado.

Figura 20 - Desenvolvimento do circuito elétrico projetado

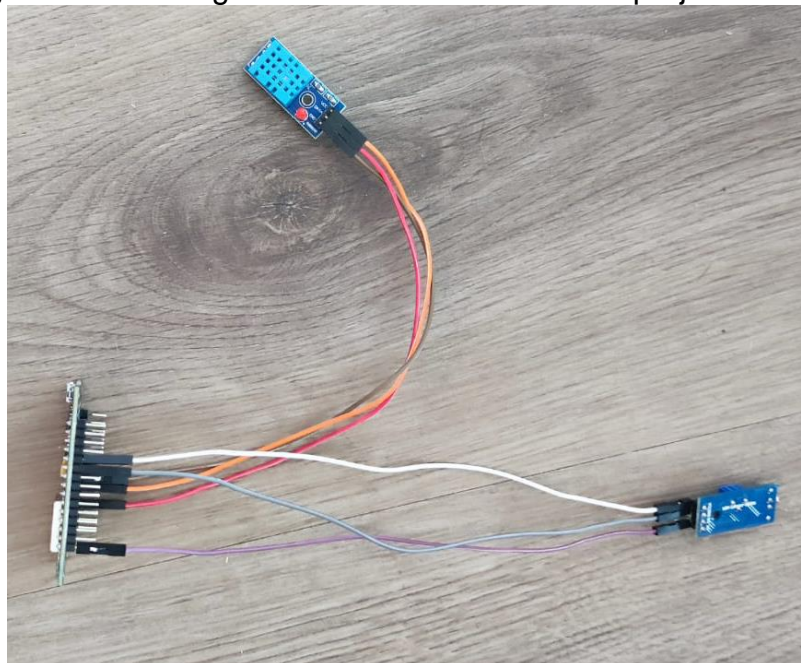


Fonte: Autor (2023)

Sequencialmente, foi executada a montagem dos circuitos fisicamente, no qual

foram realizados os primeiros testes. A Figura 21 demonstra essa montagem física.

Figura 21 - Montagem física do circuito elétrico projetado



Fonte: Autor (2023).

Conforme ilustrado no modelo físico retratado na figura, o microcontrolador empregado no controle e supervisão do sistema é o ESP8266 NodeMCU. Nele, foi implantado o *firmware*¹⁰, que engloba as funcionalidades específicas de cada dispositivo interconectado, bem como a configuração das interfaces de entrada e saída de dados dos sensores e atuadores.

Para a fase de comunicação em rede por internet das coisas industrial, foi utilizado a IDE (*integrated development environment*, traduzindo do inglês, ambiente de desenvolvimento integrado) Arduino em sua versão 1.8.19, responsável por realizar a comunicação *Wi-Fi* entre roteador e o controlador ESP8266 NodeMCU, além da ativação dos demais componentes.

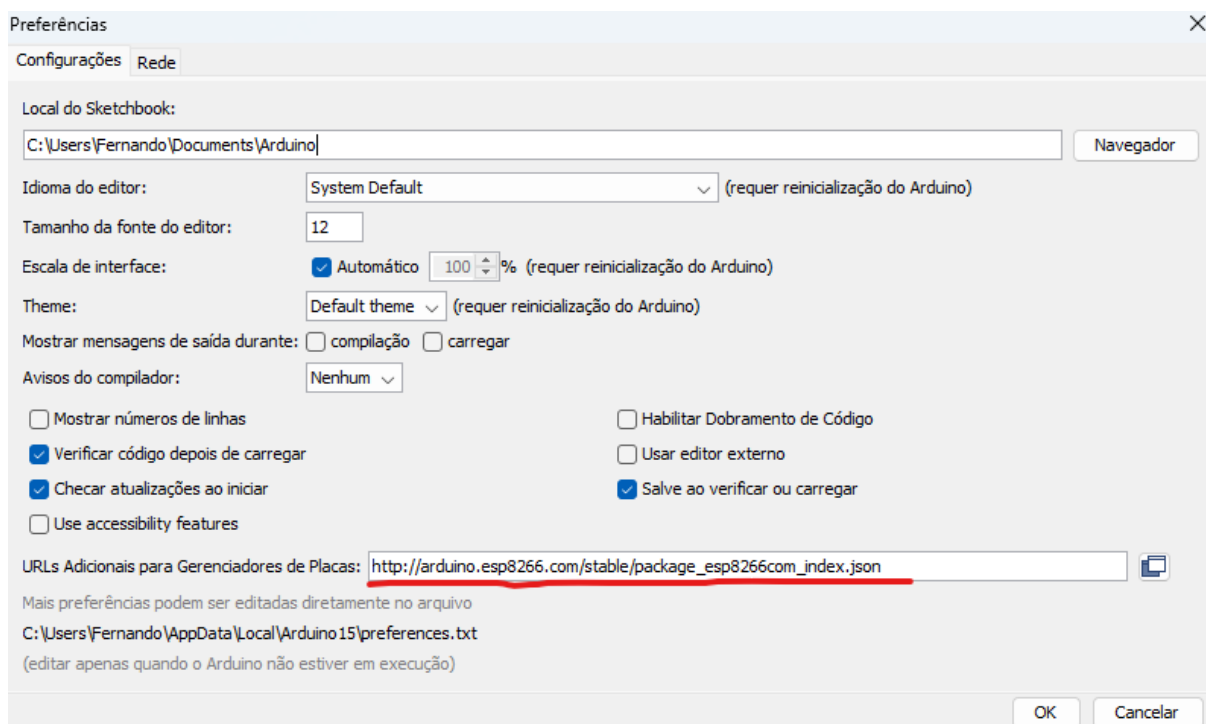
Para que estes componentes funcionem de forma correta se faz necessário o uso de bibliotecas¹¹ específicas e, além disso importar os gerenciadores de placa

¹⁰ O *firmware* é um *software* no dispositivo de hardware que executa funções como tarefas básicas de entrada/saída e oferece as instruções necessárias para que o dispositivo se comunique com outros.

¹¹ Bibliotecas são arquivos de códigos na qual possuem em sua estrutura, uma série de funções desenvolvidas especificamente para executar determinadas tarefas e ações pelo microcontrolador.

adicionais para os controladores ESP8266, para que, deste modo a IDE os reconheça, conforme demonstra a Figura 22.

Figura 22 - Gerenciadores de placas da IDE do Arduino



Fonte: Autor (2023).

Para que haja conexão à internet, utilizou-se a biblioteca *ESP8266Wifi.h*. A biblioteca *Wi-Fi* para ESP8266 foi desenvolvida, com base no SDK (*Software Development Kits*, traduzindo do inglês, kit de desenvolvimento de *software*) ESP8266, usando as convenções de nomenclatura e a filosofia de funcionalidade geral da biblioteca Arduino *WiFi*.

Os aparelhos que se ligam a redes *Wi-Fi* são conhecidos como estações. A conexão à *Wi-Fi* é disponibilizada através de um ponto de acesso, que age como um *hub* para uma ou várias estações. O ponto de acesso no outro extremo está conectado a uma rede com fio. Geralmente, um ponto de acesso é incorporado a um roteador para oferecer acesso à Internet a partir de uma rede *Wi-Fi*. Cada ponto de acesso é identificado por um SSID (Identificador de Conjunto de Serviço), que basicamente é o nome da rede que você escolhe ao conectar um dispositivo (estação) à *Wi-Fi*.

Os módulos ESP8266 podem operar como uma estação, o que nos permite conectá-los a redes *Wi-Fi*. Também podem funcionar como um ponto de acesso suave

(*soft-AP*) para estabelecer sua própria rede *Wi-Fi*. Quando o módulo ESP8266 está operando como ponto de acesso suave, podemos conectar outras estações a ele. O ESP8266 também tem a capacidade de funcionar tanto como estação, quanto como ponto de acesso.

Além desta biblioteca, foi utilizado as bibliotecas *SimpleDHT.h* para o módulo DHT11, responsável pelo monitoramento da temperatura e da umidade. As bibliotecas *Adafruit_MQTT.h*, *Adafruit_MQTT_Client.h*, bibliotecas MQTT simples que suportam o mínimo necessário para publicar e assinar tópicos.

A Figura 23 demonstra um trecho do *firmware*, demonstrando as bibliotecas e os parâmetros de *Wi-Fi* no microcontrolador.

Figura 23 - Parâmetros de *Wi-Fi* para conexão do módulo ESP8266 NodeMCU

```
#include <SimpleDHT.h> // Data ---> D3 VCC ---> 3V3 GND ---> GND
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "Adafruit_MQTT.h"
#include "Adafruit_MQTT_Client.h"
// WiFi parameters
#define WLAN_SSID "Familia Paz"
#define WLAN_PASS "15121987"
```

Fonte: Autor (2023).

Para conexão ao *broker*, foi eleita a plataforma Adafruit IO como a solução para disponibilizar este serviço. Nesse âmbito, procedeu-se à configuração e implantação do sistema de comunicação com o *broker*. Além de suas funcionalidades de comunicação, a plataforma Adafruit oferece igualmente capacidades de acesso ao usuário, armazenamento e aquisição de dados, possibilitando, desse modo, o monitoramento e controle em tempo real dos dispositivos. Por se tratar de protocolo MQTT, se fez necessário o uso das bibliotecas citadas anteriormente e visíveis na figura anterior. Além disso, foi necessário a listagem dos tópicos, comumente chamados de endereços, para o encaminhamento das mensagens.

O nome do tópico é *AIO_USERNAME/feeds/nomeescolhido* – neste caso temos temperatura, luminosidade e umidade. Isso significa que se o nome de usuário for *fbordignon87*, o *feed*¹² se chamará "*fbordignon87/feeds/temperatura*". Dessa

¹² *Feeds* é uma posição de memória que recebe os dados oriundos de uma postagem ou de uma submissão (PEIXOTO, 2021).

forma, não se confunde com a alimentação da temperatura de outro usuário do *broker*. Somente você tem acesso para publicar nos *feeds*, com seu nome de usuário. Então, se pode criar o objeto *Adafruit_MQTT_Publish*. A Figura 24 demonstra estes tópicos no *firmware*.

Figura 24 - Tópicos *publish* e *subscribe* da aplicação

```
WiFiClient client;
// MQTT CLIENT.
Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, AIO_USERNAME, AIO_KEY);
Adafruit_MQTT_Publish Temperatura = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Temperatura");
Adafruit_MQTT_Publish Umidade = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Umidade");
Adafruit_MQTT_Publish Luminosidade = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Luminosidade");
```

Fonte: Autor (2023).

De acordo com as palavras de Peixoto (2021), é necessário aprofundar nossa compreensão sobre o papel desempenhado por cada elemento no funcionamento do protocolo MQTT. O autor explica que existem três componentes em ação: o emissor de mensagens, o receptor subscritor e o intermediário, encarregado de coletar e distribuir mensagens no servidor. O emissor de mensagens é aquele que disponibiliza um dado ou uma mensagem para todos aqueles que desejam ter acesso a essa informação. Este componente, por sua vez, está equipado com um intermediário de coleta e distribuição, que inclui uma estrutura de tópicos. Quando recebe um tópico, cabe a esse intermediário identificar os receptores subscritores que solicitaram a assinatura e retransmitir todas as informações que foram publicadas. Enquanto isso, o receptor subscritor recebe a informação do emissor de mensagens simultaneamente, assim que é identificado como o receptor subscritor do tópico específico (PEIXOTO, 2021).

Para a edição de *dashboard* em plataforma IIoT foi utilizada a plataforma Adafruit IO, a fim de criar objetos gráficos para a interface do usuário, sendo parametrizada com os tópicos anteriormente citados.

Para acesso a plataforma é necessário a criação de uma conta de usuário, sendo seguido pela localização da API (*Application Programming Interface*, traduzindo do inglês, Interface de Programação de Aplicação), a API é responsável pelo nome de usuário e chave de conexão dele. A Figura 25 ilustra a API.

Figura 25 - Chave de conexão à API

YOUR ADAFRUIT IO KEY ×

Your Adafruit IO Key should be kept in a safe place and treated with the same care as your Adafruit username and password. People who have access to your Adafruit IO Key can view all of your data, create new feeds for your account, and manipulate your active feeds.



If you need to regenerate a new Adafruit IO Key, all of your existing programs and scripts will need to be manually changed to the new key.

Username

Active Key REGENERATE KEY

Fonte: Autor (2023).

Uma vez em posse desses dados, eles são inseridos no *firmware*, garantindo a conexão do controlador com a Adafruit IO. A Figura 26 demonstra a parametrização.

Figura 26 - Parâmetros Adafruit IO

```
// Adafruit IO
#define AIO_SERVER      "io.adafruit.com"
#define AIO_SERVERPORT 1883
#define AIO_USERNAME    "fbordignon87"
#define AIO_KEY         "aio_ILAu80rWv6tnqh5hDJABBVstEUv"
```

Fonte: Autor (2023).

Com o intuito de realizar testes de conexão tanto da rede *Wi-Fi* quanto ao servidor Adafruit, fora utilizado o recurso monitor serial da IDE Arduino, em que lista a conexão e os dados obtidos na montagem. A Figura 27 demonstra esses valores obtidos.

Figura 27 - Teste de conexão através do monitor serial

```
COM5
.....
.h" WiFi conectado
ia P Endereco de IP:
987" 192.168.0.107
afriu Conectando ao servidor Adafruit... Adafruit IO Conectado!
42 %, 24 °C, 49 H
ignoi
LAu8
...
```

Fonte: Autor (2023).

A próxima etapa foi a criação de *feeds*. A principal função de um *feed* é que seus dados são armazenados no repositório, baseando-se na data e hora em que seu valor foi alterado. Cada variável a ser monitorada torna-se um *feed*, como é demonstrado na Figura 28.

Figura 28 - *Feeds* Adafruit IO

fbordignon87 / Feeds

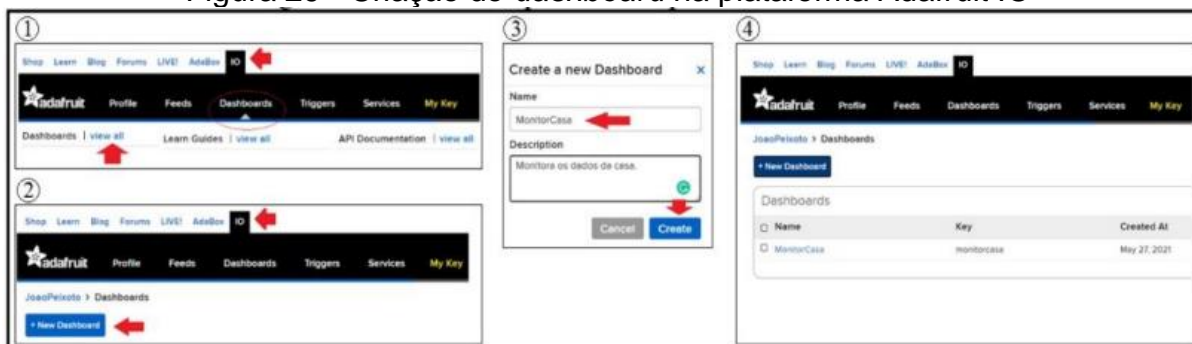
[+ New Feed](#) [+ New Group](#)

Default

Feed Name	Key	Last value
<input type="checkbox"/> Luminosidade	luminosidade	63
<input type="checkbox"/> Temperatura	temperatura	23
<input type="checkbox"/> Umidade	umidade	75

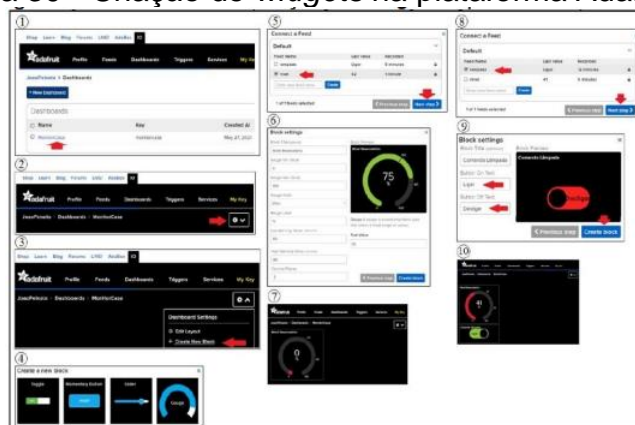
Fonte: Autor (2023).

Após, realizou-se a criação do painel que apresenta o conjunto de informações relacionados aos processos, também chamado de *dashboard*. Na Figura 29 há o processo de criação do *dashboard* na plataforma Adafruit IO.

Figura 29 - Criação do *dashboard* na plataforma Adafruit IO

Fonte: Peixoto (2021)

O *dashboard* exibirá os *feeds* anteriormente criados na forma de *widgets*¹³. Assim os *feeds* serão apresentados graficamente no painel, à medida que são inseridas as publicações do cliente MQTT. A Figura 30 demonstra o processo de criação de *widgets*.

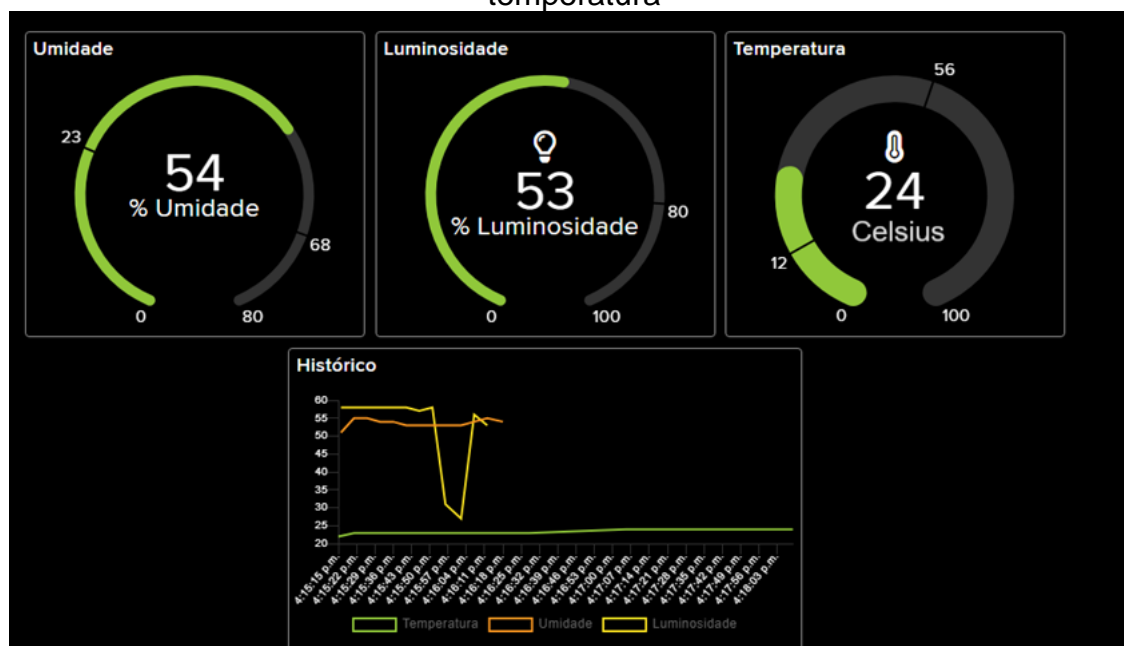
Figura 30 - Criação de *widgets* na plataforma Adafruit IO

Fonte: Peixoto (2021)

A Figura 31 demonstra o *dashboard* em funcionamento, ou seja, realizando a leitura das informações passadas pelo microcontrolador para a plataforma Adafruit.

¹³ *Widget* é um elemento de interação, tal como janelas, botões, menus, ícones, entre outros. O termo pode também se referir aos pequenos aplicativos que flutuam pela área de trabalho e fornecem funcionalidades específicas ao utilizador (previsão do tempo, relógio, entre outros) (PEIXOTO, 2021)

Figura 31 - *Dashboard* apresentando o monitoramento de umidade, luminosidade e temperatura



Fonte: Autor (2023).

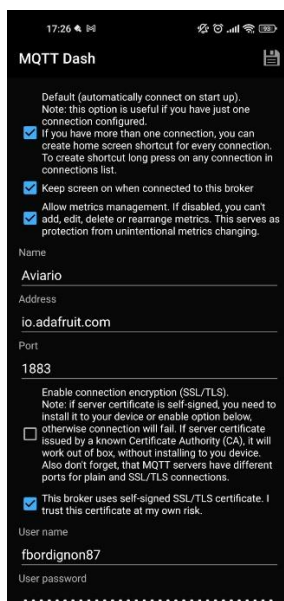
Para auxílio, também foi utilizado o aplicativo para dispositivos móveis. Dentre o universo de aplicativos disponíveis, fora utilizado o *MQTT Dash*, disponível na *Play Store*¹⁴. Ele disponibiliza interface gráfica, possibilitando a visualização das oscilações e o estado dos dispositivos, em tempo real. Estes serviços são disponibilizados de forma gratuita pela plataforma.

Após a instalação do aplicativo, o primeiro passo é a inserção dos dados disponibilizados no servidor Adafruit nos campos solicitados, sendo eles *IP Adress* (traduzido do inglês, endereço de IP) ou *hostname*¹⁵, porta de comunicação, nome de usuário e senha. A Figura 32 demonstra a tela de configurações.

¹⁴ Play Store é um serviço de distribuição digital oficial do sistema operacional Android de conteúdos digitais, como: aplicativos, jogos eletrônicos, filmes, programas de televisão, músicas e livros, desenvolvido e operado pela Google.

¹⁵ Em redes de computadores, um nome de host é um rótulo atribuído a um dispositivo conectado a uma rede de computadores e usado para identificar o dispositivo em várias formas de comunicação eletrônica.

Figura 32 - Configuração do servidor Adafruit no aplicativo MQTT Dash



Fonte: Autor (2023).

Uma vez conectado ao servidor, o próximo passo é adicionar as variáveis a serem monitoradas. Nesse caso, temperatura, umidade e luminosidade. Nela se deve nomear o tópico desejado e inserir o caminho completo dele no servidor Adafruit. A Figura 33 demonstra essa tela de adição.

Figura 33 - Adicionando tópicos no MQTT Dash



Fonte: Autor (2023).

Após a finalização do projeto de monitoramento, foi possível apresentar as funcionalidades obtidas com o mesmo. O Quadro 1 demonstra isso.

Quadro 1 - Funcionalidades de monitoramento de ambientes de criação de frangos, de forma automatizadas

Funcionalidade	Representatividade
Monitoramento da temperatura.	Através desta funcionalidade é possível monitorar a temperatura do ambiente.
Monitoramento da umidade.	O monitoramento da umidade permite verificar a umidade ideal do ambiente, podendo ser utilizado para diferentes tipos de frango.
Monitoramento da luminosidade.	Através desta funcionalidade é possível monitorar a incidência de luz no ambiente.

Fonte: Autor (2023).

A Tabela 5 demonstra os custos dos materiais envolvidos no projeto de monitoramento das variáveis.

Tabela 5 - Materiais utilizados e seus custos estimados

Materiais e Equipamentos	Quantidade	Valor Estimado
ESP8266 NodeMCU	01	R\$46,90
Sensor de temperatura e umidade DHT11	01	R\$19,90
Sensor de luminosidade LDR	01	R\$9,90
Caixa de madeira	01	R\$ 34,90
Cerquite	01	R\$ 5,90
Papelão reciclado	01	R\$ 2,99
Serragem	01	R\$ 13,00
Fios de conexão	06	R\$ 10,00

OBS.: Valores relativos ao mês de novembro de 2023, no Brasil.

Fonte: Autor (2023).

5 ANÁLISE

Utilizando técnicas semelhantes aos trabalhos anteriormente citados, como sistema de monitoramento na criação de aves dos autores Amir, Abas e Azmi (2016) e o trabalho sobre sensoriamento em fazendas a partir de redes remotas, dos autores Ammad-uddin *et al.* (2014), se tornou possível a implementação de uma prova de conceito, a fim de monitorar as variáveis pertinentes a avicultura, sendo elas temperatura, luminosidade e umidade.

O Quadro 2 apresenta a análise comparativa das funcionalidades do monitoramento antes e depois de aplicá-las.

Quadro 2 - Comparativo das funcionalidades com e sem monitoramento

Funcionalidade	Sem monitoramento	Com monitoramento
Aquisição da temperatura, para fins de monitoramento.	Realizado de forma manual, através de instrumento de medição.	Realizado de forma autônoma e remota em tempo real.
Aquisição da umidade, para fins de monitoramento.	Realizado de forma manual, através de instrumento de medição.	Realizado de forma autônoma e remota em tempo real.
Monitoramento de luminosidade.	Não monitorado, ou monitorado de forma manual.	Realizado de forma não presencial em tempo real.

Fonte: Autor (2023).

Analisando as diferenças, se pode confirmar que a funcionalidade da prova de conceito conseguiu demonstrar que o monitoramento das variáveis pertinentes à avicultura não só melhora o desempenho e o bem-estar das aves, mas também leva a benefícios econômicos significativos para os produtores. Além disso, a automação e o controle precisos dessas variáveis, através de sistemas de automação industrial, proporcionam eficiência e consistência, permitindo aos produtores tomarem decisões informadas e ajustar rapidamente as condições do ambiente. Isso resulta em uma produção mais sustentável e competitiva na indústria avícola. Portanto, a análise e implementação de sistemas de monitoramento e controle eficazes, são aspectos essenciais da engenharia de controle e automação, na avicultura.

Levando em consideração que anteriormente não se mantinha históricos das variáveis medidas. E, além disso, serem todas medidas de forma manual,

impossibilitando uma melhor tomada de decisão. Com isso, após a implantação da prova de conceito, além do monitoramento, foi possível verificar históricos fornecidos pelo *broker*, auxiliando em uma melhor e eficaz forma de tomada de decisão.

O monitoramento de temperatura se apresenta como uma das variáveis mais críticas na avicultura. As aves são sensíveis às variações de temperatura, e o monitoramento preciso desse parâmetro é essencial para garantir o bem-estar das aves e a eficiência da produção. Manter a temperatura ideal dentro das instalações avícolas ajuda a evitar o estresse térmico das aves, o que pode afetar negativamente o seu crescimento e produção de ovos. O monitoramento da temperatura permite ajustes rápidos e precisos, garantindo um ambiente confortável para as aves. Antes realizado de forma manual, esporádica e sem precisão. A partir dos valores recebido dos sensores e do histórico de dados, é possível tomar decisões visando obter a temperatura ideal para o ambiente.

O monitoramento da umidade desempenha um papel crucial, pois níveis inadequados de umidade podem levar a problemas respiratórios nas aves, aumento da propagação de doenças e perda de qualidade dos ovos. O monitoramento contínuo da umidade permite ajustar os sistemas de ventilação e nebulização, para manter os níveis ideais. A partir dos valores recebido dos sensores e do histórico de dados, foi possível tomar decisões, visando obter a umidade do ar que melhor se adequa ao ambiente.

Referente ao monitoramento da iluminação, ela desempenha um papel importante no ciclo de reprodução e nas aves. O monitoramento da luminosidade e o controle da iluminação nas instalações avícolas são cruciais para otimizar a produção. A manipulação dos níveis de luz pode ser usada para controlar o ciclo de produção das aves, influenciando o número de ovos produzidos. A partir dos valores recebidos dos sensores e do histórico de dados, torna-se possível tomar decisões, visando obter os níveis de incidência de luz sobre o ambiente.

O ESP8266 NodeMCU demonstrou ser um controlador altamente confiável para a gestão desse sistema, e sua integração a plataforma Adafruit IO revelou-se uma experiência intuitiva e consistente. No entanto, é importante mencionar que existem algumas limitações notáveis neste ambiente. O serviço, mesmo sendo usuário acadêmico, no modo gratuito oferece um limite máximo para a troca de dados por minuto, bem como um número máximo de sensores ou atuadores que podem ser

implementados nos painéis. Caso haja a necessidade de incorporar mais dispositivos, será necessário considerar a contratação do serviço pago, que expande significativamente esses recursos e disponibiliza outras ferramentas dentro desse ecossistema. Estas considerações são relevantes para a aplicação prática do sistema e merecem uma análise aprofundada em um contexto de pesquisa acadêmica.

Entretanto, os dados enviados pelo sensor, bem como a apresentação via *dashboard* pela plataforma Adafruit IO, leva o usuário a um fácil entendimento e interpretação.

Já para o aplicativo MQTT Dash, percebe-se uma variação de tempo em relação ao servidor Adafruit. Sua instalação, também foi um fator fundamental, uma vez que o aplicativo, em alguns modelos de dispositivos móveis, pode não ser instalado de forma nativa.

6 CONCLUSÃO

Monitorar os indicadores de temperatura, umidade e luminosidade é essencial para um sistema avícola, que vise proporcionar conforto térmico dentro dos ambientes aplicados. O propósito deste estudo consistiu no desenvolvimento de uma prova de conceito para o monitoramento de variáveis pertinentes a avicultura. Variáveis estas de condição climáticas em galpões destinados à criação de frangos. O principal objetivo visa o monitoramento automatizado de variáveis ambientais, aprimorando a eficiência da produção avícola, garantindo o bem-estar das aves e otimizar o uso de recursos, promovendo práticas sustentáveis na indústria avícola.

Como solução para esta problemática foi executado uma prova de conceito funcional que captura as informações das variáveis monitoradas e as encaminha a um agente intermediário (*broker*) localizado na internet. Posteriormente, esse agente encaminha as mensagens para os assinantes, desde que estes tenham selecionado o mesmo tópico para receber as mensagens. Aqui foi citado a implementação de um servidor MQTT em um microcontrolador para permitir o uso de *feeds*, assegurando o envio e recebimento dos dados.

O protocolo de comunicação MQTT provou ser uma excelente escolha para este tipo de monitoramento, devido à sua simplicidade, robustez e compatibilidade com uma ampla gama de sistemas. O servidor Adafruit utilizado permitiu armazenar os dados coletados pelos sensores e disponibilizá-los pela Internet, para visualização em forma de gráficos e indicadores, tornando-os prontos para análises posteriores e em tempo real. A integração entre os componentes resultou em um sistema de monitoramento eficaz para ambientes avícolas, sendo escalável e adequado se necessário.

A empresa Adafruit IO fornece o código fonte de seu servidor e o disponibiliza para ser portado a um microcontrolador. Sua configuração torna sua comunicação criptografada, podendo-se trabalhar no uso dos dados coletados para avaliar a precisão e a exatidão das medidas realizadas pelos sensores. A limitação identificada neste servidor, consiste no fato de que o serviço, mesmo sendo utilizado na versão de estudante, é oferecido sem custos. Impõe um limite máximo na taxa de transferência de dados por minuto e uma contagem máxima de sensores ou atuadores que podem ser implementados nos painéis. Caso o usuário deseje acrescentar

dispositivos adicionais, será necessário adquirir obrigatoriamente o serviço que oferece maior variedade de recursos.

A prova de conceito utiliza o controlador EPS8266 NodeMCU, que em todo o período da simulação alcançou os resultados esperados, coletando dados de forma correta e o transmitindo ao *broker*.

O sensor utilizado para medir a luminosidade (LDR), embora seja uma opção econômica, não é a escolha adequada para essa aplicação, devido à sua resposta não linear e à sua sensibilidade à temperatura ambiente. Uma sugestão para futuros trabalhos é substituir o sensor LDR por um fotodiodo ou um fototransistor, a fim de utilizá-los como sensor de luminosidade. Isso resultará em uma resposta mais linear em relação à intensidade da luz captada.

Assim como se faz necessário a utilização de sensores em duplicidade, face a serem variáveis críticas na criação de aves, necessitando uma redundância na coleta do sinal, a fim de evitar erros de medição que possam causar perdas na produção, com o adoecimento ou morte as aves.

O aplicativo utilizado *MQTT Dash*, apresenta um *delay* em relação ao servidor Adafruit, bem como o fato de sua instalação não ser tão simplificada, variando de acordo com a versão Android instalado no dispositivo móvel.

O presente estudo foi realizado em ambiente simulado e utilizou os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de Engenharia de Controle e Automação, na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, tendo como componentes curriculares diretamente correlacionados: Eletrônica Digital; Sistemas Supervisórios; Microprocessadores; Programação; Metodologia; e Redes Industriais de Comunicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Paulo Giovanni de; ABREU, Valeria Maria Nascimento. **Automatizando a avicultura**. 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/439744/1/CUsersPiazonDocuments272.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

AMIR, N. S.; ABAS, A. M. F. M.; AZMI, N. A. Chicken farm monitoring system. In: Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2016. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7808297>. Acesso em: 20 ago. 2023.

AMMAD-UDDIN, M. et al. Wireless sensor network: A complete solution for poultry farming. In: Telecommunication Technologies (ISTT), 2014. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7238228/>. Acesso em 20 ago. 2023

ASHTOM, K. A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID. **RFID Journal**, 2009. Disponível em: <http://www-networkcultures.org/uploads/notebook2%20theinternetofthings.pdf/>. Acesso em 07 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. 2022. **Exportações Brasileiras de Carne de Frango por Produto**. Disponível em: <https://abpa-br.org/mercados>. Acesso em: 18 ago. 2023.

BARI, N.; MANI, G.; BERKOVICH, S. Internet of things as a methodological concept. In: Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2013. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6602039/>. Acesso em 07 set. 2023.

BOING, Ricardo do Nascimento. **Gerenciamento autônomo da alimentação de frangos em aviários de criação alternativa com FOG e IoT**. 2019. 150f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina – Curso de Ciências da Computação, 2019.

COBB VANTRESS. **Desenvolvimento ótimo de frangos de corte**. 2015. Disponível em: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/51a1c3b8c4/Desenvolvimento-Etimo-de-frangos-de-corte-2018-02.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

Coelho, M. S. **Sistemas Supervisórios**. 2010. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-minas-gerais/electronica-analogica/apostila-sistema-supervisorio/5648098>. Acesso em: 18 ago. 2023

DA CONCEIÇÃO, Wellington Nogueira Elizeu; COSTA, Romualdo Monteiro de Resende. **Análise do Protocolo MQTT para Comunicação IoT através de um Cenário de Comunicação**. Caderno de Estudos em Sistemas de Informação, v. 5, n.2, 2019.

ELIAS, Denise. Agronegócio e novas regionalizações no Brasil. **Revista Brasileira de**

Estudos Urbanos e Regionais, v. 13, n. 2, p. 153, 2011. DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2011v13n2p153>. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/400>. Acesso em: 20 de set. 2023.

EMBRAPA (ed.). **Bem-estar animal na produção de suínos**. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina/producaode-suinos/bem-estar-animal>. Acesso em: 25 set. 2023.

EMBRAPA. **Manual de Segurança e Qualidade para a Avicultura de Postura**. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/111866/manual-de-seguranca-e-qualidade-para-a-avicultura-de-postura>. Acesso em: 25 set. 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOEKING, W. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. Revista O Setor Elétrico, Brasil, v. 52, p3-16, mai. 2010.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa**. 8^o. Ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GOMES, D. B. de C.; ALMEIDA, D. R. de; BARRETO, R. F.; RUBIM, R. B.; TOLEDO, S. M. de. **Sistema caipira de criação de frango de corte**. Brasília, DF: SDR: EMATER-DF, 1998. 55p.

HY-LINE INTERNATIONAL (Brasil). **Guia de manejo: hy-line brown poedeiras comerciais. HY-LINE BROWN POEDEIRAS COMERCIAIS**. 2018. Disponível em: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20POR.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

Jones, M. **Poultry Environment Problems: A Guide to Solutions**. Nottingham University Press, 2015.

LAZIA, B. **Principais sistemas de criação de frango e galinha caipiras**. 2012. Disponível em: <https://www.portalagropecuaria.com.br/avicultura/principais-sistemas-de-criacao-de-frango-e-galinha-caipiras>. Acesso em: 19 ago 2023.

MORAES, Caique Bueno de. **As tecnologias de automatização e controle, aplicadas aos aviários**. 2016. 32f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Jaguariúna – Curso de Engenharia de Automação, 2016.

MQTT.ORG. **Frequently Asked Questions**. MQTT.ORG, 2014. Disponível em: <http://mqtt.org/>. Acesso em: 03 set. 2023.

NORTH, M.O.; BELL, D.P. **Commercial chicken production manual**. 4.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 913p.

OLIVEIRA, M.E. **Desenvolvimento de sistema automatizado de monitoramento de ambientes de produção animal, utilizando uma rede de sensores sem fio**. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Curso de Zootecnia, 2015.

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU: do pisca led à internet das coisas**. Porto Alegre: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), 2021. 201 p. Disponível em: <https://pt.calameo.com/books/005647350c64b126c49b1>. Acesso em: 15 set. 2023.

PONCIANO, P. *et al.* **Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão**. 2011. Disponível em: <https://professormarcosaurelio.com.br/wp-content/uploads/2017/08/7-3-59-Analise-logica-fuzzy.pdf>. Acesso em 15 ago. 2023.

SAP. **IloT vs IoT**. Disponível em: <https://www.sap.com/brazil/products/scm/industry-4-0/what-is-iiot.html>. Acesso em 17 ago. 2023.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.