

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL
CAMPUS DESCALVADO**

JULIANA CAMPOS TAVARES

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL
PARA VERIFICAR O CONFORTO TÉRMICO DE AVES DE
PRODUÇÃO**

**DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A MOBILE DEVICE TO
VERIFY THE THERMAL COMFORT OF POULTRY**

Descalvado – SP

2024

JULIANA CAMPOS TAVARES

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL
PARA VERIFICAR O CONFORTO TÉRMICO DE AVES DE
PRODUÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Profa. Dra. Sarah Sgavioli
Orientadora

Profa. Dra. Käthery Brennecke
Coorientadora

Descalvado – SP
2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

T23d Tavares, Juliana Campos
Desenvolvimento e validação de dispositivo móvel para verificar o conforto térmico de aves de produção / Juliana Campos Tavares. – Descalvado: Universidade Brasil, 2024.
61f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Sarah Sgavioli.

Coorientadora: Prof. Dra. Käthery Brennecke.

1. Ambiência. 2. Bioclimatologia. 3. Sensor. 4. Zootecnia de precisão.
I. Título.

CDD 636.5
591.7



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

TERMO DE APROVAÇÃO

JULIANA CAMPOS TAVARES

**“DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL PARA
VERIFICAR O CONFORTO TÉRMICO DE AVES DE PRODUÇÃO”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre no Programa de Mestrado em Produção Animal** da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dra. Sarah Sgavioli (presidente-orientadora)

Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira (UNIVERSIDADE BRASIL)

gov.br

Documento assinado digitalmente
JEAN KAIQUE VALENTIM
Data: 30/08/2024 10:22:47-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Jean Kaike Valentim (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA)

Descalvado/SP, 30 de agosto de 2024
Presidente da Banca Prof. Dra. Sarah Sgavioli

Houve alteração do Título: sim () não (



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respectivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: “DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO MÓVEL PARA VERIFICAR O CONFORTO TÉRMICO DE AVES DE PRODUÇÃO”

Houve alteração do Título: sim () não :

Autor(es):

Discente: **Juliana Campos Tavares**

gov.br

Documento assinado digitalmente

JULIANA CAMPOS TAVARES

Data: 01/09/2024 21:08:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura: _____

Orientador(a): **Profa. Dra. Sarah Sgavioli**

Assinatura: _____

Coorientador(a): **Profa. Dra. Käthery Brennecke**

Assinatura: _____

Data: 30/08/2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor incondicional e encorajamento constante, e a Deus que glorifica nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que iluminou meu caminho durante esta jornada de mestrado, capacitando-me a alcançar este marco em minha vida acadêmica.

À minha família, fonte de amor e apoio incondicional.

À minha orientadora, pelo incentivo, orientação e sabedoria compartilhada ao longo desta jornada acadêmica.

“Não são os mais fortes que sobrevivem, nem os mais inteligentes, mas sim os que melhor se adaptam às mudanças.”

Charles Darwin

RESUMO

Na avicultura, o conforto térmico está relacionado às condições de ambiência das instalações comerciais, níveis ideais garantem a expressão do máximo potencial genético das aves, o que favorece o desempenho e o bem-estar. O objetivo deste estudo foi desenvolver e validar um dispositivo móvel que visa mensurar variáveis ambientais, calcular índices, classificar o conforto das aves de produção (frangos de corte, galinhas poedeiras comerciais e matrizes) em diferentes idades e validar o equipamento. O sistema foi baseado no desenvolvido de um dispositivo portátil de baixo custo para medir variáveis ambientais, como temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, temperatura do globo negro e ponto de orvalho, além de, calcular índices de conforto térmico. Foram coletadas as variáveis ambientais com dois dispositivos móveis (comercial e o desenvolvido nesse projeto), para validação do equipamento. O dispositivo móvel se mostrou eficaz e foi capaz de mensurar as variáveis, calcular os índices, avaliar o conforto térmico das aves e propor manejos para ajustar a ambiência das instalações, de acordo com a idade e a linhagem das aves. Com relação a validação, o equipamento pode ser utilizado mediante a inserção das equações na programação, para ajuste. No entanto, é necessário que o dispositivo seja validado com relação à velocidade do ar, a concentração de dióxido de carbono e a pressão atmosférica, em estudos futuros. O desenvolvimento do dispositivo móvel de baixo custo pode ser considerado uma solução alternativa de baixo custo para avaliações e monitoramento do conforto térmico em aves de produção, contribuindo para o desempenho e bem-estar, além de permitir o ajuste da ambiência das instalações conforme necessário.

Palavras-chave: Ambiência; Bioclimatologia; Sensor; Zootecnia de Precisão.

ABSTRACT

In poultry farming, thermal comfort is related to environmental conditions in commercial facilities, where ideal values ensure the development of the birds' maximum genetic potential, promoting performance and welfare. The aim of this study was to develop and validate a mobile device to measure environmental variables, calculate indices, classify the comfort of poultry production (broilers, commercial layers and breeders) at different ages and validate the device. The system was based on the development of a low-cost portable device to measure environmental variables such as dry-bulb temperature, relative humidity, air velocity, black-bulb temperature and dew point, and to calculate thermal comfort indices. The environmental variables were collected using two mobile devices (a commercial one and the one developed in this project) to validate the equipment. The mobile device proved to be effective and was able to measure the variables, calculate the indices, evaluate the thermal comfort of the birds and propose management adjustments to optimize the environment of the facility according to the age and breed of the birds. In terms of validation, the device can be used to integrate the equations into the programming for adaptation. However, the device needs to be validated in future studies in terms of flight speed, carbon dioxide concentration and atmospheric pressure. The development of the low-cost mobile device can be considered as an alternative solution for the assessment and monitoring of thermal comfort in breeding birds, contributing to the performance and welfare of the animals and also allowing the environment of the facility to be adapted as required.

Keywords: Ambience; Bioclimatology; Sensor; Precision Animal.

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

Este trabalho apresenta um dispositivo móvel desenvolvido para produtores de aves comerciais (frangos de corte, galinhas poedeiras comerciais e matrizes), com o objetivo de mensurar a ambiência das instalações e propor manejos para garantir às aves conforto térmico, melhor desempenho e bem-estar.

O dispositivo permite que os produtores mensurem dados do ambiente local, como temperatura do bulbo seco, do globo negro e do ponto de orvalho, velocidade do ar, pressão atmosférica e concentração de dióxido de carbono, além de, utilizar essas informações para calcular índices de conforto térmico direcionados à avicultura.

Mediante a inserção de dados relacionados à localização da instalação, idade e linhagem das aves, o dispositivo é capaz de classificar a condição de ambiência das aves e a partir desta informação sugerir manejos ao produtor, mediante aos equipamentos disponíveis na instalação, com o objetivo de restabelecer a ambiência ideal na instalação.

Portanto, evita prejuízos econômicos e garante o bem-estar das aves. Além disso, oferece o uso de tecnologia de baixo custo como apoio aos avicultores em suas atividades.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sensor DHT22	16
Figura 2	Sensor de detecção de dióxido de carbono.....	17
Figura 3	Sensor barométrico digital de pressão.....	18
Figura 4	Sistema de processamento do dispositivo.....	20
Figura 5	Passos do desenvolvimento do dispositivo.....	24
Figura 6	Mensurações das variáveis ambientais realizadas pelo aparelho comercial e pelo dispositivo desenvolvido na Universidade Brasil (UB).....	34
Figura 7	Valores das variáveis ambientais após a calibração.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para frangos de corte	27
Tabela 2 Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para poedeiras comerciais.....	28
Tabela 3 Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para matrizes	30
Tabela 4 Tomada de decisão baseada na condição de conforto das aves.....	32
Tabela 5 Análises e calibração para a validação do dispositivo móvel em comparação do aparelho comercial: coeficiente de correlação (r^2), intercepto e declive	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM2302	Sensor de temperatura e umidade
BMP280	Sensor barométrico digital de pressão
BR	Brasil
CCS811	Sensor de gás de óxido metálico
CJMCU-811	Sensor de detecção de dióxido de carbono
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
CTR	Carga Térmica Radiante
R ²	Coefficiente de correlação
DHT22	Sensor de temperatura e umidade
ESP32	Série de placa de desenvolvimento
<i>et al.</i>	<i>et alii</i>
°C	Grau <i>Celsius</i>
H	Entalpia
<i>hPa</i>	<i>Hectopascal</i>
<i>HTML</i>	<i>HyperText Markup Language</i>
<i>https</i>	<i>Hyper Text Transfer Protocol Secure</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>IDE</i>	<i>Integrated Development Environment</i>
ITGU	Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
<i>GPS</i>	<i>Global positioning system</i>
<i>LoRa</i>	<i>Long range</i>
<i>MCU</i>	<i>Microcontroller</i>
<i>MHz</i>	<i>Megahertz</i>
mmHg	Milímetros de mercúrio
m s ⁻¹	Metro por segundo
<i>MySql</i>	<i>My Structured query Language</i>

n.	Número
NBR	Norma Brasileira
p.	Página
%	Porcentagem
<i>pdf</i>	<i>Portable Document Format</i>
<i>PHP</i>	<i>Personal Home Page</i>
ppm	Partes por milhão
TTGO2	Série de placa de desenvolvimento
SX1276	Modelo de placa de desenvolvimento
Ta	Temperatura do ar
TBS	Temperatura do bulbo seco
TGN	Temperatura do globo negro
TMR	Temperatura média radiante
TPO	Temperatura do ponto de orvalho
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UB	Universidade Brasil
UR	Umidade Relativa
Va	Velocidade do ar
v.	Volume
VDC	<i>Voltage Direct Current</i>
<i>Wi-Fi</i>	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	01
2	OBJETIVOS	03
2.1	OBJETIVO GERAL	03
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	03
3	REVISÃO DE LITERATURA	04
3.1	AMBIÊNCIA	04
3.2	HOMEOTERMIA	04
3.3	CONFORTO TÉRMICO	06
3.4	VARIÁVEIS AMBIENTAIS	07
3.4.1	Temperatura ambiente	07
3.4.2	Umidade relativa do ar	08
3.4.3	Velocidade do vento	09
3.4.4	Temperatura do globo negro	10
3.4.5	Ponto de orvalho	10
3.4.6	Concentração de dióxido de carbono	11
3.5	ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	11
3.5.1	Índice de temperatura e umidade	11
3.5.2	Índice de temperatura de globo e umidade	12
3.5.3	Carga térmica radiante	12
3.5.4	Entalpia	13
3.6	ZOOTECNIA DE PRECISÃO	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1	DISPOSITIVO MÓVEL	15
4.2	ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA AVES	18
4.3	PRINCÍPIOS DE PROCESSAMENTO	20
4.4	CUSTOS DO DISPOSITIVO	21
4.5	CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DO DISPOSITIVO MÓVEL	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO MÓVEL	23
5.2	CUSTOS DO DISPOSITIVO	24

5.3	INSERÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO NA PROGRAMAÇÃO	25
5.4	RECOMENDAÇÕES DE TEMPERATURA DE BULBO SECO, UMIDADE RELATIVA e CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARNOBO PARA AS AVES DE PRODUÇÃO.....	26
5.5	TOMADA DE DECISÕES	31
5.6	VISUALIZAÇÃO DOS DADOS EM <i>SMARTPHONES, NOTEBOOKS, TABLETS E DESKTOPS</i>	33
5.7	CALIBRAÇÃO.....	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Para obter a produtividade ótima dos animais permitindo a expressão do seu potencial genético é necessário proporcionar condições favoráveis na produção. A ambiência é importante, pois está diretamente relacionada com o desempenho, o bem-estar das aves e a qualidade do produto final. Envolve diferentes variáveis como a temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido, a umidade relativa do ar e a radiação (CÂNDIDO *et al.*, 2016). Há, ainda, outros fatores que afetam diretamente a ambiência, como a ventilação, que favorece o controle da umidade relativa do ar, sendo responsável pela retirada de gases nocivos como o dióxido de carbono (COBB, 2018).

Além dessas variáveis, para quantificar a ambiência das aves, faz-se a mensuração de alguns índices, dentre eles o Índice de Temperatura e Umidade – ITU (BUFFINGTON *et al.*, 1983); o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU (BUFFINGTON *et al.*, 1981); o Índice de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento – ITUV (FIORELLI *et al.*, 2010); a carga de térmica radiante (BOND e KELLY, 1955); e a Entalpia específica do ar (RODRIGUES *et al.*, 2011).

Na literatura, diversos são os estudos realizados com intuito de analisar a correlação dos índices de conforto térmico do ambiente com as respostas fisiológicas, desempenho zootécnico e bem-estar das aves. Trabalhos como os de Gomes (2011), Lima *et al.* (2007) e Carvalho *et al.* (2014), avaliaram as situações de conforto perante modelos de predição obtidos por Thom (1959). Em contrapartida, ao longo das últimas décadas, foi possível observar resultados discordantes ao buscar estabelecer faixas de conforto térmico para as aves nas diversas condições climáticas, seja no Brasil ou no exterior.

Estudos recentes criaram bancos de dados com faixas atualizadas e padronizadas quanto as recomendações das variáveis ambientais e dos índices de conforto térmico para aves, sintetizando os resultados encontrados por diversos autores (CASTRO JUNIOR e SILVA, 2020; RIBEIRO *et al.*, 2020; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2021).

A partir destes estudos, por meio da instalação de sensores que mensuram, registram e transmitem os dados, por meio de ferramentas tecnológicas, há a identificação de problemas relacionados às variáveis ambientais, com a avaliação dos resultados, como ferramenta para tomada de decisão do produtores ou de forma

automatizada (ALVES *et al.*, 2007; JÁCOME *et al.*, 2007; FIORELLI *et al.*, 2010; GOMES *et al.*, 2011; SARUBBI *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014; OLIVEIRA JÚNIOR, 2016).

Porém, na literatura, existem poucos equipamentos desenvolvidos (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2018; CASTRO JÚNIOR *et al.*, 2019; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2021) para mensurações *in loco*, em que são coletados dados, com a necessidade de programação e implantação dos sensores, com baixo custo e, portanto, acessível aos produtores. Dispositivos desenvolvidos com esse intuito, possibilitam que pesquisadores e produtores realizem a coleta de variáveis ambientais, com relevância quanto à ambiência onde as aves são criadas. Porém em muitos trabalhos, os dispositivos não integram transmissão de dados, nem realizavam avaliações da concentração de dióxido de carbono e da pressão atmosférica das instalações, com equipamentos portanto, com tecnologia inferior.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e validar um dispositivo móvel de baixo custo, para mensurar as variáveis ambientais, calcular os índices de conforto térmico e avaliar a ambiência de aves de produção (frangos de corte, galinhas poedeiras comerciais e matrizes), visando fornecer aos produtores uma ferramenta acessível e eficaz para gerenciar e otimizar as condições ambientais das instalações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um dispositivo móvel capaz de mensurar variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do globo negro, ponto de orvalho, e pressão atmosférica.
- Calcular índices relacionados ao conforto térmico de aves de produção: índice de temperatura e umidade, índice de temperatura do globo negro, carga térmica radiante e entalpia.
- Classificar a ambiência de instalações de aves de produção (frangos de corte, poedeiras comerciais e matrizes) em abaixo do ideal, ideal e acima do ideal e propor manejos para restabelecer as condições de conforto térmico.
- Calibrar e validar um dispositivo móvel para mensurar e avaliar a ambiência em instalações avícolas, com o uso de um aparelho comercial e regressões, com a necessidade futura de desenvolver sensores adicionais para a velocidade do ar e concentração de dióxido de carbono.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AMBIÊNCIA

Ambiência refere-se ao conjunto de condições e fatores do ambiente em que as aves são mantidas, com o objetivo de proporcionar um ambiente adequado para seu bem-estar, saúde e desempenho (MACARI e MAIORKA, 2017). Além disso, é caracterizada em função da determinação do conforto térmico, o que requer uma avaliação de variáveis ambientais, como temperatura, umidade relativa, concentração de poeira e de gases, velocidade do vento, luminosidade, densidade de criação das aves, além da limpeza e desinfecção dos aviários (MORAES *et al.*, 1999).

Na avicultura industrial, o ambiente está intimamente relacionado ao conforto térmico das aves, uma vez que, por serem animais homeotérmicos, têm sua temperatura corporal influenciada pelo ambiente a qual estão inseridos (SOUZA *et al.*, 2014). Desta forma, o ambiente interno dos aviários deve ser controlado para que as aves possam ser mantidas dentro da zona de conforto térmico, reduzindo efeitos térmicos negativos sobre a produção animal (CAMPOS *et al.*, 2013).

Na busca por maior produtividade e sucesso na atividade avícola, a interação animal e ambiente deve ser levada em conta, além dos valores de temperatura e umidade relativa do ar ideais para o desenvolvimento, produção e reprodução das aves (OLIVEIRA *et al.*, 1995).

Para o efetivo controle do ambiente, existem sistemas naturais (densidade, características das instalações como aberturas laterais, tipo de telhado, manejo de cortinas e recobrimento de áreas circunvizinhas e sombreamento) e os sistemas artificiais (uso de nebulizadores, ventiladores, refrigeração da água de beber, isolamento de canos, caixas d'água, entre outros). Portanto, é fundamental a escolha certa do sistema de produção, tipo de construção e estrutura, além do conhecimento das técnicas de manejo para reduzir os efeitos negativos do estresse térmico (COSTA *et al.*, 2012).

3.2 HOMEOTERMIA

Homeotermia é a capacidade de um organismo de manter uma temperatura corporal interna relativamente constante, independentemente das variações da temperatura ambiente (MACARI e MAIORKA, 2017). As aves são classificadas como

animais homeotermos, uma vez que têm a capacidade de manter a temperatura interna constante, apesar das flutuações térmicas do ambiente (RENAUDEAU *et al.*, 2011). Este processo de controle é conhecido como termorregulação, onde o balanço de energia térmica do animal é representado pelo balanceamento da produção de calor metabólico, do ganho de calor do ambiente pela radiação, convecção, condução e das perdas de calor para o ambiente através da transpiração e da respiração (MACARI e MAIORKA, 2017).

Sendo as aves animais homeotérmicos, o ambiente no interior das instalações deve ser controlado para que as aves possam ser criadas dentro em ambiente confortável, evitando efeitos negativos na produção animal (CÂNDIDO *et al.*, 2016). Em condições de alta temperatura, as aves alteram seu comportamento e a homeostase fisiológica em busca da termorregulação, diminuindo assim a temperatura corporal (MACARI e MAIORKA, 2017). As aves conseguem manter a temperatura corporal constante em aproximadamente 41,1°C, em condições de conforto térmico (ALBINO *et al.*, 2014).

Na tentativa de preservar a homeotermia corporal e se manter viva em ambientes de elevada temperatura, o desempenho produtivo das aves é reduzido, pois o funcionamento normal do seu metabolismo é alterado e maior parte de sua energia é destinada para a manutenção dos processos fisiológicos básicos (SILVA *et al.*, 2007). As aves têm baixa eficiência produtiva em condições de altas temperaturas, uma vez que 80% da energia ingerida é utilizada para tentar manter a homeostase (ABREU *et al.*, 2012).

De modo geral, diferentes tipos de aves reagem de forma semelhante ao estresse térmico, expressando alguma variação individual na intensidade e duração da resposta da tentativa de homeostase. Respostas fisiológicas ocorrem na tentativa de aumentar a dissipação de calor pelas aves quando a temperatura ambiental aumenta, incluindo taxa respiratória, temperatura cloacal, taxa metabólica, redução da ingestão de ração e taxa de postura (ALTAN *et al.*, 2003).

A manutenção da homeotermia nas aves é especialmente crítica, uma vez que a temperatura corporal influencia diretamente processos metabólicos, digestivos e imunológicos (VIEIRA, 2015). A faixa de temperatura ideal para o conforto térmico das aves varia de acordo com a fase do ciclo de vida, nas poedeiras, a temperatura ambiente ideal varia de 21 a 28°C (CASTILHO *et al.*, 2015), apesar de alguns autores

relatarem uma zona termo neutra que varia de 20 a 24°C para galinhas no período de produção de ovos (YANAGI *et al.*, 2011).

Para garantir a homeotermia, as instalações avícolas devem ser projetadas considerando fatores como isolamento térmico, ventilação eficiente e sistemas de aquecimento ou resfriamento, dependendo das condições climáticas locais. Estratégias que minimizem o estresse térmico, como a provisão de sombras, sistemas de resfriamento evaporativo e ajustes nos ciclos de iluminação, são implementadas para proporcionar um ambiente que favoreça a homeotermia (BEDIN, 2015).

Além disso, é fundamental monitorar continuamente as condições térmicas no interior das instalações por meio de tecnologias, como sensores de temperatura e sistemas de controle automatizado. Esses dispositivos são capazes de mensurar a temperatura e a umidade do ar, a velocidade do vento e a luminosidade da instalação e de forma automática ajustar o funcionamento dos equipamentos, o que contribui para a manutenção do ambiente térmico ideal para as aves (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

3.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico em avicultura é um aspecto crítico para a produção eficiente e o bem-estar das aves de produção, O controle do ambiente de criação animal é uma das principais necessidades para garantir o bem-estar das aves, visando maior produtividade e qualidade do produto final (TINÔCO *et al.*, 2004).

Quando as aves conseguem manter a temperatura corporal constante com taxa metabólica mínima e o menor gasto energético possível, considera-se que estejam em condição de zona de conforto térmico ou zona de termoneutralidade, ou seja, a proporção de energia metabolizável para termogênese é reduzida, enquanto a energia líquida destinada ao ganho corporal é aumentada (COSTA *et al.*, 2012).

A zona de conforto térmico das aves depende de diversos fatores, como: peso corporal, idade, estado fisiológico, tamanho do lote, densidade nutricional, genética, temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar (SANTOS *et al.* 2014)

A zona de conforto térmico ou termoneutralidade está delimitada entre os extremos denominados de temperatura crítica inferior e temperatura crítica superior (COSTA *et al.*, 2012). Ainda, existe uma zona de temperatura ambiental em que o animal consegue manter a sua homeotermia, porém necessitará de ajustes

fisiológicos para manter a temperatura corporal constante (MACARI e MAIORKA et al., 2017).

Abaixo da temperatura crítica inferior, o animal não consegue aporte de energia térmica suficiente para compensar as perdas, e acima de temperatura crítica superior, o organismo é incapaz de impedir a elevação de sua temperatura interna, ocorrendo hipotermia ou hipertermia, respectivamente (COSTA *et al.*, 2012).

Mudanças nas instalações que diminuam as condições de estresse térmico podem melhorar o conforto do animal, seu bem-estar e, conseqüentemente, a produção (JONES *et al.*, 2005).

Nos galpões convencionais o controle da temperatura ambiente pode ser realizado com aberturas laterais, manejo das cortinas, sombreamento das áreas ao redor da instalação, utilização de telhas que retém menos calor. Para instalações automatizadas é possível obter maior conforto da temperatura ambiente, por meio do uso de nebulizadores, ventiladores, refrigeração da água de beber, isolamento térmico de canos e caixas d'água, entre outros. Adequar o sistema de produção de acordo com as instalações, tipo de construção e estrutura, além das técnicas de manejo, são estratégias utilizadas para reduzir os efeitos negativos do estresse térmico (BAÊTA e SOUZA, 2010).

3.4 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

3.4.1 Temperatura ambiente

A temperatura é um dos fatores mais importantes no conforto térmico das aves. É fundamental manter a temperatura dentro de faixas ideais para a espécie e idade de ave em questão. Temperaturas excessivamente altas ou baixas podem causar estresse térmico, impactando negativamente o crescimento e a produção das aves (MACARI e MAIORKA, 2017).

Os impactos das altas temperaturas dentro das instalações avícolas incluem a redução da taxa de crescimento (BOTTJE e HARRISON, 1985) e alta mortalidade (YAHAV *et al.*, 1996), levando assim à redução da produtividade.

Em situação de estresse por frio, aves em desenvolvimento ou adultas, não alteram o consumo de ração, porém, a energia que serviria para deposição tecidual, uma parte significativa é usada para gerar incremento calórico, comprometendo o seu

desempenho zootécnico. Na fase pré inicial, baixas temperaturas, causam inibição do consumo de alimento, impactando o desenvolvimento corporal da ave durante as demais fases de criação, resultando em queda de desempenho, perda de peso, piora na conversão alimentar e desuniformidade do lote (ALMEIDA, 2012).

Alguns autores apontam que, entre os fatores ambientais, os térmicos são os que afetam diretamente as aves, pois comprometem sua função vital mais importante, que é a manutenção de sua homeotermia. Aves expostas a condições de alta temperatura ambiente modificam o comportamento e homeostase fisiológica tentando reduzir a temperatura do corpo (WELKER, 2008; BARBOSA FILHO, 2009).

Quando a temperatura ambiente se encontra abaixo da temperatura de conforto, o animal precisa produzir calor corporal (termogênese) e quando a temperatura ambiente se encontra acima da zona de conforto térmico, o animal precisa perder calor para o ambiente (termólise) e em ambos os casos irão utilizar a energia de manutenção para gerar ou dissipar calor, diminuindo a energia que seria utilizada para a produção e/ou reprodução (NAZARENO *et al.*, 2009),

3.4.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do aviário está relacionada à temperatura ambiente, ao fluxo de vapor de água que entra no galpão pelo sistema de ventilação, pelo sistema de resfriamento evaporativo e à quantidade de vapor de água proveniente de bebedouros das aves e dos dejetos (BAÊTA e SOUZA, 2010).

Níveis de umidade excessivamente altos podem ser prejudiciais para as aves, aumentando o risco de doenças respiratórias. Por outro lado, a falta de umidade pode causar desidratação. Manter os níveis de umidade dentro das faixas apropriadas é importante para garantir a máxima expressão genética das aves (MACARI e MAIORKA, 2017).

A manutenção da umidade relativa dentro da faixa ideal é alcançada por meio de práticas de manejo específicas e do uso de tecnologias apropriadas. Sistemas de ventilação eficientes desempenham um papel crucial na regulação da umidade, permitindo o controle adequado da entrada e saída de ar. Além disso, estratégias como o uso de substratos absorventes no solo e a adequada gestão do leito de cama contribuem para manter níveis ideais de umidade (DALÓLIO, 2016).

Na fase inicial da criação de frangos de corte, a umidade relativa não deve ultrapassar 70% (MELLUZI e SIRRI, 2009) e na fase final de produção, o adequado para frangos de corte é uma umidade relativa entre 50 e 70% (TINÔCO, 2004). A umidade relativa dentro dos aviários de poedeiras comerciais deve estar entre 40 e 80%, sendo que a produtividade das galinhas pode aumentar em ambientes com umidade relativa variando de 40 a 70% (FERREIRA, 2016).

A utilização de tecnologias de monitoramento, como sensores de umidade, permite um acompanhamento preciso das condições ambientais. A integração desses sensores com sistemas de controle automatizado possibilita ajustes rápidos em resposta a variações nas condições climáticas, garantindo a manutenção de níveis ideais de umidade relativa (FONSECA, 2018).

3.4.3 Velocidade do vento

A velocidade ideal do vento em galpões de aves comerciais pode variar dependendo de vários fatores, incluindo a idade das aves, a temperatura ambiente, a umidade relativa, o sistema de ventilação e o estágio de produção (criação ou produção de ovos) (COBB, 2018).

O objetivo principal da ventilação é fornecer ar fresco e controlar a umidade dentro do galpão. Uma ventilação insuficiente pode levar a concentrações excessivas de gases nocivos, como amônia e dióxido de carbono, além de um ambiente úmido que propicia o crescimento de patógenos (TINÔCO, 2001).

Os níveis recomendados de renovação do ar variam de acordo com a idade dos animais. Segundo o comitê científico da HUMANE FARM ANIMAL CARE – HFAC (2014) é estabelecido que a concentração de amônia à altura da ave deve ser inferior a 10 ppm e não deve exceder 25 ppm, exceto durante breves períodos em que a ventilação é afetada.

É recomendado também que os níveis de sulfureto de hidrogênio devem ser idealmente inferiores a 0,5 ppm e não devem exceder 2,5 ppm, os níveis de dióxido de carbono devem ser idealmente inferiores a 3000 ppm e não devem exceder 5000 ppm, a concentração de monóxido de carbono deve ser idealmente inferior a 10 ppm e não deve exceder 50 ppm e o sistema de ventilação e a velocidade do ar devem ser tais que mantenham as aves numa temperatura ambiente efetiva confortável e adequada à sua idade e ao seu estágio de crescimento (HFAC, 2014).

Ainda, nos climas em que isso for possível, a umidade relativa deve ser mantida entre 40 e 80% (faixa recomendada é de 50 a 75%); com isso, a ventilação promove dissipação do calor da ave para o ambiente, aumenta os níveis de oxigênio e reduz as concentrações de amônio e de dióxido de carbono no interior das instalações (BA-ÊTA et al., 2001).

3.4.4 Temperatura do Globo Negro

A temperatura do globo negro, também conhecida como temperatura do globo termométrico ou simplesmente "globo negro", é uma medida usada para avaliar o estresse térmico em ambientes onde a exposição ao calor é um fator relevante (SEVEGNANI, 1997).

A temperatura do globo negro é uma medida composta que leva em consideração vários fatores, incluindo a radiação solar direta que atinge o globo e aquece sua superfície, a temperatura do ar ambiente e a velocidade do vento, que afeta a perda de calor do globo (SEVEGNANI, 1997).

O instrumento usado para medir a temperatura do globo negro consiste em uma esfera de metal oca, pintada de preto, com um sensor de temperatura em seu interior. A superfície preta absorve a radiação solar e emite radiação térmica e o sensor mede a temperatura dentro da esfera (BUFFINGTON, 1981). Segundo Bedford e Warner (1934), o termômetro de globo negro indica efeitos combinados de radiação, convecção e sua influência sobre o organismo vivo.

3.4.5 Ponto de orvalho

O ponto de orvalho é uma medida da umidade do ar e representa a temperatura à qual o ar deve ser resfriado a pressão constante para que a umidade presente no ar se condense em forma de gotas de orvalho. Quando o ar é resfriado até atingir o ponto de orvalho, ele atinge 100% de umidade relativa, e a condensação se inicia (FAMIGLIETTI et al., 2018).

O ponto de orvalho é uma medida importante em meteorologia e climatologia, pois está relacionado à sensação de umidade no ar. Quanto mais próximo a temperatura do ar estiver do ponto de orvalho, mais úmido e desconfortável o ambiente é para as aves, pois a capacidade do ar de reter umidade diminui à medida

que a temperatura se aproxima do ponto de orvalho. Quando a temperatura do ar e o ponto de orvalho são próximos ou idênticos, a sensação de umidade é alta (DA SILVA e MAIA, 2013).

3.4.6 Concentração de dióxido de carbono

A mensuração da concentração de dióxido de carbono (CO₂) em aviários é importante para garantir o bem-estar das aves de criação, níveis inadequados de CO₂ podem afetar negativamente o ambiente interno e, conseqüentemente, a saúde e o desempenho das aves (MACARI e MAIORKA, 2017).

Os níveis de CO₂ aceitáveis em aviários geralmente variam de acordo a idade e a linhagem das aves, de acordo com os manuais de manejo das linhagens, de maneira geral, as concentrações de CO₂ devem ser mantidas abaixo de 3.000 ppm para garantir o bem-estar das aves (COBB, 2018).

3.5 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Vários índices têm sido utilizados para indicar o estresse térmico em animais de produção, como o Índice de Temperatura e Umidade, ITU (BUFFINGTON et al., 1983); o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade, ITGU (BUFFINGTON et al. 1981), carga térmica radiante e entalpia específica do ar.

3.5.1. Índice de Temperatura e Umidade

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi proposto por Buffington *et al.* (1983) e é resultante da associação das temperaturas de bulbo seco e umidade relativa e foi um dos primeiros índices descritos na literatura. Diante dessas informações, é possível calcular o ITU, que engloba informações sobre temperatura e umidade relativa para a caracterização de determinadas zonas bioclimáticas, que apresentam valores distintos, dentro e fora das instalações avícolas.

Considera-se situação de conforto o valor de ITU abaixo de 70 para animais domésticos enquanto valores acima de 78 são considerados estressantes (TAKAHASHI *et al.*, 2009). Apesar do ITU não levar em conta os efeitos da radiação, pode-

se empregá-lo na ausência de medições da temperatura do globo negro (VITORASSO e PEREIRA, 2009).

3.5.2 Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade

O Índice de temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) proposto por Buffington et al. (1981), o qual considera o efeito da radiação e apresenta a vantagem de incorporar diretamente em um único valor, os efeitos da temperatura do ar, umidade, velocidade do ar e radiação solar, na forma de temperatura de globo negro, sendo considerado o mais adequado para avaliar o ambiente térmico em que os animais estão expostos à radiação solar.

Criada para análises de bovinos, além das variáveis climatológicas de temperatura e umidade relativa do ar, e temperatura de ponto de orvalho, essa nova equação faz uso de uma medida denominada de temperatura de globo negro (BAÊTA e SOUZA, 1997).

Para frangos de corte, ambientes com temperaturas variando de 16 a 20°C têm um ITGU de 59 a 67 (ambiente frio), ambientes apresentando temperaturas em torno de 26°C têm um ITGU variando de 69 a 77 (ambiente confortável) enquanto ambientes com temperaturas oscilando de 32 a 36°C têm um ITGU entre 78 a 88 (ambiente quente) (MEDEIROS *et al.*, 2005).

Outros autores relataram que os limites inferiores e superiores do conforto térmico para frangos de corte com temperatura variando de 15°C a 26°C (BAÊTA e SOUZA, 2010) têm um ITGU entre 69,1 e 77,5, respectivamente (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2000). Em outro estudo, Oliveira *et al.* (2006) mencionam que os valores de ITGU confortáveis para aves de corte com uma semana de vida, estão incluídos na faixa entre $81,3 \pm 0,31$; para a segunda semana de vida é de 77 e que na terceira semana estão entre $74,9 \pm 1,65$.

3.5.3 Carga térmica radiante

Este indicador é usado para expressar a radiação total recebida pelo globo negro e todos os arredores em condições estáveis. Caracteriza-se por ser a radiação total recebida por um corpo em todo espaço circundante a ele. A carga térmica radiante (CTR) foi proposta por Esmay (1969) e adiciona a velocidade do vento em seus

cálculos. Segundo Bond e Kelly (1955), essa definição não engloba a troca líquida de radiação entre o corpo e o seu meio circundante, mas inclui a radiação incidente no corpo.

O produtor deve estar atento à incidência de CTR dentro e fora das instalações avícolas, utilizando telhados que reflitam a radiação recebida da atmosfera, visto que a material das coberturas é um dos principais fatores na incidência da CTR (SILVA e SEVEGNANI, 2001).

Além disso, sistemas de ventilação, nebulização e aspersão também são estratégias para minimizar os efeitos da CTR para que as temperaturas internas permaneçam dentro das faixas termo neutras para as aves (TINÔCO, 2001).

3.5.4. Entalpia

A Entalpia específica do ar é definida como a quantidade de energia do ar úmido por unidade de massa de ar seco (kJ/Kg de ar seco), correlaciona temperatura e umidade no ambiente, indicando a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor de água e é calculada de acordo com Rodrigues et al. (2011).

A entalpia é uma propriedade termodinâmica que ajuda determinar as faixas de conforto térmico para as aves (BARBOSA FILHO *et al.*, 2007). Segundo Vieira *et al.* (2010), a entalpia mede a quantidade total de energia no ar, incluindo não apenas a energia do sistema fechado como também a energia trocada no meio. Assim, justifica-se o uso da entalpia como índice de conforto térmico, haja vista seus conceitos físicos de trocas de calor entre os animais e o ambiente. Ao longo dos anos, vários intervalos de conforto térmico para aves de produção, baseados na entalpia, têm sido avaliados e descritos na literatura (ALVES, 2006; NAZARENO *et al.*, 2009; FERRAZ *et al.*, 2018) tornando este índice relevante na comunidade científica.

3.6. ZOOTECNIA DE PRECISÃO

A zootecnia de precisão é uma abordagem inovadora que integra o desenvolvimento de técnicas e tecnologias avançadas, visando otimizar o manejo e a produção animal. Em sinergia com a bioclimatologia, essa área tem um papel crucial no controle da ambiência das instalações, essencial para o bem-estar e desempenho das aves. A capacidade de avaliar e implementar mudanças construtivas ou

operacionais que proporcionem conforto térmico é fundamental, tanto do ponto de vista quantitativo, como a redução do consumo energético, quanto qualitativo, como a melhoria da saúde e desempenho das aves (CAMARGO et al., 2019).

O avanço da zootecnia de precisão possibilita a aplicação de novas tecnologias que, por meio da coleta e análise de dados em tempo real, oferecem aos produtores e pesquisadores ferramentas para uma gestão mais eficiente e sustentável. Tais tecnologias incluem sensores, câmeras e dispositivos portáteis que medem parâmetros como temperatura, umidade, qualidade do ar, e comportamento das aves. Esses dados são então processados e visualizados por meio de aplicativos, facilitando o monitoramento contínuo e permitindo ações corretivas imediatas, quando necessário (AJDO JÚNIOR et al., 2021).

Além da coleta de dados, a zootecnia de precisão enfatiza a importância de mensurar e validar esses fatores de maneira precisa, assegurando a confiabilidade das informações fornecidas pelos dispositivos. Isso é essencial para garantir que as decisões baseadas nesses dados sejam fundamentadas e eficazes. A correlação entre os dados obtidos e o desempenho real das aves permite ajustes finos na gestão, promovendo um ambiente mais saudável e produtivo.

Adicionalmente, a zootecnia de precisão facilita a implementação de estratégias de manejo personalizado, onde as necessidades individuais de cada lote ou mesmo de cada animal podem ser atendidas. Isso se traduz em uma maior eficiência no uso de recursos, como ração e água, e na redução do impacto ambiental da produção. O uso de big data e inteligência artificial na análise dos dados coletados possibilita a identificação de padrões e tendências que podem antecipar problemas e otimizar a produção.

Por fim, é importante destacar que a adoção de tecnologias de zootecnia de precisão pode representar um diferencial competitivo para os produtores, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental da produção. O desenvolvimento contínuo de novas ferramentas e metodologias é essencial para acompanhar as demandas crescentes por produtos de origem animal de alta qualidade, produzidos de forma ética e sustentável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Anterior a este projeto de pesquisa, foi conduzida uma revisão sistemática com o objetivo de examinar os índices de conforto térmico aplicados na avicultura, assim como os estudos que investigaram o uso de equipamentos e *softwares* para resolver desafios relacionados ao bem-estar térmico das aves em diferentes contextos de produção e estágios de desenvolvimento (CALDERARO, 2020; LIMA, 2022).

Em simultâneo, foi criado um dispositivo móvel com a capacidade de monitorar variáveis ambientais e calcular índices de conforto térmico para aves. Foram avaliadas as recomendações com relação às variáveis ambientais, mediante os manuais de manejo das linhagens, de acordo com a idade e a linhagem das aves. Também foram investigadas recomendações quanto aos valores dos índices de conforto para aves de produção (ADORNO, 2022; BORTOLETTO NETO, 2022).

No entanto, esta versão do dispositivo não integrava transmissão de dados, nem realizava avaliações da concentração de dióxido de carbono e da pressão atmosférica das instalações, bem como estes valores não haviam sido considerados nas recomendações. Além disso, no trabalho desenvolvido anteriormente, não foi realizada a validação e calibração do dispositivo em ambiente controlado.

Paralelo a esse projeto de pesquisa foi desenvolvida uma dissertação, onde foi apresentado o *software Poultry Ambience*, acessível pelo site <www.pmppa.com.br/aves>, que é capaz de importar as informações mensuradas pelo dispositivo móvel. Na plataforma o produtor é capaz de selecionar a linhagem das aves, inserir a idade de nascimento e cadastrar a propriedade (MARINI, 2024).

4.1. DISPOSITIVO MÓVEL

O dispositivo móvel desenvolvido é composto por um módulo central que utiliza sensores para medir variáveis ambientais. O painel de desenvolvimento, que inclui uma antena e um módulo TTGO 2 ESP32 LoRa 868/915Mhz com o LED 0.96" (Shenzhen, Guangdong, China), que possibilita a transmissão dos dados para a internet em formato de nuvem, baseando-se em um chip SX1276. Este painel apresenta funcionalidades de *wi-fi* e *bluetooth* integradas a um módulo receptor LoRa 868 MHz. O dispositivo foi projetado em conformidade com os padrões de instalações

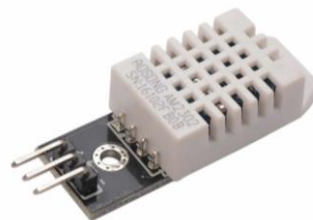
elétricas, em baixa tensão estabelecidos pela norma brasileira NBR 5410 (ABNT, 2004).

Por meio desta plataforma de desenvolvimento, foi possível programar rotinas para a leitura dos sinais provenientes de todos os sensores, utilizando tanto as portas digitais quanto as analógicas. Para viabilizar a obtenção e tratamento dos dados ambientais mensurados, bem como o cálculo dos índices de conforto térmico para as aves de produção, foi desenvolvido um programa em Linguagem C++, que foi carregada no microcontrolador do dispositivo. As rotinas do dispositivo foram implementadas utilizando a linguagem de programação C++.

O dispositivo foi desenvolvido para mensurar as variáveis ambientais: temperatura de bulbo seco (°C), temperatura de globo negro (°C), temperatura de ponto de orvalho (°C), umidade relativa do ar (%), pressão atmosférica (hPa) e concentração de dióxido de carbono (ppm).

Para realizar as medições de temperatura de bulbo seco, temperatura do globo negro e umidade relativa do ar, utilizou-se o módulo sensor DHT22 (modelo DHT22, ADAFRUIT, Joinville, Santa Catarina, Brasil). Este sensor (Figura 1) possui um termistor NTC para as medições de temperatura e um elemento capacitivo para as medições de umidade relativa. Possui uma resolução de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para as medições de temperatura de bulbo seco, com uma faixa de operação entre -40°C e 80°C . Quanto à umidade relativa, sua resolução é de $\pm 2\%$, com uma faixa de operação de 0–100%. O sensor opera com uma tensão DC de 3,3–5,5 V, com um consumo médio de 300 μA .

Figura 1 – Módulo sensor DHT22



Fonte: AliExpress (2023).

Para mensuração da temperatura do globo negro, foi utilizada uma caneca de alumínio Arprex, modelo ARPRES 5 (com um volume de tanque de 125 mL, fabricada pela Arprex®, em Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil), com um sensor DHT22 em

seu interior. A mesma foi pintada com duas demãos de tinta spray preto fosco e desenvolvida e calibrada, anteriormente por Brennecke *et al.* (2023).

Foi instalado um sensor de gás (Figura 2) como parte do sistema. O sensor de detecção de dióxido de carbono (modelo CJMCU-811 CCS811, fabricado pela Aitewin Robot, China) é um sensor de gás digital de ultrabaixa potência que combina um sensor e um microcontrolador CCS801-bit, junto com um conversor analógico-digital (ADC). Com tensão de operação: 1,8-3,3 V; corrente operacional média: 30 mA; temperatura ambiente operacional: -40°C – 85°C e faixa de detecção de monóxido de carbono: 400 ppm - 29.206 ppm.

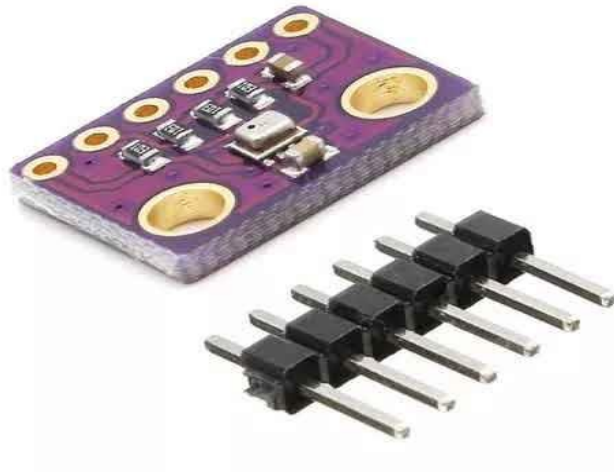
Figura 2 - Sensor de detecção de dióxido de carbono



Fonte: AliExpress (2023).

Outro sensor integrado ao dispositivo foi o sensor barométrico digital de pressão (Figura 3) (BMP280, Adafruit Industries, Nova York, Estados Unidos). Este sensor é equipado com comunicação I2C e é compatível com uma variedade de microcontroladores. Possui tensão de operação de 3,3VDC; faixa de temperatura de -40 a 85°C; faixa de pressão de 300 a 1100 hPa; precisão da temperatura de 1°C e precisão da pressão de 0,12 hPa.

Figura 3 - Sensor barométrico digital de pressão



Fonte: Mercado Livre (2023).

A temperatura de ponto de orvalho pode ser calculada utilizando a Equação 1, que depende da temperatura e da umidade relativa do ar (LAWRENCE, 2005; ALDUCHOV e ESKRIDGE, 1996).

Equação 1 - Temperatura de ponto de orvalho

$$T_{po} = \frac{B1 \left[\ln\left(\frac{UR}{100}\right) + \frac{A1 \times Ta}{B1 + Ta} \right]}{A1 - \ln\left(\frac{UR}{100}\right) - \frac{A1 \times Ta}{B1 + Ta}} \text{ (Equação 1)}$$

Na Equação 1, T_{po} é a temperatura de ponto de orvalho (°C), UR é umidade relativa do ar (%), T_a é a temperatura do ar (°C), $A1 = 17,625$ e $B1 = 243,04$.

4.2. INDICES DE CONFORTO TÉRMICO PARA AVES

Os índices de conforto térmico calculados a partir das variáveis ambientais foram:

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) utilizado para avaliar o conforto térmico dentro das instalações de aves, seguindo a Equação 2, proposta por Buffington *et al.* (1983).

Equação 2 - Índice de Temperatura e Umidade

$$ITU = 0,8 \times T_a + \frac{UR \times (T_a - 14,3)}{100} + 46,3 \text{ (Equação 2)}$$

Na Equação 2, T_a é temperatura ambiente (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%).

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), conforme a Equação 3 (BUFFINGTON *et al.*, 1981):

Equação 3 - Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 \cdot T_{po} + 41,5 \text{ (Equação 3)}$$

Na Equação 3, T_{gn} é a temperatura de globo negro (°C) e T_{po} é a temperatura de ponto de orvalho (°C).

A carga térmica radiante (CTR) é calculada de acordo com a equação 4 proposta por Esmay (1969), utilizando a temperatura média radiante (TMR) calculada pela equação 5, proposta por Bond e Kelly (1955):

$$CTR = \sigma (TMR)^4 \text{ (Equação 4)}$$

Onde, TMR é a temperatura média radiante e $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ K}^{-4} \cdot \text{W/m}^2$ (Constante de Stefan-Boltzmann).

$$TMR = 100 \sqrt[4]{2,51\sqrt{V}(T_{gn} - T_{bs}) + \left(\frac{T_{gn}}{100}\right)^4} \text{ (Equação 5)}$$

Onde, V é a velocidade do vento (m/s), T_{gn} é a temperatura de globo negro (K) e T_{bs} é a temperatura de bulbo seco (K).

A entalpia específica do ar (h) foi calculada de acordo com Rodrigues *et al.* (2011), por meio da Equação 6.

Equação 6 - Entalpia do ar

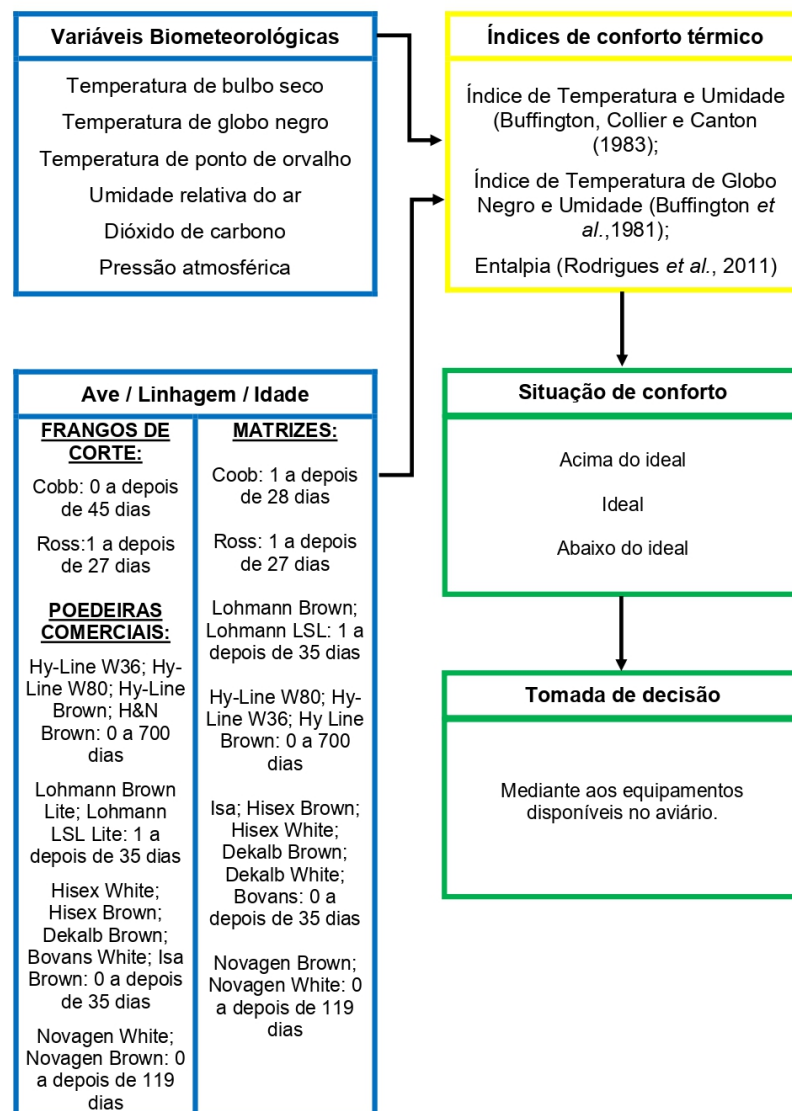
$$h = 1,006T + \left(\frac{UR}{Pa}\right) \times 10^{\frac{7,5T}{237,3+T}} \times (71,28 + 0,052T) \text{ (Equação 6)}$$

Na Equação 7, h é a entalpia (kJ/kg de ar seco), T é a temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), UR é a umidade relativa (%), P_a é a pressão atmosférica (mmHg), obtida por meio do sensor.

4.3. PRINCIPIOS DE PROCESSAMENTO

O princípio lógico para diagnosticar o estresse térmico das aves foi baseado em princípios psicrométricos e nos índices de conforto térmico. As entradas (caixa em azul), processamento (caixa em amarelo) e saída (caixa em verde) estão representadas na Figura 4.

Figura 4 - Sistema de processamento do dispositivo



O primeiro conjunto de entrada corresponde à seleção das linhagens das aves e suas respectivas idades. As propriedades psicrométricas do ar foram incorporadas como dados de entrada, considerando a temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro, temperatura de ponto de orvalho, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e dióxido de carbono.

Para o processamento interno do dispositivo, utilizou-se equações que calculam os índices de conforto térmico para as aves: índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) e entalpia (h).

Os intervalos ideais (acima, ideal e abaixo) para todas as variáveis ambientais e os índices calculados foram definidos por meio dos Manuais de Manejo das linhagens de frangos de corte, poedeiras comerciais e matrizes, bem como por trabalhos acadêmicos. Como mencionado anteriormente, essa definição foi realizada em uma dissertação que ocorreu paralelamente a este estudo. No entanto, os valores encontrados foram incorporados ao banco de dados do *software* que foi desenvolvido, sendo atualizados somente os valores para as recomendações de concentração de dióxido de carbono.

Além disso, o dispositivo é capaz de sugerir possíveis manejos para corrigir problemas e estabelecer o conforto térmico, com base em uma árvore de decisão, utilizando os equipamentos disponíveis na instalação comercial.

4.4. CUSTOS DO DISPOSITIVO

Foi calculado o custo para o desenvolvimento do dispositivo em reais, para posterior conversão em dólares. Consideraram-se, os valores dos componentes eletrônicos, a caneca Arpex, o carregador portátil, o carregador USB e a caixa em acrílico. É importante mencionar que o custo de fabricação, incluindo mão de obra, não foi considerado na criação do dispositivo portátil.

4.5. CALIBRAÇÃO DOS SENSORES DO DISPOSITIVO MÓVEL

Os sensores do dispositivo móvel foram calibrados contra um sensor de referência durante a aquisição dos dados. O aparelho comercial denominado AKROM KR911 (modelo KR911, AKROM, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil), foi

realizado para tal finalidade, as mensurações foram realizadas no laboratório de Desenvolvimento Computacional e Microeletrônica da Universidade Brasil, Descalvado – SP.

Os dados foram coletados entre os dias 13 e 15 de maio de 2022, em um período de oito horas, das 08h00 às 16h00 horas, com aferições realizadas a cada dez minutos dentro de cada hora, totalizando um total de 1.323 dados, seguindo metodologia adaptada de Oliveira Júnior *et al.* (2018). A verificação da eficácia da calibração foi realizada aplicando as funções obtidas da regressão linear nas medições.

Para este procedimento foi realizado o método de regressão linear, ou seja, ajustou-se uma equação linear ($y = A + Bx$), onde: y são os valores de referência, A é o intercepto, B é a inclinação e x os valores medidos, conforme metodologia adaptada de Oliveira Júnior *et al.* (2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO MÓVEL

O dispositivo móvel foi desenvolvido por meio de um protótipo criado com uma caixa desenhada na Plataforma Tinkercad, um programa de montagem tridimensional online. Nesta caixa, foram criados oito orifícios para encaixar os sensores e o display usados neste protótipo. Após o desenho, a caixa foi salva em uma plataforma chamada Cura e confeccionada em acrílico por um terceirizado.

Dentro da caixa, foi instalado o painel de desenvolvimento TTGO 2 ESP32 para transmitir os dados via *wi-fi* ou *bluetooth*. Nos orifícios desenhados, foram inseridos os sensores de temperatura e umidade, o sensor de temperatura do globo negro, o sensor barométrico digital de pressão e o sensor de medição de dióxido de carbono. Esses sensores foram conectados por fios ao painel de desenvolvimento ESP32 para possibilitar a medição e o envio dos dados para essa plataforma.

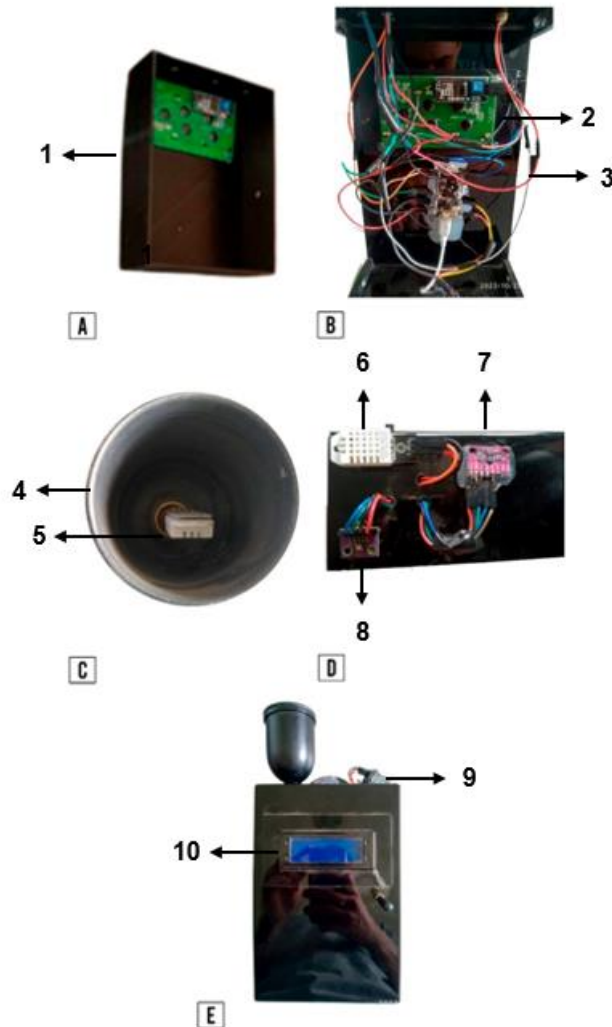
Para alimentar o equipamento, foi utilizado um carregador de celular com entrada de 110/220V e saída USB de 5V e 2,1 amperes, conectado a um cabo micro USB que se conecta ao ESP32, fornecendo energia ao dispositivo. Para uso móvel, foi empregado um *Power Bank* universal de 20.000mAh com duas saídas. Considerando que o equipamento consome, em média, 280mA de corrente, estima-se que o dispositivo possa operar por cerca de 71,4 horas com uma única carga.

O display LCD foi conectado ao ESP32 através das portas SDA (21), SCL (22), 5V e GND. O sensor DHT foi ligado às portas 5V, GND e ao pino 16, enquanto o sensor DHT responsável pela medição da temperatura do globo negro foi conectado às portas 5V, GND e ao pino 17. O sensor CJMCMU-811 foi integrado às portas GND, 5V, SDA (21) e SCL (22). O sensor de pressão atmosférica BMP280 foi conectado às portas 5V, GND, SCL (21) e SDA (22). Por fim, o anemômetro foi ligado às portas 5V, GND e 35.

A Figura 5 demonstra a montagem do equipamento. Na letra A, a caixa de acrílico (1). Na letra B, o painel de desenvolvimento ESP32 (2), instalado juntamente com os cabos que se conectam diretamente aos sensores (3). Na letra C, a caneca de alumínio preto fosco (4) adicionada com o sensor DHT22 (5) em seu interior. Na letra D, o outro sensor DHT22 de temperatura e umidade instalado (6), juntamente com o sensor de medição de dióxido de carbono (7) e o sensor barométrico digital de

pressão (8). Na letra E, os sensores já inseridos na caixa de acrílico (9) e o display do protótipo posicionado na parte superior da caixa de acrílico (10).

Figura 5 - Passos do desenvolvimento do dispositivo



Fonte: Lopes (2023).

5.2. CUSTOS DO DISPOSITIVO

O custo total para a criação do dispositivo portátil foi de aproximadamente R\$ 601,00, convertido em US\$ 107,51 (um dólar à R\$ 5,59), considerando os componentes eletrônicos, a caneca Arpex, o carregador portátil, o carregador USB e a caixa em acrílico. É importante mencionar que o custo de fabricação, incluindo mão de obra, não foi considerado na criação do dispositivo portátil.

Os componentes e seus custos foram os seguintes: um sensor de detecção de gás (R\$ 48,93), um cabo USB (R\$ 14,02), um módulo display I2C LCD (R\$ 16,76), um carregador tipo C (R\$ 21,05), um sensor de pressão atmosférica (R\$ 7,03), uma placa de desenvolvimento ESP32 LORA (R\$ 156,63), dois sensores de umidade e temperatura (R\$ 16,24), uma caixa de acrílico (R\$ 140,00), o carregador portátil (R\$ 73,00), o carregador UBS (R\$ 38,36) e a caneca de alumínio (R\$ 68,98).

Oliveira Júnior *et al.* (2021) desenvolveram um equipamento capaz de medir variáveis ambientais e calcular índices de conforto térmico para animais de produção com um custo de US\$ 25,00.

Oliveira Júnior *et al.* (2018) desenvolveram um dispositivo sem transmissão dos dados via *wi-fi* por um custo de US\$ 58,00, incluindo o aplicativo para visualização dos resultados. Este custo mais baixo foi possível devido ao valor das peças, como o microcontrolador Arduino Mega 2560 comprado por US\$ 10,00 e o sensor DHT22 por US\$ 5,28.

Em ambos os trabalhos, os dispositivos não integravam transmissão de dados, nem realizavam avaliações da concentração de dióxido de carbono e da pressão atmosférica das instalações, com equipamentos portanto, inferiores em custo, no entanto, também com tecnologia inferior.

Por outro lado, Carvalho *et al.* (2014) desenvolveram métodos para análise do conforto térmico utilizando sensores eletrônicos e um dispositivo de armazenamento de dados. O custo do dispositivo para a mensuração e análise de conforto térmico variou entre US\$ 217,00 e US\$ 375,00. Portanto, o dispositivo desenvolvido neste projeto obteve uma redução significativa de custos em comparação com os equipamentos convencionais para análise de conforto térmico

Ao comparar o investimento aplicado na construção do dispositivo móvel, sua mobilidade e a tecnologia utilizada, é evidente o ganho significativo em relação ao custo total do equipamento e à capacidade de avaliação *in loco* concedida pelo dispositivo.

5.3. INSERÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS E DOS ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO NA PROGRAMAÇÃO

A obtenção da temperatura de ponto de orvalho foi realizada por meio da Equação 1, que foi incorporada à programação do painel de desenvolvimento ESP32

por meio da variável "double", que é um número racional armazenado em um sistema de ponto flutuante de 64 bits, com 53 bits para a mantissa, 11 para o expoente e 1 para o sinal.

Os índices de conforto térmico também foram calculados por meio de fórmulas e inseridos na plataforma ESP por meio da variável "double". Além disso, foram incluídas as recomendações para os intervalos ideais dos índices de conforto térmico e das variáveis meteorológicas, bem como a tomada de decisão por meio da estrutura condicional "if". Após a montagem do dispositivo, a programação que guia o funcionamento do ESP foi desenvolvida em linguagem C++ e carregada na placa ESP.

5.4. RECOMENDAÇÕES DE TEMPERATURA DE BULBO SECO, UMIDADE RELATIVA E CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA AS AVES DE PRODUÇÃO

Foram elaboradas tabelas com as recomendações de manejo para os intervalos ideais das variáveis meteorológicas de temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR) e concentração de dióxido de carbono (CO₂), seguindo a descrição dos manuais de manejo das linhagens de frangos de corte (Tabela 1), poedeiras comerciais (Tabela 2) e matrizes (Tabela 3).

Tabela 1 - Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para frangos de corte

Linhagem	Recomendação das variáveis ambientais
Cobb	TBS (°C): 14 – 33 UR (%): 40 – 70 CO ₂ (ppm): 3.000
Ross	TBS (°C): 19,7 – 33,5 UR (%): 40 – 70 CO ₂ (ppm): 3.000

Fonte: Adaptado de Adorno (2022).

Tabela 2 - Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para poedeiras comerciais

Linagem	Recomendação das variáveis ambientais
Hy-Line W36	TBS (°C): 18 – 33
	UR (%): 40 a 60
	CO ₂ (ppm): 5.000
Hy-Line W80	TBS (°C): 18 – 36
	UR (%): 40 – 60
	CO ₂ (ppm): 5.000
Hy-Line Brown	TBS (°C): 18 – 36
	UR (%): 40 – 60
	CO ₂ (ppm): 5.000
Lohmann Brown Lite	TBS (°C): 18 – 36
	UR (%): 60 – 70
	CO ₂ (ppm): 3.000
H&N Brown	TBS (°C): 18 – 35
	UR (%): 50 – 70
	CO ₂ (ppm): 5.000
Lohmann LSL Lite	TBS (°C): 18 – 36
	UR (%): 60 – 70
	CO ₂ (ppm): 3.000
Hisex White	TBS (°C): 17 – 33
	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500
Hisex Brown	TBS (°C): 17 – 33
	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500
Dekalb Brown	TBS (°C): 17 – 33
	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2500
Novogen White	TBS (°C): 17 – 30
	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500
Bovans White	TBS (°C): 17 – 33
	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500
Novogen Brown	TBS (°C): 17 – 30
	UR (%): 55 – 70
Isa Brown	TBS (°C): 17 – 33

UR (%): 55 – 70

CO₂ (ppm): 2.500

Fonte: Adaptado de Adorno (2022).

Tabela 3 - Intervalo de recomendações de temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e concentração de dióxido de carbono para matrizes

Linagem	Recomendação das variáveis ambientais
	TBS (°C): 18,3 – 31,8
Ross	UR (%): 60 – 70 CO ₂ (ppm): 3.000
Cobb	TBS (°C): 20 – 33 UR (%): 40 - 65 CO ₂ (ppm): 3.000
Lohmann Brown	TBS (°C): 18 – 37 UR (%): 60 – 70 CO ₂ (ppm): 3.000
Lohmann LSL	TBS (°C): 18 – 37 UR (%): 60 – 70 CO ₂ (ppm): 3.000
Hy-Line W80	TBS (°C): 18 – 36 UR (%): 40 – 70 CO ₂ (ppm): 5.000
Hy-Line W36	TBS (°C): 18 – 33 UR (%): 40 – 70 CO ₂ (ppm): 5.000
Hy-Line Brown	TBS (°C): 18 – 36 UR (%): 40 – 70 CO ₂ (ppm): 5.000
Isa	TBS (°C): 17 – 33 UR (%): 55 – 70 CO ₂ (ppm): 2.500
Novogen Brown	TBS (°C): 17 – 30 UR (%): 55 – 70
Novogen White	TBS (°C): 17 – 30 UR (%): 55 – 70
Hisex Brown	TBS (°C): 17 – 35 UR (%): 55 – 70 CO ₂ (ppm): 2.500
Hisex White	TBS (°C): 17 – 35 UR (%): 55 – 70 CO ₂ (ppm): 2.500
Dekalb Brown	TBS (°C): 17 – 35 UR (%): 55 – 70

	CO ₂ (ppm): 2.500
	TBS (°C): 17 – 35
Dekalb White	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500
	TBS (°C): 17 – 35
Bovans	UR (%): 55 – 70
	CO ₂ (ppm): 2.500

Fonte: Adaptado de Adorno (2022).

5.5. TOMADA DE DECISÕES

Com base nos princípios de processamento do dispositivo, foi possível diagnosticar a situação de conforto em três grupos distintos: acima do ideal (quando a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa e os índices de conforto térmico estão acima dos valores recomendados), ideal (quando esses parâmetros estão dentro dos valores recomendados) e abaixo do ideal (quando estão abaixo dos valores recomendados). Para a concentração de dióxido de carbono, foram definidas duas classificações: ideal, quando está abaixo do recomendado, e acima do ideal, quando o valor medido ultrapassa a recomendação específica da linhagem.

Com essas classificações em mente, foi incorporada à programação uma tomada de decisão que o produtor poderia adotar para melhorar a ambiência do aviário, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Tomada de decisão baseada na condição de conforto do aviário

Variável bioclimática/índice de conforto térmico	Condição aferida	Medida a ser tomada
Umidade relativa (UR)	Alta	Diminuir UR
Umidade relativa (UR)	Baixa	Aumentar UR
Temperatura do ambiente	Alta	Diminuir temperatura
Temperatura do ambiente	Baixa	Aumentar temperatura
Dióxido de carbono	Alto	Reduzir concentração de CO ₂
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	Alto	Diminuir temperatura
		Aumentar UR
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	Baixo	Aumentar temperatura
		Diminuir UR
Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)	Alto	Diminuir temperatura de globo negro
		Diminuir temperatura de ponto de orvalho
Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)	Baixo	Aumentar temperatura de globo negro
		Aumentar temperatura de ponto de orvalho
Entalpia (h)	Alta	Diminuir temperatura
		Diminuir UR
Entalpia (h)	Baixa	Aumentar temperatura
		Aumentar UR

Fonte: adaptado de Adorno (2022).

Após apuração e cálculo dos dados do dispositivo sobre as variáveis ambientais, o dispositivo mostra a tomada de decisão, permitindo que o produtor rural proceda com o manejo do aviário por meio dos equipamentos disponíveis. Esses equipamentos incluem:

- Aquecedores: responsáveis por fornecer calor de forma eficiente e homogênea para as aves durante os primeiros dias de vida.
- Ventiladores: utilizados para controlar a ambiência no interior de instalações com pressão positiva, auxiliando no controle da temperatura, umidade e gases.
- Exaustores: formam a corrente de ar dentro da instalação com pressão negativa, controlando a ambiência do galpão.

- Nebulizadores: responsáveis pelo controle da umidade nas instalações com pressão negativa.
- Placas evaporativas: parte do sistema de resfriamento, contribuem para o controle da ambiência em instalações com pressão negativa.
- Inlets: proporcionam melhor qualidade do ar no galpão sem impactar na sensação térmica das aves, favorecendo a troca de ar dentro de instalações com sistema de pressão negativa.
- Cortinas: instaladas nos aviários para evitar a penetração de sol e chuva, além de controlar a ventilação no interior da instalação.

5.6. VISUALIZAÇÃO DOS DADOS EM SMARTPHONES, NOTEBOOKS, TABLETS E DESKTOPS

Para possibilitar o monitoramento remoto dos índices de conforto térmico, o equipamento possui a função de visualização dos dados em *smartphones*, *notebooks*, *tablets* e *desktops*. Para isso, a função *wi-fi* do ESP32 é ativada. Quando o equipamento se conecta a *internet*, transmite as variáveis mensuradas para o servidor do *Poultry Ambience*, que é capaz de armazenar os dados recebidos em um banco de dados MySQL (MARINI, 2024). O intervalo entre as transmissões pode ser configurado e para os primeiros testes foi configurado o envio de cinco em cinco minutos.

5.7. CALIBRAÇÃO

Com base na coleta dos dados das variáveis ambientais e seus intervalos de tempo e período, foram desenvolvidos gráficos de regressão linear para comparar as variáveis ambientais mensuradas pelo dispositivo comercial e pelo desenvolvido pela Universidade Brasil, sem calibração e posteriormente calibrado, conforme necessário.

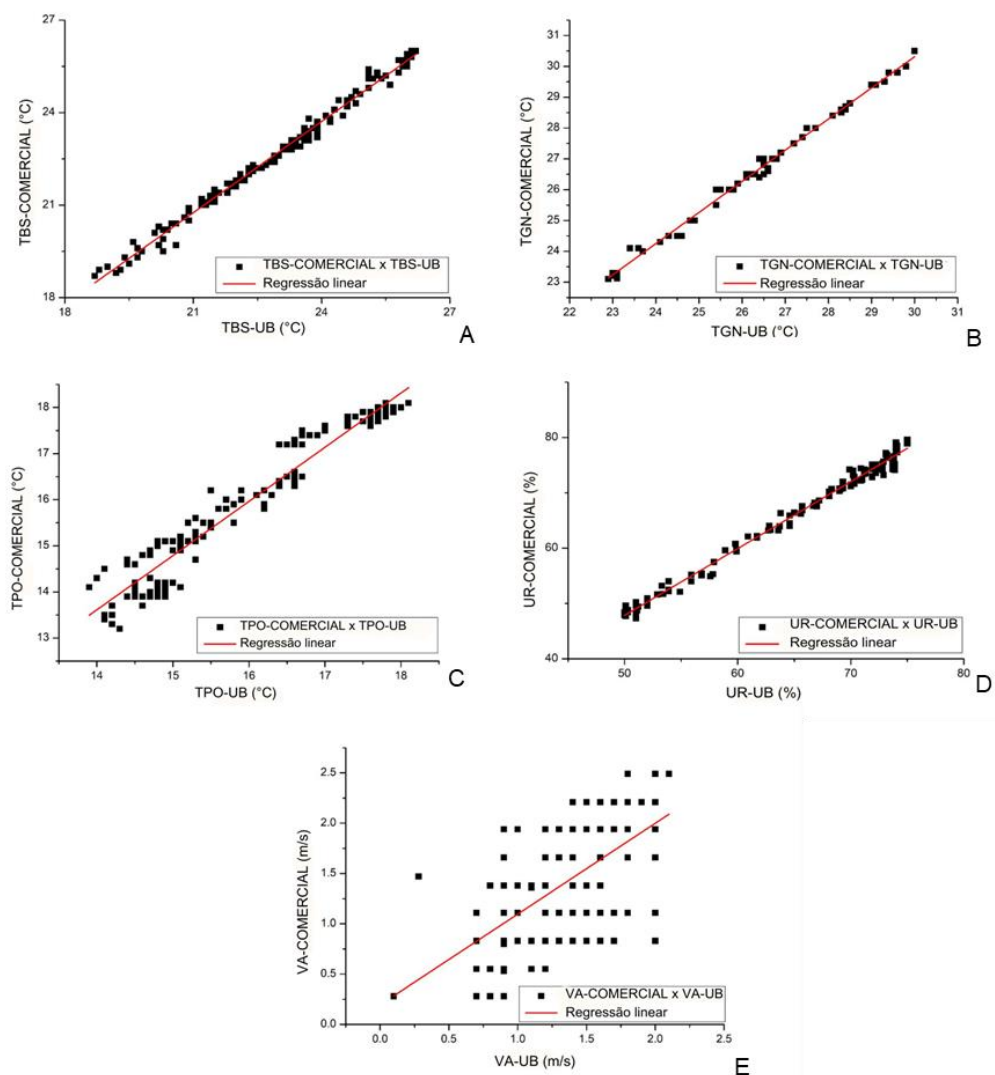
Neste contexto, a dispersão dos dados é um indicativo da qualidade do ajuste dos mesmos. Quanto menor o coeficiente de determinação (R^2), menor a porcentagem dos dados corretamente ajustados e maior a dispersão.

Na Figura 6 (A; B; C; D e E) são apresentadas as mensurações realizadas nos dias de coleta pelo dispositivo da Universidade Brasil (UB) não calibrado, correlacionando os dados coletados com o dispositivo comercial. A proximidade dos

dados à linha de regressão indica alta correlação entre as mensurações de ambos os dispositivos (Figura 6A e B), para a temperatura de bulbo seco e a temperatura do globo negro, respectivamente.

Por outro lado, para as mensurações da temperatura do ponto de orvalho, da umidade relativa do ar e da velocidade do ar (Figura 6C, D e E), observou-se uma maior dispersão dos dados em relação à linha de regressão, sugerindo a necessidade de calibração dos sensores.

Figura 6 - Mensurações das variáveis ambientais realizadas pelo aparelho comercial e pelo dispositivo desenvolvido na Universidade Brasil (UB)



Fonte: Juarez (2023).

A. Temperatura do bulbo seco – TBS (°C); B. Temperatura do globo negro – TGN (°C); C. Temperatura do ponto de orvalho – TPO (°C); D. Umidade relativa do ar – UR (%); E. Velocidade do ar – VA (m/s).

As variáveis de temperatura de bulbo seco e de temperatura de globo negro não apresentaram necessidade de calibração, pois apresentam um R^2 de 99%, valores de intercepto próximo de 0 e valores de declive próximo de 1. Já para as variáveis de umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho e velocidade do ar, houve a necessidade de calibração.

Para a umidade relativa do ar e a temperatura do ponto de orvalho, apesar dos valores de R^2 de 0,99 e 0,93%, respectivamente, os valores do intercepto estão distantes de 0, sendo, 12,54 e $-2,84$, respectivamente. Para a velocidade do ar, após a análise observou-se um valor do R^2 de 0,36 o que demonstra a baixa correção com os dados mensurados pelo dispositivo comercial, com os dados do dispositivo desenvolvido (Tabela 5).

Tabela 5 - Análises e calibração para a validação do dispositivo móvel em comparação do aparelho comercial: coeficiente de correlação (R^2), intercepto e declive

Variáveis ambientais ¹	Dispositivo UB			Calibrado		
	R^2	Intercepto	Declive	R^2	Intercepto	Declive
TBS (°C)	0,989	0,021±0,193	0,987±0,008	-	-	-
TGN (°C)	0,992	-0,001±0,299	1,010±0,011	-	-	-
TPO (°C)	0,935	-2,844±0,412	1,175±0,025	0,937	2,22E+01±0,342	1,000±0,021
UR (%)	0,990	-12,544±0,675	1,208±0,010	0,990	0,004±0,568	1,000±0,008
VA (m/s)	0,361	0,193±0,137	0,902±0,099	0,361	-1,79E-01±0,158	1,000±0,110

R^2 : coeficiente de correção. \pm erro padrão. ¹TBS: temperatura do bulbo seco, TGN: temperatura do globo negro, TPO: temperatura do ponto de orvalho, UR: umidade relativa do ar e VA: velocidade do ar.

Para as variáveis umidade relativa e temperatura do ponto de orvalho, foram desenvolvidas equações de regressão (Equações 8 e 9, respectivamente) para garantir o ajuste dos dados, entre o aparelho comercial e o dispositivo desenvolvido.

$$\text{Equação 8: } UR_{\text{calibrado}} = -5,99174 + 0,99407 \cdot UR + 0,00171 \cdot UR^2$$

Sendo UR: umidade relativa do ar.

$$\text{Equação 9: } TPO_{\text{calibrado}} = -19,67319 + 3,27924 \cdot TPO - 0,06535 \cdot TPO^2$$

Sendo TPO: temperatura de ponto de orvalho.

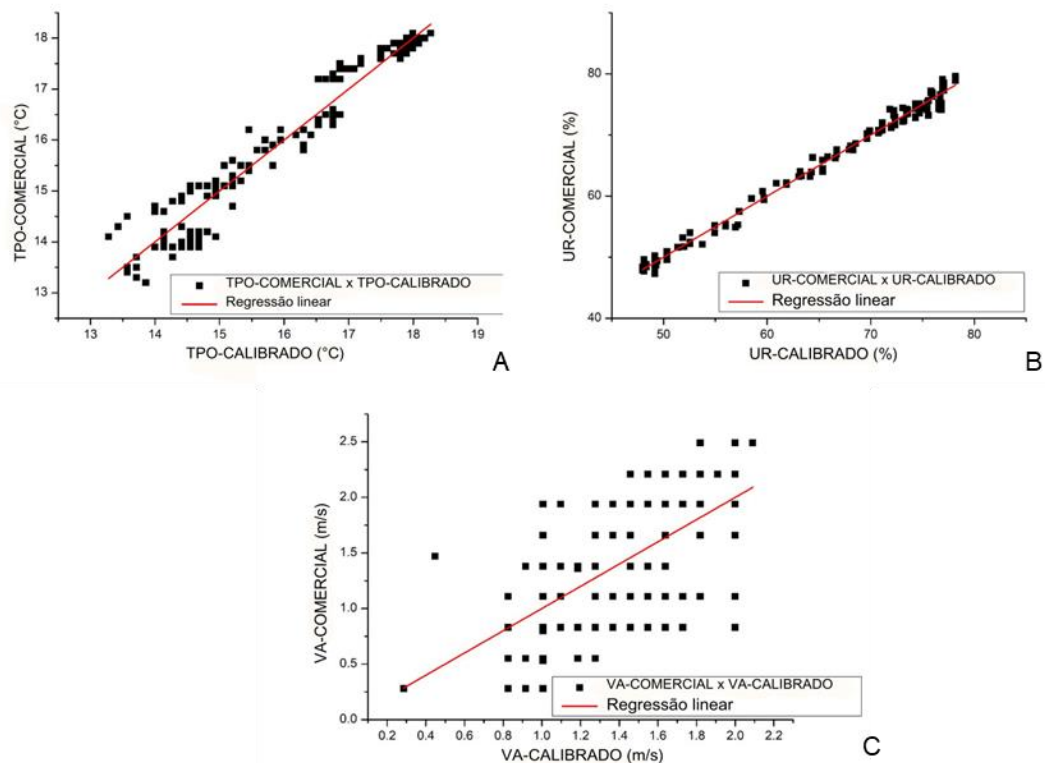
Para a velocidade do ar, mesmo após a equação de calibração (Equação 10), os dados não apresentaram ajuste devido ao baixo valor da correção observado e, portanto, o dispositivo desenvolvido não pode ser utilizado para essa finalidade.

$$\text{Equação 10 } -VA_{\text{calibrado}} = 0,19499 + 0,90041 \cdot VA + 0,0009 \cdot VA^2$$

Sendo VA: velocidade do ar.

A Figura 7 (A; B e C), apresenta as medições após a função de calibração. Para as variáveis de temperatura do ponto de orvalho e umidade relativa do ar, após a curva de calibração houve ajuste dos dados, entretanto, para a velocidade do ar, não houve ajuste dos dados. Portanto, o dispositivo pode ser utilizado após a calibração, exceto para a velocidade do ar, que deverá ser desenvolvida em projeto futuro.

Figura 7 - Valores das variáveis ambientais após calibração¹



Fonte: Juarez (2023)

¹A. Temperatura do ponto de orvalho – TPO (°C), B. Umidade relativa do ar - UR (%) e C. Velocidade do ar – VA (m/s)

No estudo realizado por Oliveira Júnior *et al.* (2021), os autores desenvolveram um dispositivo semelhante e, por meio da regressão linear, realizaram a calibração do aparelho. Além disso, utilizaram a análise de Bland-Altman como uma abordagem mais precisa para avaliar a eficácia da calibração dos dados. No estudo, também foi realizada uma comparação entre as análises não calibradas e calibradas. As variáveis mensuradas e calibradas foram a temperatura e umidade relativa do ar, além do índice de temperatura de globo negro.

É importante destacar que há uma escassez na literatura de estudos que tenham desenvolvido dispositivos móveis para a mensuração de variáveis ambientais. Mesmo quando tais dispositivos são desenvolvidos, a calibração por meio de regressões lineares, com o uso de equações de calibração, embora eficaz, é raramente utilizada. Portanto, há uma necessidade premente de mais estudos para garantir a eficácia desses aparelhos e promover seu uso generalizado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do dispositivo móvel de baixo custo pode ser considerado uma solução alternativa de baixo custo para avaliações e monitoramento do conforto térmico em aves de produção, contribuindo para o desempenho e bem-estar, além de permitir o ajuste da ambiência das instalações conforme necessário.

Além disso, o dispositivo é eficaz para classificar a ambiência das instalações em abaixo do ideal, ideal e acima do ideal, e propor manejos adequados para restabelecer as condições de conforto térmico das aves de produção, de acordo com a idade e a linhagem.

Contudo, é importante ressaltar a necessidade de validar os sensores de pressão atmosférica e desenvolver novos sensores para a velocidade do ar e a concentração de dióxido de carbono em estudos futuros, para que o dispositivo possa mensurar todas as variáveis ambientais inicialmente propostas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão**. São Paulo: ABNT, 2004.

ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; JAENISCH, F. R. F.; PAIVA, D. P. de. **Índices térmicos ambientais para aves criadas em aviários com e sem o uso de forro**. Engormix, artigos técnicos avicultura, 2012. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/indices-termicos-aves-aviarios-t37563.htm>. Acesso em: 10 dezembro 2020.

ADORNO, L. S. B. **Validação de dispositivo móvel para verificar o conforto térmico e auxiliar no manejo de aves de produção**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em [Curso]) – Universidade Brasil, Descalvado, 2022.

ALBINO, L. F. T. *et al.* **Galinhas Poedeiras: criação e alimentação**. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2014.

ALDUCHOV, O. A.; ESKRIDGE, R. E. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Washington, v. 35, n. 4, p. 601–609, 1996.

ALIEXPRESS. **Dióxido De Carbono Módulo Sensor De Detecção, Sensor De Gás, TVOC Qualidade Do Ar Detectando, I2C Saída CJMCU-811, CCS811, CO2, eCO2**. © 2010-2023. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005003980133652.html?spm=a2g0o.order_list.0.0.23f8caa4wzRuPU&gatewayAdapt=glo2bra. Acesso: 15 mai.2023.

ALIEXPRESS. **Temperatura Digital e Umidade Sensor, Módulo DHT22, PCB com Cabo, AM2302**. © 2010-2023. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005003995755833.html?spm=a2g0o.order_list.0.0.23f8caa4wzRuPU&gatewayAdapt=glo2bra. Acesso: 15 mai.2023.

ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura produção Animal e Ambiente. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.2, p.558-568, 2012.

ALTAN, O.; PABUÇCUOGLU, A.; ALTAN, A.; KONYALIOGLU, P.; BAYRAKTAR, H. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. **British Poultry Science**, v. 44, n. 4, p. 545-550, 2003.

ALVES, S. P. **Uso da zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação**. 2006. Tese (Doutorado em agronomia, área de física do ambiente agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-04042007-141113/pt-br.php>. Acesso em: 12 outubro 2020.

ALVES, S. P.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. E. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1388-1394, 2007.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - Conforto animal**, 1. ed., p. 246, Viçosa; UFV, 1997.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed., p. 269, Viçosa: UFV, 2010.

BAÊTA, F.C. et al. Desempenho da ventilação forçada no interior de galpões de corte, em função do posicionamento dos ventiladores e orientação do fluxo de ar, no verão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30., 2001. **Anais...** Foz do Iguaçu: CONBEA, 2001.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Engenharia Agrícola**. v.27, p. 93-99, 2007.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Transporte de frangos: caracterização do micro-clima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2442-2446, 2009.

BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agriculture research. **Agricultural Engineer**, v. 36, n. 2, p. 251-260, 1955.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. V. F. da. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, p. 975-981, 2003.

BOTTJE, W. G.; HARRISON, P.C. Effects of carbonated water on growth performance of cockerels subjected to constant and cyclic heat stress temperature. **Poultry Science**, v. 64, n. 1, p.107-113, 1985.

BRENNECKE, K.; PEREIRA, L. A. M.; ZEFERINO, C. P.; SOARES, V. E.; ORLANDI, C. M. B.; DIAN, P. H.; SANTOS JUNIOR, I.; ZAMPIERI, J. H.; HOLANDA, M. C. F. Utilização de caneca de alumínio como material alternativo para temperatura de globo de vernon. **ARS Veterinária**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, p. 34-39, 2023.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 26, n. 6, p. 1798-1802, 1983.

CAMARGO, T. F.; et al. Thermal comfort monitoring in aviaries by a real-time data acquisition system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.23, n.9, p.694-701, 2019.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; SOUSA, F. A.; PONCIANO, P. F.; NAVARINI, F. C.; YANAGI JUNIOR, T. Eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários, com base nos índices de conforto térmico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 703-711, 2013.

CÂNDIDO, M. G. L.; TINÔCO, I. F. F.; PINTO, F. A. C.; ROBERTI, R. P.; SANTOS, N. T. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 760-767, 2016.

CARVALHO, C. C. S. *et al.* Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 769-773, 2014.

CASTILHO, V. A. R.; GARCIA, R. G.; LIMA, N. D. S.; NUNES, K. C.; CALDARA, F. R.; NÄÄS, I. A., BARRETO, B., JACOB, F. G. Bem-estar de galinhas poedeiras em diferentes densidades de alojamento. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 122-131, 2015.

CASTRO JUNIOR, S. L. de; SILVA, I. J.O. da. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometereology**, v. 65, p. 149-161, 2020.

CASTRO JÚNIOR, S. L. **Pacote tecnológico para o diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção**. Dissertação (Mestrado no Curso de Engenharia de Sistemas Agrícolas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

COBB. **Manual de manejo de frangos Cobb 500: guia de manejo**. São Paulo: Cobb Vantress Brasil, 2018.

COSTA, E. M. S., DOURADO, L. R. B.; MERVAL, R. R. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. **PUBVET**, Londrina, v. 6, n. 31, ed. 218, Art. 1452, 2012.

DA SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. The Environment, In: **Principles of Animal Biometeorology**. v. 2. Springer, Dordrecht, 2013, p. 1-41.

DALÓLIO, F. S. et al. Caracterização bioclimática de um galpão experimental de criação de frangos de corte na região de Diamantina-MG. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, 2016, 24.1: 22-31.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport, CT Avi Publishing Co., p. 325, 1969.

FAMIGLIETTI, C. A.; et al. Global Validation of MODIS Near-Surface Air and Dew Point Temperatures. **Geophysical Research Letters**, v 45, p. 7772–7780, 2018.

FERNANDES, H. C. *et al.* Effect of heating and cooling of floors in the performance of lactating mothers and piglets. **Revista Ceres** v. 58, n. 6, 701–706, 2011.

FERRAZ, P.F.P.; YANAGI JUNIOR, T.; MELO, L. F. L. D.; CASTRO, J. D. O.; CECCHIN, D. Spatial and temporal distribution of enthalpy in aviary heated by industrial furnace. **Revista Ceres**, v.65, n.4, p.346-355, 2018.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 296, 2016.

FIORELLI, J. *et al.* Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 986-992, 2010.

FONSECA, A. L. B. **Desenvolvimento de um protótipo para estudos sobre a temperatura superficial e o comportamento de frangos de corte**. 2018. 73 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Medicina Veterinária) —Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

GOMES, R. C. C. *et al.* Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1645-1651, 2011.

HUMANE FARM ANIMAL CARE. **Bem-estar animal**.2014. Disponível em: <https://certifiedhumanebrasil.org/>. Acesso em: 3 nov. 2020.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 527-531, 2007.

JONES, T. A.; DONNELLY, C. A.; DAWKINS, M. S. Environmental and management factors affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and Denmark stocked at five densities. **Poultry Science**, v.84, p.1155-1165, 2005.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington, DC, v. 86, n. 2, p. 225–233, 2005.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; NAAS, I. A.; PERISSINOTTO, M. Estudo da influência das ondas de calor sobre a produção de leite no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 1, p. 70-81, 2007.

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: Funep-FAPESP-Facta, 2017.

MERCADO LIVRE. **Sensor De Pressão Bmp280 Barométrico Para Arduino**. © 1999-2023. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1048793658-sensor-de-presso-bmp280-barometrico-para-arduino-_JM?quantity=1. Acesso: 15 mai.2023.

NAZARENO, A. C; PANDORFI, H; ALMEIDA, G. L; GIONGO, P. R; PEDROSA, E. M; GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, p. 802–808, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, A. J. **Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e ambiência**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144203/oliveirajunior_ajo_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 14 jun.2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J. *et al.* System for assessing broilers thermal comfort. *In: Smart Agricultural Technology*. v. 1, 100007, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100007>. Acesso: 14 jun. 2023.

OLIVEIRA, P. A. V.; GUIDONE, A. L.; BARONI JÚNIOR, W.; DALMOURA, V. J.; CASTANHA, N. Efeito do tipo de telha sobre o acondicionamento ambiental e o desempenho de frangos de corte. *In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas*, 1995, Curitiba. **Anais[...]**.Curitiba: FACTA, p. 297-298, 1995.

OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. GOMES M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.797-803, 2006.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; BASILIO, V.; GOURDINE, J. L.; COLLIER, R. J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v.6, p.707-728, 2011.

RIBEIRO, B. P. V. B. *et al.* Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. **Journal of Thermal Biology**. v. 93, 102678, 2020.

RODRIGUES V. C. *et al.* A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. 2011. *In: International Journal of Biometeorology*. v. 55, p. 455–459, 2011.

SANTOS, G. B.; SOUSA, I. F.; BRITO, C. O.; SANTOS, V. S.; BARBOSA, R. J.; SOARES, C. Estudo bioclimático das regiões litorânea, agreste e semiárida do estado de Sergipe para avicultura de corte e postura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n.1, p. 123-128, 2014.

SARUBBI, J. *et al.* Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 32, n. 6, p. 1034–1040. 2012.

SEVEGNANI, K. B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos de escala reduzida, simulando galpões para frangos de corte**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 1997.

- SILVA, I. J. O.; SEVEGNANI, K. B. **Ambiência na produção de aves de postura**. In: Silva, I. J. O. *Ambiência na produção de aves em clima tropical*. Piracicaba: FUNEP, p.150- 214, 2001.
- SILVA, M. A. N.; FILHO, J. A. D. B.; ROSÁRIO, M. F.; SILVA, C. J. M.; SILVA, I. J. O.; SAVINO, V. J. M.; COELHO, A. A. D. Fatores de estresse associados a criação de linhagens de avós de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.652-659, 2007.
- SOUZA, S. M.; TINÔCO, I. F.F.; AMARAL, A. G.; INOUE, K. R. A.; BARRETO, L.S.; SAVASTANO JUNIOR, H.; SOUZA, C.F.; PAULA, M. O. Zonas de conforto térmico para o tipo de carne inicial. **Revista Brasileira de Ciência aviária**, Campinas, v. 16, n.3, p. 265-272, 2014.
- TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; TAKAHASHI, K. M. **Bioclimatologia Zootécnica**, Jaboticabal, p.91, 2009.
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 1959.
- TINÔCO, I.F.F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.3, n.1, p.1-26, 2001.
- VIEIRA, M. F. A. **Efeitos de duas condições climáticas, duas linhagens e dois sistemas de ventilação no desempenho produtivo de galinhas poedeiras alojadas em sistemas verticais de criação**. 2015. 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.
- VITORASSO, G.; PEREIRA, D. F. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, 2009.
- WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2008, 37: 1463-1467.
- YAHAV, S.; STRASCHNOW, A.; PLAVNIK, I.; HURWITZ, S. Effects of diurnally cycling versus constant temperatures on chicken growth and food intake. **British Poultry Science**, v.37, n.1, p. 43-54. 1996.
- YANAGI JUNIOR, T.; AMARA, A.G.; TEIXEIRA, V. H.; LIMA. Caracterização do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frango de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.1-12, 2011.