UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MARCELO EDUARDO DE OLIVEIRA

Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT

São Carlos

2019

MARCELO EDUARDO DE OLIVEIRA

Implementação e Avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Associado Adriano Rogério Bruno Tech

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Marcelo Eduardo de
O48i Implementação e avaliação de um sistema
 automatizado de monitoramento e controle térmico em um
 aviário convencional utilizando tecnologia IoT /
 Marcelo Eduardo de Oliveira; orientador Adriano Rogério
 Bruno Tech. São Carlos, 2019.

 Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área
 de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental --
 Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
 São Paulo, 2019.

 1. Bem-estar animal. 2. Produção avícola. 3.
 Conforto térmico. 4. Sensores. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **MARCELO EDUARDO DE OLIVEIRA.**

Título da tese: "Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT".

Data da defesa: 04/07/2019.

Comissão Julgadora:

Prof. Associado **Adriano Rogerio Bruno Tech**
(Orientador)

(Faculdade de Zootecnia, Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

Prof. Dr. **Daniel Emygdio de Faria Filho**

(Faculdade de Zootecnia, Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

Profa. Dra. **Liandra Maria Abaker Bertipaglia**

(Universidade Brasil)

Profa. Dra. **Rosângela de Oliveira Colabone**

(Academia da Força Aérea/AFA)

Prof. Dr. **Carlos Alberto Ferreira Bispo**

(Academia da Força Aérea/AFA)

Resultado:

Aprovado

APROVADO

APROVADO

Aprovado

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

DEDICATÓRIA

*À minha esposa e filhos, pela
inspiração e amor.*

AGRADECIMENTOS

Ser doutor sempre foi um sonho muito forte em minha vida, e desde sempre persisti para que esse sonho pudesse ser realizado. Em todos esses anos, ao longo da minha trajetória profissional, muita coisa foi deixada de lado para que esse sonho pudesse ser realizado. A todos que colaboraram direta e indiretamente, meus sinceros agradecimentos, e, em especial, às pessoas a seguir.

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pois sem Ele não seria possível sequer sonhar, quem diria viver esse sonho, efetivamente.

À minha mãe e meu pai, por me mostrarem que a vida é feita de acertos e erros, e que nem sempre o caminho que planejamos é o mesmo que iremos trilhar, e isso pode ser maravilhoso.

Aos meus colegas da Escola de Engenharia de São Carlos, por toda ajuda ou mesmo um bate papo agradável a respeito de nossas linhas de pesquisa em comum, pelas sextas-feiras compartilhadas juntos ao longo desses 3 anos de caminhada.

Aos amigos que fiz na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, alunos de graduação, pós-graduação, funcionários e docentes desta Instituição que me acolheu, local físico onde realizou-se esta pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Avicultura, Claudinho e Edinho, pelas conversas e sábias palavras a respeito da lida na vida diária do aviário, pela paciência e entusiasmo nas explicações e pela amizade.

Ao Laboratório de Eficiência Energética e Simulação de Processos, em especial ao Prof. Dr. Celso Oliveira, pela disponibilização dos dados da Estação Meteorológica daquele laboratório, sem os quais esta tese não seria factível de realização.

Ao Prof. Dr. Daniel Emygdio de Faria Filho, por todas as vezes que pedi “socorro” nos experimentos, pelos ensinamentos e pela vontade de colaboração que sempre demonstrava e realizava.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Rogério Bruno Tech, por ter acreditado em mim e apostado suas fichas, desde o início, quando fui seu bolsista técnico FAPESP, até o doutorado. Por toda a ajuda e compreensão ao longo dessa jornada, por seus sábios conselhos, pelo crescimento mútuo, por sonhar e realizar esse sonho conjuntamente comigo.

Por fim, a parte mais importante da minha vida, razão pela qual persigo este sonho e almejo um futuro brilhante, agradeço à minha família, esposa Renata e filhos Matheus, Breno, Manuella e Thor, pela ajuda na realização deste sonho, por nunca desistirem de mim, por acreditarem e sonharem comigo, pela compreensão de minhas ausências durante o doutorado, e por todo amor dispensado a mim, o qual não me canso de retribuir e trabalhar ainda mais para que nosso futuro seja ainda mais promissor. Amo vocês, razões de minha existência!

EPÍGRAFE

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes. ”

Marthin Luther King

RESUMO

OLIVEIRA, M. E. **Implementação e Avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT.** 2019. 134 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

A produção avícola está em pleno crescimento devido ao aumento do consumo de carne e ovos em escala mundial. Nesse contexto, o Brasil ocupa a segunda posição na produção mundial de carne de frango de corte e a primeira posição na exportação mundial desta proteína (ABPA, 2017). Considerando, que a procura por produtos diferenciados e de qualidade superior impactam os sistemas de criação de frango, torna-se necessária a utilização de sistemas que otimizem o bem-estar animal, bem como melhore a qualidade da produção, reduzindo custos. O objetivo deste trabalho foi apresentar a implementação de um sistema de controle térmico aplicado em aviário convencional (experimental), utilizando tecnologia IoT. O experimento foi realizado durante o período de 17 de novembro de 2018 a 25 de janeiro de 2019 no aviário 3, do Laboratório de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, localizado na cidade de Pirassununga, região Centro-Leste do estado de São Paulo e, segundo a classificação Köppen possui características de clima subtropical Cwa, entre os meridianos de 21°57'38.43"S e 47°27'02.22"W. O sistema de monitoramento e controle climático foi composto por uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) instalados no aviário 3 que coletaram as variáveis físicas de temperatura do ar (T_{ar}), umidade do ar (U_{ar}), e temperatura superficial interna (T_{si}), armazenando-as em um banco de dados na nuvem, acionando ou desligando de forma automatizada através de módulos atuadores, ou ainda, permitindo que o gestor acione ou desligue o sistema de climatização para que a T_{ar} aproxime-se ao máximo possível, naquele instante, da Temperatura ideal do ar (T_{id}), proporcionando assim, o conforto térmico de acordo com a idade dos frangos de corte em produção. Os resultados alcançados durante o experimento mostraram o bom desempenho do sistema automatizado no controle térmico, uma vez que o mesmo conseguiu manter a homogeneidade térmica, diminuindo a variação de temperatura nos pontos monitorados, ou seja, nas 8 zonas de monitoramento de controle, além da redução em aproximadamente 80% no consumo de energia elétrica, em relação ao sistema convencional (manual). Conclui-se, portanto, que o sistema automatizado pôde contribuir de maneira significativa para o monitoramento e controle de aviários convencionais, inclusive com o seu monitoramento e controle em tempo real e online.

Palavras-chave: Bem-estar animal. Produção avícola. Conforto térmico. Sensores.

ABSTRACT

OLIVEIRA, M. E. **Implementation and Evaluation of an Automated Monitoring and Thermic Control System in a Conventional Aviary Using IoT Technology**. 2019. 134 f. Doctorate Thesis. Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2019.

Aviculture is in continuous growth thanks to the increased consumption of chicken meat and eggs in a global scale. In that context, Brazil has the second place in worldwide production of broilers and holds the first place as exporter of this protein (ABPA, 2017). Considering that the search for differentiated products with superior quality impact broiler breeding systems, the implementation of systems that optimize animal welfare and improve the production's quality while diminishing its costs, are very necessary. The purpose of this study was to introduce the implementation of a thermic control system applied in an (experimental) conventional aviary, making use of IoT technology. The experiment was conducted during the period between November the 17th, 2018 to January the 25th, 2019 in the aviary #3, belonging to the Aviculture Laboratory of the Department of Animal Science in the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo (USP). The faculty is located in the city of Pirassununga, which is in the central-eastern region of the State of São Paulo and according to Köppen classification, possesses the characteristics of a Cwa subtropical climate, between the meridians of 21 ° 57'38.43 "S and 47 ° 27'222.22" W. The climate monitoring and control system was composed by a Wireless Sensor Network (WSN), which collected the physical variations of the air's temperature, its humidity and the internal surface temperature of aviary #3. All of this data was stored in a cloud data bank which was activated and deactivated automatically by actuator modules or by allowing the manager to turn on or off the climate regulation system so the air temperature can approximate, as much as possible, the ideal air temperature, thus providing thermic comfort for each phase of the broiler's growth development.

The results reached during the experiment, showed the performance of the automated system with thermic control, since it maintained the thermic homogeneity, diminishing the temperature variation in the monitored points, that is, the 8 control monitoring zones. Further on, there was a reduction of approximately 80% of electric energy consumption in regards to the conventional (manual) system. In conclusion, the automated system can contribute in a significative manner to the monitoring and control of conventional aviaries, with its controlling and monitoring in real time and available online.

Key Words: Animal welfare. Poultry production. Thermic comfort. Sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Produção mundial de carne de frango.....	29
Figura 2 – Exportação mundial de carne de frango.....	29
Figura 3 - Zona de conforto térmico.....	40
Figura 4 – Orientação do galpão em relação ao Sol.....	41
Figura 5 - Sistema de ventilação positiva com formação de túnel.....	45
Figura 6 - Localização do Município de Pirassununga, SP – Brasil.....	55
Figura 7 - Planta Baixa do Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP.....	56
Figura 8 - Corte AA do Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP.....	56
Figura 9 - Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP.....	57
Figura 10 - Equipamentos de climatização do aviário.....	57
Figura 11 - Sistema de controle climático genérico.....	58
Figura 12 - Sensor DHT11.....	59
Figura 13 - Sensor LDR.....	60
Figura 14 - Sensor Termopar tipo k.....	60
Figura 15 - Módulo Relé 3V.....	61
Figura 16 - Módulo Wifi ESP8266 NodeMcu ESP-12.....	62
Figura 17 - Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N.....	63
Figura 18 - Raspberry Pi 3.....	64
Figura 19 - Esquema elétrico do Sensor de temperatura, umidade e iluminação.....	65
Figura 20 - Esquema elétrico do Temperatura de superfície interna.....	65
Figura 21 - Esquema elétrico do Atuador.....	66
Figura 22 - Fluxograma simplificado para controle de temperatura e umidade.....	67
Figura 23 - Fluxograma simplificado do sensor de temperatura de superfície.....	68
Figura 24 - Fluxograma simplificado do módulo atuador.....	69
Figura 25 - Fluxograma simplificado do servidor LSI/Raspberry.....	70
Figura 26 - Fluxograma simplificado do servidor WEB MAPAG.....	71
Figura 27 - Distribuição dos sensores e atuadores.....	72
Figura 28 - Posicionamento dos sensores de temperatura superficial interna, Corte AA.....	72
Figura 29 - Posicionamento dos sensores de temperatura superficial interna, Corte BB.....	73
Figura 30 - Pacote de dados enviados pelos sensores e atuadores.....	75
Figura 31 - Ligações elétricas do módulo sensor Mtar.....	79

Figura 32 - Ligações elétricas e soldagem conectando os sensores DHT11, LDR e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU	80
Figura 33 - Módulo sensor <i>Mtar</i> encapsulado no abrigo meteorológico adaptado.....	81
Figura 34 - Ligações elétricas do módulo sensor <i>Mtsi</i>	82
Figura 35 - Ligações elétricas e soldagem conectando o módulo sensor digital de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU	83
Figura 36 - Módulo Sensor <i>Mtsi</i> encapsulado na caixa patola.....	84
Figura 37 - Ligações elétricas do módulo atuador <i>Atu</i>	85
Figura 38 - Ligações elétricas e soldagem conectando o Módulo Relé 3V 1 Canal e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU	86
Figura 39 - Módulo <i>Matu</i> encapsulado na caixa patola	87
Figura 40 - Pacote de dados enviados pelos sensores e atuadores	88
Figura 41 - Use Case do sistema	89
Figura 42 - Servidor de arquivos LTSI.....	89
Figura 43 - Sistema de gestão de recebimento e envio de pacotes de dados no servidor LTSI90	
Figura 44 - Níveis de acesso ao sistema de controle climático	92
Figura 45 - Telas do servidor MAPAG	93
Figura 46 - Esquema de comunicação entre módulos sensores e atuadores com o cliente MQTT.....	94
Figura 47 - Configuração do aplicativo MQTT	95
Figura 48 - Aplicativo para gestão dos módulos atuadores.....	96
Figura 49 - Posição dos sensores <i>Tar</i> e <i>Tsi</i> instalados	97
Figura 50 - Posição da instalação dos atuadores	97
Figura 51 - Sensores <i>Tsi</i> instalados nas paredes laterais e na cumeeira central.....	98
Figura 52 - Sensores <i>Tar</i> instalados grade das gaiolas.....	98
Figura 53 - Atuadores instalados	99
Figura 54 - Dia 14/10/2018, aviário com janelas fechadas	101
Figura 55 - Dia 15/10/2018, aviário com janelas abertas	102
Figura 56 - Guia de Manejo.....	104
Figura 57 - Experimento T1 – Temperatura interna de superfície	106
Figura 58 - Experimento T1: de 17/11 à 06/12/2018, período da manhã.....	109
Figura 59 - Experimento T1: de 17/11 à 06/12/2018, período da tarde	110
Figura 60 - Temperatura de superfície interna; de 09/01 à 20/01/2019	114
Figura 61 - Experimento T2: de 09/01 à 20/01/2019, período da manhã.....	116

Figura 62 - Experimento T2: de 09/01 à 20/01/2019, período da tarde	117
Figura 63 - Tela do sistema MAPAG que permite exportar dados dos atuadores	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS) de acordo com a fase da ave	37
Tabela 2 - Especificações técnicas dos Ventiladores e Climatizadores/Aspersores	57
Tabela 3 - Especificações técnicas do Sensor de Temperatura DHT11	59
Tabela 4 - Especificações técnicas do Sensor de LDR.....	60
Tabela 5 - Especificações técnicas do Sensor de Temperatura Termopar Tipo-K.....	61
Tabela 6 - Especificações técnicas do Módulo Relé 3V	62
Tabela 7 - Especificações técnicas do módulo wifi ESP8266 NodeMCU ESP-12.....	62
Tabela 8 - Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N.....	63
Tabela 9 - Especificações técnicas da placa Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel	64
Tabela 10 - Período de duração dos experimentos	74
Tabela 11 - Nomenclatura dos sensores e atuadores	75
Tabela 12 - Cálculo do consumo em kWh de cada equipamento.....	111
Tabela 13 - Cálculo do consumo em kWh total durante o T1	111
Tabela 14 - Ventiladores, somatória de horas dos 4 equipamentos ligados e consumo em kWh	119
Tabela 15 - Climatizadores/Aspersores, somatória de horas ligado e consumo em kWh.....	119
Tabela 16 – Somatória do consumo em kWh durante T2	119
Tabela 17 - Análise estatística	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	–	Ampere
ABPA	–	Associação Brasileira de Proteína Animal
AC	–	Corrente alternada
AM	–	Abrigo Meteorológico
ANATEL	–	Agência Nacional de Telecomunicações
BR	–	Brasil
CM	–	Centímetros
CTR	–	Carga térmica radiante
CWA	–	Clima subtropical úmido
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EEPROM	–	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EM	–	Estação Meteorológica
FAWC	–	Farm Animal Welfare Council
FTP	–	File Transfer Protocol
FZEA	–	Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
GB	–	Giga byte
GHz	–	Giga Hertz
Hz	–	Hertz
HTML	–	Hypertext Markup Language
IBM	–	International Business Machine
IEEE	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	–	Internet of things
IP	–	Internet Protocol
ISM	–	International Safety Management Code
Kg	–	Kilogramas
LDR	–	Light Dependent Resistor
LEESP	–	Laboratório de Eficiência Energética e Simulação de Processos
LGPL	–	Lesser General Public License
LTSI	–	Laboratório de Tecnologia e Sistemas de Informação
M	–	metros

mA	–	Microampere
MAPAG	–	Monitoramento de ambientes, pastagens e grandes cultivos
MATU	–	Modulo atuador
M2	–	Metros quadrados
M2M	–	Machine to machine
Mbps	–	Megabit por segundo
MDNS	–	Multicast Domain Name Service
MM	–	Milímetros
MQTT	–	Message Queuing Telemetry Transport
MS	–	Metros por segundo
MTAR	–	Modulo sensor de temperatura e umidade do ar
MTSI	–	Modulo de temperatura superficial interna
MySQL	–	Structured Query Language
PHP	–	Hypertext Preprocessor
PSK	–	Pre-Shared Key
RSSF	–	Rede de sensores sem fio
S	–	Segundos
SAS	–	Statistical Analysis System
SSID	–	Service Set Identifier
Ta	–	Temperatura do ar
TCI	–	Temperatura crítica inferior
TCS	–	Temperatura crítica superior
TID	–	Temperatura ideal do ar
TMC	–	Temperatura média corporal
TSI	–	Temperatura superficial interna
UAR	–	Umidade do ar
UR	–	Umidade relativa do ar
USB	–	Universal Serial Bus
USP	–	Universidade de São Paulo
VDC	–	Voltagem de corrente contínua
W	–	Volts
WI-FI	–	Wireless Fidelity

WLAN	–	Wireless Local Area Network
WPA	–	Wi-fi Protected Acces
WSN	–	Wireless Sensor Network
ZMC	–	Zona de monitoramento de controle

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
~	Aproximadamente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 Hipótese e Objetivos	31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1 Bem-estar animal.....	33
2.1.1 Parâmetros Ambientais para produção de frango de corte	35
2.1.2 Ambiente para produção de frango	35
2.1.3. Índice de Conforto térmico	36
2.1.4 Conforto Térmico para aves	38
2.1.5 Estresse Térmica	41
2.2 Tipologia de Aviários	42
2.2.1 Tipologias construtivas	42
2.2.2 Orientação dos galpões.....	43
2.2.3 Sistema de ventilação por pressão positiva	43
2.2.4 Ventilação artificial	44
2.2.5 Sistemas de Controle.....	46
2.2.6 Tipos de ventilação.....	46
2.3 Climatologia	47
2.3.1 Carga térmica radiante	48
2.4 Sustentabilidade Energética.....	49
2.5 Tecnologias emergentes aplicadas ao controle térmico.....	49
2.5.1 IoT (Internet das Coisas)	49
2.5.2 ESP 8266.....	50
2.5.3 RSSF	51
2.5.4 Wi-Fi	52
2.5.5 Sensores.....	53
2.5.6 MQTT	53
3 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.1 Sistema de monitoramento e controle climático proposto.....	58
3.1.1 Hardware	58
3.1.2 Sensor de Temperatura.....	58
3.1.3 Sensor LDR	59
3.1.4 Sensor Termopar tipo-k.....	60

3.1.5 Módulo Relé 3V 1 Canal.....	61
3.1.6 Módulo Wifi ESP8266 NodeMcu ESP-12	62
3.1.7 Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N.....	63
3.1.8 Raspberry Pi 3 + Anatel	63
3.2 Modelagem de Hardware e Software	64
3.2.1 Modelagem de Hardware	64
3.2.2 Modelagem do Software	66
3.3 Distribuição dos sensores e atuadores por zona de monitoramento e controle	71
3.4 Coleta de Dados.....	73
3.4.1 Tratamentos.....	73
3.4.2 Estação Meteorológica	74
3.4.3 Pacote de dados	74
3.5 Modelagem Matemática	75
3.5.1 Cálculo dos dados para validação do sistema.....	75
3.5.2 Análise de Variância (ANOVA)	76
3.5.3 Estatística para coeficiente de correlação.....	76
3.5.4 Cálculo do consumo de energia elétrica consumida em kWh.....	77
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1 Construção do Hardware	79
4.1.1 Módulo sensor <i>Mtar</i>	79
4.1.2 Módulo sensor <i>Mtsi</i>	82
4.1.3 Módulo Atuador	84
4.2 Software do sistema embarcado	87
4.2.1 Servidor web	88
4.3 Instalação dos módulos sensores e atuadores	96
4.4 Experimento para teste do sistema e verificação da calibração dos módulos sensores.	99
4.4.1 Experimentos T1 e T2 para validação do sistema de controle térmico.	103
5 CONCLUSÕES.....	121
REFERÊNCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO

Segundo Osler Desouzart (OD Consulting, 2015), entre 1960 e 2010 a produção mundial de carnes triplicou, sendo o processo de crescimento conduzido pela carne de aves que aumentou 1.102,3% nesse período.

Em 2016, em seu relatório anual, a ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) (ABPA 2017), apontou que o Brasil foi o segundo maior produtor mundial, com 12,9 milhões de toneladas, sendo também o maior exportador com 4,384 milhões de toneladas de carne de frango. A Figura 1 demonstra a posição do Brasil quanto ao volume de produção.

Figura 1 - Produção mundial de carne de frango

Fonte: ABPA (2017)

A figura 2 demonstra a posição do Brasil quanto ao volume de exportação.

Figura 2 – Exportação mundial de carne de frango

Fonte: ABPA (2017)

Em 2020, segundo análise do site Avisite (AVISITE, 2016), a produção mundial de carne de frango ultrapassará a produção de carne suína com o volume de 128.377 milhões de toneladas.

Segundo Bellaver (2003) é crescente a produção avícola pelo alto consumo da carne e dos ovos, mas, para que se consiga uma grande produtividade e qualidade no produto é necessária a utilização de sistemas que otimizem o bem-estar animal.

A grande procura dos consumidores por produtos diferenciados e de qualidade superior vem gerando mudanças nos sistemas de criação de frangos (VERCOE et al., 2000). Segundo Blokhuis (2004), o tema bem-estar animal tem sido discutido cada vez mais entre os consumidores europeus. O regime de confinamento total causa estresse intenso, resultando em respostas fisiológicas e comportamentais, que podem causar problemas à saúde e ao bem-estar dos animais (MARIN et al., 2001).

De acordo com o Farm Animal Welfare Council's (FAWC, 2009), os cinco níveis de bem-estar animal dos animais domésticos são:

- Estar livre de fome, sede ou má-nutrição;
- Estar livre de desconforto;
- Estar livre de dor, injúria ou doença;
- Estar livre para expressar seu comportamento normal;
- Estar livre de medo e estresse.

O regime de confinamento total, que aperfeiçoa a produção por área, gera um ambiente desfavorável ao bem-estar das aves, podendo promover declínio nos índices produtivos (BOLIS, 2001).

Nas condições brasileiras é comum uma densidade de 12 frangos/m², em média, que são abatidos ao redor de 42 dias de idade com, aproximadamente, 2,30kg. Isso significa 27,60kg de frango/m² no sistema de criação convencional (LIMA et al., 2005). Moreira et al. (2004) constataram que o aumento da densidade populacional de 10 para 16 aves/m² causa redução no ganho de peso, principalmente na fase final de criação, apesar de não haver diferenças entre as densidades 13 e 16 aves/m².

McInermey (2004) desenvolveu um modelo com parâmetros para avaliação da produtividade em relação ao bem-estar animal, ressaltando o bem-estar como uma necessidade básica do ser vivo.

Hellmeister Filho (2002) declararam que, em um sistema de criação, o bem-estar e a saúde do animal devem ser considerados como critérios principais, pois a produtividade depende diretamente desses fatores.

1.1 Hipótese e Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral testar a seguinte hipótese:

“É possível e viável implementar um sistema de controle térmico aplicado em aviário convencional utilizando tecnologia IoT?”

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver uma aplicação web para gestão do ambiente operacional;
- Construir os módulos sensores e atuadores;
- Implementar o software de controle e atuação nos módulos sensores e atuadores;
- Desenvolver a aplicação para sistemas portáteis (Android) para interação com o ambiente monitorado;
- Testar e avaliar o desempenho de sistema de controle térmico em relação a um sistema de controle convencional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bem-estar animal

O bem-estar animal tem sido importante aspecto considerado em todo mundo, principalmente quando diz respeito a produção animal. De acordo com FAWC - Farm Animal Welfare Council (citado por CHEVILLON, 2000), pode-se definir bem-estar animal tendo em vista as cinco liberdades imputada aos animais, sendo elas: liberdade fisiológica, liberdade ambiental, liberdade sanitária, liberdade comportamental e liberdade psicológica.

Além disso, deve-se ter consciência de que o bem-estar animal engloba duas perspectivas imprescindíveis: o bem-estar físico, que se exterioriza por meio de um bom estado de saúde e o bem-estar psicológico, que repercute o comportamento, isto é, a inexistência de anormalidades comportamentais (FRASER, 1999; NOLDUS & JANSEN, 2004; MELUZZI & SIRRI, 2009).

Pensando em avaliação do bem-estar animal, atualmente diversas inovações tecnológicas existem para auxiliar a alcançar um melhor controle ambiental e melhorar o bem-estar, minimizando os custos (BERCKMANS, 2014; CORKERY et. al, 2013). Uma dessas possibilidades de avaliação trata-se do Índice de Bem-Estar Unitário (Unitary Welfare Index), que foi desenvolvido para relacionar a mortalidade, incidência de dermatite, problemas de pernas, densidade do lote, enriquecimento ambiental, pronto-atendimento, problemas na debicagem, restrição alimentar, peso e grau de empenamento em relação ao bem-estar. Esse índice avalia através de uma pontuação, variando de 1 (bem-estar ruim) à 10 (bem-estar ótimo) (HASLAM & KESTIN, 2004).

Tendo em vista a produção de frango no Brasil, nota-se que essa é avançada em níveis de genética, nutrição e sanidade, porém, considerando as diversas variações no território associadas, algumas vezes, as instalações que não favorecem a ventilação e a renovação do ar adequada podem vir a comprometer a produtividade (TINOCO, 2001).

Há um intenso movimento, por parte do sistema produtivo avícola brasileiro, em investir incansavelmente em técnicas que possam aprimorar a produção de carne de frango. Percebe-se uma forte procura por conhecimento e técnicas, tendo em vista as atuais demandas, visando potencializar a produtividade de carne com redução de custos (PONCIANO et al., 2011).

É imperativo que haja uma perspectiva de bem-estar para validação dessas técnicas e tecnologias, antes mesmo de sua implementação, para garantir valor acrescentado ao bem-estar das aves. Para que ocorra sucesso na validação dessas técnicas a serem implementadas, há que

se pensar não somente na produtividade, mas também na forma como compreendemos o comportamento das aves em condições comerciais, e, principalmente, melhorar a qualidade de vida das mesmas, já que, com a melhora na qualidade de vida desses animais, há potencialmente uma melhora no crescimento e em sua saúde, ou seja, a melhora no bem-estar está diretamente ligada a sistemas de produção de aves sustentáveis. (DAIGLE, 2014).

Segundo Tinoco (2011), em que pese o bem-estar animal, o ambiente em que estão inseridas as aves constitui um dos principais responsáveis pelo sucesso ou fracasso do empreendimento avícola, tendo em vista que os fatores térmicos (temperatura, umidade, movimentação do ar e radiação térmica) comprometem a homeotermia, que é uma das funções vitais mais importantes dos animais. Um ambiente com temperatura elevada diminui o ganho de peso de frangos de corte, já que proporcionam maiores trocas latentes (evaporação), bem como o consumo de água, de acordo com Pelicano et al (2005).

Considerando aspectos climáticos e necessidades dos animais, agregando conforto térmico e bem-estar animal, diversas técnicas têm sido aplicadas, para que haja uma diminuição no tempo de criação e seu consequente aumento na produtividade (ABREU & ABREU, 2011; AMARAL, et al, 2011).

Conforme, a umidade relativa e a temperatura ambiente ultrapassam a zona de conforto térmico, existe um aumento da suscetibilidade das aves ao estresse calórico, gerando dissipação do calor, promovendo como resultado a temperatura corporal da ave, impactando negativamente sobre o desempenho (BORGES et al., 2003).

Os aviários do Brasil, geralmente possuem altas temperaturas e altas umidades, e, diante dessa situação, há uma dificuldade do organismo das aves em transferir calor para o ambiente, ocorrendo uma alteração comportamental, resultando na redução da produção. Segundo Yahav et al. (2005), essa dificuldade na perda de calor para o ambiente pode ser aferida na pequena variação de temperatura entre a superfície da ave e o ar que a envolve. Logo, a elevação da temperatura superficial da ave pode apontar que a mesma está tendo dificuldades para perder calor, provavelmente, indicando estresse por calor.

Segundo Welker et al. (2008), a elevação da temperatura das aves está intimamente ligada ao aumento da temperatura do ambiente, corroborando com os demais autores. Assim, um ambiente considerado confortável para as aves é aquele em que não ocorre nenhuma perda de energia pelo animal, seja para equilibrar o frio ou para dissipar o excesso de calor corporal.

Há uma constante no que diz respeito aos avanços com relação à melhora do conforto das aves. O conforto térmico dentro dos aviários é realmente impactante, tendo em vista que

condições desajustadas prejudicam sensivelmente a produção de frangos de corte (MOURA et al., 2006; SANTOS et al., 2009).

2.1.1 Parâmetros Ambientais para produção de frango de corte

Segundo Nazareno et al. (2009), há conforto no ambiente quando as aves possuem condições ideais para manifestar seu máximo desempenho. Porém, as diferenças que existem entre os limites escolhidos como condições de conforto nos sistemas de criação de aves, tornam difícil sua adequada execução em campos produtivos (RODRIGUES et al., 2010).

A relação entre os elementos químicos, biológicos e físicos fazem parte do ambiente interno do aviário, podendo ser determinantes para o sucesso ou fracasso da atividade. Um dos grandes desafios para esse tipo de atividade em países tropicais é o controle do ambiente, principalmente no tocante aos altos níveis de umidade e temperatura característica dessas regiões (FURLAN, 2006).

Banhazi et al. (2008) apregoa que os atributos ambientais de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, os parâmetros aéreos de concentração de gases (dióxido de carbono, amônia, monóxido de carbono), a presença de poeira e micro-organismos no interior das instalações são fatores utilizados para avaliar o ambiente em que as aves estão alocadas e que influenciam na qualidade de vida do frango de corte e, por consequência a sua produção e bem-estar.

2.1.2 Ambiente para produção de frango

Baêta e Souza (2010) dialogam que o ambiente de produção é qualificado por um conjunto de elementos, sendo eles, físicos, químicos, sociais e climáticos, que agem simultaneamente e desempenham influências sobre os animais favorável ou desfavorável ao desenvolvimento biológico, ao comportamento produtivo e reprodutivo das aves. O conceito de ambiência está correlacionado com o microclima no interior das instalações, que é naturalmente influenciado pelas condições climáticas externas.

Observa-se que para a melhor das hipóteses, enxergar-se que a ação dos fatores meteorológicos varia de acordo com a posição geográfica da unidade de produção e período do ano, que por sua vez, condicionam as variáveis ambientais, com existência de variações no período de 24 horas (NAZARENO et al., 2013).

A partir desses apontamentos, Ponciano et al. (2011) incrementam que o sistema de criação intensivo influencia diretamente na condição de bem-estar das aves, promovendo o balanço de calor do sistema ave-galpão, na qualidade do ar e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando assim, o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte.

2.1.3. Índice de Conforto térmico

Salgado et al. (2007) afirma que há uma considerável interferência na produção das aves dependendo do conforto térmico das condições no interior das instalações. Porém, os problemas zootécnicos no Brasil têm sido enfrentados com certo descaso, no tocante às influências do ambiente tropical sobre o desempenho dos animais. Dessa forma, o manejo ambiental tem sido amplamente difundido, no sentido de melhorar as condições de conforto do animal, em função da influência dos atributos climáticos em favorecer ou prejudicar o seu desempenho (NÓBREGA et al., 2011).

A faixa de temperatura ambiente onde há taxa mínima metabólica e a homeotermia é mantida com menor gasto energético, define adequadamente o que é zona de conforto térmico. Quando há elevação da temperatura acima da zona termoneutra (temperatura do ar, T_a , $\sim 24^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar, $UR \sim 70\%$), as aves perdem a capacidade de dissiparem calor. Consequentemente, fica evidente o estresse calórico das aves, devido ao aumento da temperatura corporal (YAHAV et al., 2005; CURTO et al., 2007). Assim, a zona de conforto térmico pode ser definida como a faixa de temperatura ambiente em que o gasto energético é mínimo para a manutenção da homeotermia e o desempenho produtivo é máximo (FURLAN; MACARI, 2002).

O interior dos aviários, para aves adultas, devem oscilar entre 15 e 28°C , com a umidade relativa do ar variando entre 40 a 80% e uma velocidade do vento entre $0,2$ e $3,0\text{ ms}^{-1}$ (FERREIRA, 2005). Quando a ave se encontra na zona de conforto, ela está em equilíbrio térmico (TAKAHASHI et al., 2009).

Quando as aves de postura estão em estresse térmico, há uma série de consequências ligadas a esse estresse, como à diminuição do consumo da ração, menor taxa de crescimento, maior consumo de água, aceleração do ritmo cardíaco, queda na produção de ovos e maior incidência de ovos com casca mole (TINÔCO, 2001; SILVA et al., 2005; JÁCOME et al., 2007).

De acordo com Abreu e Abreu (2011), para o conforto fisiológico das aves, considera-se que a temperatura no interior da instalação corresponda à zona de conforto térmico (ZCT),

cujos extremos são limitados pela temperatura crítica inferior (TCI) e a temperatura crítica superior (TCS), conforme observa-se na Tabela 1, dependendo da idade da ave.

Tabela 1 - Valores de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS) de acordo com a fase da ave

Fase	TCI (°C)	ZCT (°C)	TCS (°C)
Recém nascido	34	35	39
Adulta	15	18 a 28	32

Fonte: Curtis (1983)

2.1.3.1 Homeotermia

Segundo Souza (2005), as aves são animais homeotermos, ou seja, são capazes de manter a temperatura interna constante. Esse processo metabólico só tem sua eficácia quando a temperatura ambiente estiver dentro dos limites de termoneutralidade, intimamente relacionada a um ambiente térmico ideal, no qual as aves encontram condições perfeitas para expressar suas melhores características produtivas.

A homeotermia é a capacidade da ave em manter a sua temperatura corporal constante (COSTA et al., 2012), e pode ser comprometido pelas flutuações de temperatura e umidade relativa do ar, que são elementos altamente correlacionados ao conforto térmico animal (OLIVEIRA et al., 2006).

A faixa de temperatura na qual as aves apresentam máximo desempenho é indicada como sendo a faixa de temperatura ambiente, onde a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menor gasto energético (FERREIRA, 2005). Portanto, a zona de conforto térmico é aquela em que a resposta animal ao ambiente é positiva e a demanda ambiental é conciliada com a produção basal, acrescida da produção de calor equivalente à atividade normal e do incremento calórico da alimentação. Nessa zona (variável para cada tipo de fase e manejo), a temperatura corporal é mantida com a mínima utilização de mecanismos termorreguladores (BARBOSA FILHO, 2004).

Quando as aves são submetidas a estresse, processos fisiológicos são ativados para manutenção da homeotermia corporal, reduzindo a energia destinada à produção (MACARI; FURLAN; MAIORKA, 2004; YAHAV et al., 2005). Mudanças no ambiente de criação que diminuam as condições de estresse podem melhorar o conforto do animal, seu bem-estar e, consequentemente, a produção (JONES; DONNELLY; DAWKINS, 2005). O conhecimento das variáveis climáticas, sua interação com os animais e as respostas comportamentais e fisiológicas são preponderantes na adequação do sistema de produção (NEIVA et al., 2004).

Segundo Moura et al. (2006), o conforto térmico no interior de instalações avícolas é fator de alta importância, pois condições inadequadas afetam consideravelmente a produção de frangos de corte.

2.1.3.2 Entalpia

Uma variável usada frequentemente como indicador de conforto térmico, a entalpia quantifica a energia térmica a ser retirada do ambiente para que possa existir condições térmicas de sobrevivência dentro de uma instalação (RODRIGUES et al., 2010).

Para cálculo dos índices de entalpia, utiliza-se temperatura e umidade relativa do ar, levando em conta as fases de desenvolvimento das aves, ou seja, cada semana do ciclo de produção (QUEIROZ et al., 2012).

De acordo com o descrito por Furlan (2006), os produtores não precisam se preocupar com o estresse calórico até a terceira semana de idade, devido ao desenvolvimento da ave e à consequente maturação do sistema termorregulador.

2.1.4 Conforto Térmico para aves

A zona de conforto térmico consiste em sua temperatura corporal normal, onde o animal esforça minimamente o sistema termorregulador, não existindo a sensação de frio ou calor. Saindo dessa zona de conforto, o animal tem limites na termorregulação para o frio e para o calor.

Segundo Reis (2014), o estresse térmico ou mesmo desconforto térmico ocorre quando há um aumento excessivo da temperatura corporal ocasionado pelo aumento do metabolismo (sobrecarga fisiológica), influenciado ou não pelas condições ambientais (sobrecarga térmica). Rodrigues et al. (2011) mencionam que as condições microclimáticas das instalações são utilizadas como elementos decisivos para acionar sistemas de climatização e que alguns autores, a exemplo de Vigoderis et al. (2010) consideram que uma análise conjunta da temperatura e umidade relativa do ar nos ambientes zootécnicos é importante para verificar a situação de conforto e estresse a que os animais estão submetidos.

Hafez (1973) citado por Abreu e Abreu (2011) propôs um diagrama de temperaturas (Figura 3) em que são mapeadas as diferentes faixas de temperaturas, onde é mostrado a zona de conforto térmico onde o animal está em equilíbrio térmico, onde sua produção e gasto de calor são iguais.

Num primeiro momento, o animal, em resposta ao frio, busca o Sol, lugares secos, pouca ventilação, piso aquecido, reduzindo consumo de água e aumentando consumo de alimento. O sistema termorregulador do animal tenta conservar a temperatura corporal estável (faixa entre

A e A'), conforme Figura 3. Quando a temperatura sai da zona de conforto para baixo (redução da temperatura ambiente) o animal utiliza de ajustes funcionais de resposta rápida como vasoconstricção e piloereção, que resultam em uma leve conservação de calor (faixa entre A e B). Se a temperatura ambiente continua reduzindo, o animal aumenta o seu metabolismo, através do aumento da atividade muscular e aumento do consumo de ração, consequentemente, aumenta a produção de calor (faixa entre B e C). Porém, caso a temperatura do ambiente continue diminuindo, o animal perde a capacidade de produzir calor, sua temperatura corporal começa a baixar rapidamente até atingir a temperatura letal (hipotermia) e o animal morre de frio (faixa entre C e D). Quando a temperatura ambiente sobe acima da zona de conforto térmico o animal lança mão de ajustes funcionais rápidos como a vasodilatação, aumento da frequência respiratória (taquipnéia) aumentando a perda de calor (faixa entre A' e B'), no entanto, se a temperatura ambiente continuar aumentado, o animal reduz o metabolismo, aumenta o consumo de água e tenta maximizar a perda de calor pela sudorese e taxa respiratória (faixa entre B' e C'). Com um contínuo aumento da temperatura esses ajustes funcionais não surtem mais efeito e a temperatura corporal começa a aumentar, sem opções para aumentar a perda de calor, a temperatura do corpo começa a subir (hipertermia) e o animal morre (faixa entre C' e D').

Figura 3 - Zona de conforto térmico

Fonte: Adaptado de HAFEZ (1973) citado por ABREU E ABREU (2011)

Baêta e Souza (2010) dialogam que o ambiente de produção é qualificado por um conjunto de elementos, sendo eles, físicos, químicos, sociais e climáticos, que agem simultaneamente e desempenham influências sobre os animais favorável ou desfavorável ao desenvolvimento biológico, ao comportamento produtivo e reprodutivo das aves.

Segundo Vale et al. (2008), no Brasil as perdas produtivas decorrentes de ondas de calor e das altas temperaturas distribuídas durante o ano são comuns na produção de aves, por isso, são utilizados cada vez mais métodos de acondicionamento ambiental e, portanto, existe um maior gasto de energia elétrica para melhorar o ambiente de alojamento, com o intuito de se alcançar o bem-estar animal, aumentando a produtividade e a rentabilidade.

Presente à realidade local e, se tratando de pequenos produtores rurais com características de produção em pequena escala e baixa economia para investimentos, a priori, busca-se alternativas viáveis que possam ser discutidas e implementadas, com escopo de contribuir para efeito de maior ganho produtivo e melhor condições de conforto para aves, como por exemplo, a observação da construção do aviário tomando como decisão os sentidos do nascer e pôr do sol. Assim, a posição da estrutura ou do aviário, no caso, é altamente responsável

pelo controle mais eficiente das variáveis climáticas, pois a orientação da construção auxilia no controle de temperatura e umidade relativa do ar interno no ambiente aviário (Figura 4).

Figura 4 – Orientação do galpão em relação ao Sol

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2003)

2.1.5 Estresse Térmica

As condições ambientais, em especial a temperatura inadequada, a umidade relativa e o tempo de exposição têm um grande impacto no bem-estar, na mortalidade e no desempenho de frangos de corte (DAWKINS et al., 2004; JONES et al., 2005). Assim, todos os esforços para melhor monitorar e controlar as condições ambientais terão um impacto direto no bem-estar das aves. Elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar no interior das instalações, especialmente no verão e nas horas mais quentes do dia, podem limitar a produtividade e o bem-estar das aves, afetando o desempenho final do lote e comprometendo os aspectos econômicos da atividade (CARCALHO, 2012).

De acordo com Baêta e Souza (2010), a umidade relativa do ar exerce grande influência no bem-estar e na produtividade do animal, principalmente se muito baixa, causando diversas doenças no aparelho respiratório ou, se muito alta, quando associada a altas temperaturas do ar, dificultando a dissipação de calor corporal por processos evaporativos.

Dessa maneira, tanto temperaturas altas ou baixas causam oscilações no comportamento das aves e, como consequência dessas variações é possível observar diminuição no consumo de ração, aumento no peso corporal, queda na produção, dentre outros problemas (MASHALY et al., 2004). Estudos observaram que aves expostas a condições de estresse térmico por calor apresentaram alto risco de perda produtiva, podendo inclusive leva-las à morte (NIENABER & HAHN, 2004; SALGADO, 2006; VALE et al., 2008).

Segundo Abreu e Abreu (2011) e Biaggioni et al. (2008), um dos grandes desafios da avicultura moderna é fazer a projeção e adequação das instalações avícolas, de modo que não afete os custos da produção, permitindo equilíbrio da temperatura e umidade relativa do ar, ao passo que mantenha um ambiente de conforto térmico de acordo com as necessidades das aves.

São determinantes para a qualidade do ambiente no interior das instalações avícolas, influenciando na qualidade de vida das aves, os efeitos concordados das variáveis ambientais, tais como temperatura, velocidade e umidade do ar, taxa de ventilação e concentração de partículas, gases e micro-organismos no ar (BANHAZI et al., 2008; SARAZ et al., 2010).

No Brasil, o período mais crítico para a criação de frangos de corte ocorre entre os meses de outubro a março (OLIVEIRA et al., 2006; CARVALHO et al., 2009). Enquanto, Silva et al. (2005) verificaram que o mês mais crítico é janeiro.

2.2 Tipologia de Aviários

2.2.1 Tipologias construtivas

As diferentes tipologias construtivas são caracterizadas pela variabilidade de tecnologias e sistemas operacionais adotados nos aviários, e podem ser classificadas em sistemas convencionais, semi-climatizados ou automatizados, climatizados, dark house e blue house, conforme descrição de Garcia; Ferreira Filho (2005) e Abreu & Abreu (2011):

- Os aviários com sistema convencional partem do condicionamento térmico natural, não fazendo o controle artificial da temperatura interna, assim, não possuem forro. Suas cortinas normalmente são de rafia branca, amarela ou azul. E o sistema de nutrição das aves baseiam-se em bebedouros pendulares e comedouros tubulares.
- Os semiclimatizados, buscam o controle de temperatura interna a partir de ventiladores em pressão positiva (pressurização), podendo ou não ter forração. As cortinas também seguem os padrões de rafia branca, amarela ou azul. Os bebedouros passam a ser pendulares ou nipple, e os comedouros são tubulares ou automáticos.

2.2.2 Orientação dos galpões

Os fatores construtivos mais importantes de uma edificação em criação intensiva são a orientação das edificações e o material utilizado na construção da cobertura (NÄÄS, 2005).

Com relação ao eixo longitudinal do aviário em climas quentes deve ser orientado na direção leste-oeste, o qual propicia às aves melhor conforto térmico. Isso ocorre com o intuito de que a superfície exposta a oeste seja a menor possível, evitando-se sobreaquecimento pela forte insolação nas longas tardes de verão. Isso irá minimizar a incidência direta do sol sobre os animais através das laterais da instalação, já que o movimento aparente do sol se dará sobre a cumeeira durante todo o dia (SARAZ et al. 2010).

Estudos recentes realizados por Welker et al. (2008), avaliaram a influência da orientação das instalações na carga térmica de radiação (CTR) e na temperatura média corporal (TMC), comprovaram que o modelo que apresentou melhor comportamento foi aquele cuja orientação estava orientada no sentido Leste-Oeste, quando comparado com aquela orientada no sentido norte-sul.

A orientação da construção deve ser no sentido Leste-Oeste, a fim de evitar que nos meses de verão os raios solares incidam diretamente sobre as aves. No inverno, quando o sol tem sua trajetória alterada, haverá uma pequena incidência de insolação dentro do galão, porém, nesses períodos não é prejudicial. Na construção do galpão, a orientação é observar a trajetória do sol, que deve passar por cima da cumeeira. O sol não é imprescindível à avicultura. Se possível, o melhor é evitá-lo dentro dos aviários. Assim, os galpões devem ser construídos com o seu eixo longitudinal orientado no sentido Leste-Oeste.

2.2.3 Sistema de ventilação por pressão positiva

As vantagens relacionam ao menor custo de implantação e menores concentrações de gases, que se dá pelo sistema ser aberto. Dentre as desvantagens desse sistema, pode-se citar: fluxo de ar fica de difícil controle devido a interferência da ventilação natural, que varia de intensidade e direção, prejudicando o sistema (EMBRAPA, 2003).

A ventilação pode ser classificada como, ventilação natural ou espontânea, que se divide em: ventilação dinâmica e térmica, e ventilação artificial (mecânica ou forçada), que se divide em pressão positiva (pressurização) e pressão negativa (exaustão) (ASAE, 1998), devendo ser utilizada de acordo com condições climáticas onde a granja está localizada (NÄÄS et al., 1995).

No sistema de ventilação com pressão positiva o ar externo é forçado, para dentro da instalação por meio de ventiladores. Esse sistema é o mais comum nos aviários de construção

aberta, podendo ser de dois tipos: em modos túnel e lateral (SARAZ et al., BAÊTA; SOUZA, 2010).

Por ser um procedimento contínuo, tanto o excesso como a falta de ventilação, podem interferir no resultado final do processo de produção de frangos (MOURA, 2001).

2.2.4 Ventilação artificial

A ventilação artificial é empregada para retirar resíduos da respiração das aves, da cama de frango e controlar algumas variáveis meteorológicas no ambiente interno, onde o fluxo natural de ar, por si só não é o bastante para esta função. Neste caso, a renovação do ar é forçada através da utilização de equipamentos e outros métodos. Os equipamentos especiais, como exaustores e ventiladores são acionados sempre que as condições naturais de ventilação não proporcionam adequada movimentação do ar ou abaixamento de temperatura. Tem a vantagem de permitir filtragem, distribuição uniforme e suficiente do ar no aviário e ser independente das condições atmosféricas. Permite fácil controle da taxa de ventilação através do dimensionamento dos ventiladores, das entradas e saídas de ar (MENDES, 2005).

Carvalho et al. (2004) afirmam que a climatização por meios artificiais é, sem dúvida, uma das medidas mais eficientes para controle do ambiente. Porém, para se adotar um sistema de climatização tem que se levar em conta o nível tecnológico da exploração, o potencial genético dos animais e, sobretudo, o nível de mão-de-obra.

2.2.4.1 Ventilação Artificial - Pressão Positiva

O sistema de pressão positiva ou pressurização é composto por ventiladores que podem ser distribuídos de forma longitudinal ou transversal. Quando dispostos transversalmente devem ficar a favor dos ventos predominantes, como mostrado na Figura 5 (ABREU, 2003).

Nesse tipo de ventilação artificial o ventilador tem a função de movimentar o ar no galpão de maneira uniforme, para evitar as chamadas —zonas mortas, ou seja, áreas onde não é possível a renovação do ar e diminuição da umidade, tornando essas áreas inóspitas e prejudiciais às aves. A eficiência desse sistema está intimamente relacionada à quantidade, distribuição e posição, assim como da vazão dos ventiladores.

Figura 5 - Sistema de ventilação positiva com formação de túnel

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2003)

2.2.4.2 Cortinas

As cortinas têm a função de evitar a entrada de água da chuva, frios e correntes de ar (SANTOS et al., 2009). Para Vercellino et al. (2013) a cortina de cor azul confere melhor ambiente térmico para frangos de corte quando comparado as cores preta e amarela.

2.2.4.3 Material de cobertura

A alta incidência de radiação solar sobre a cobertura das instalações avícolas é um dos principais causadores do estresse térmico nos aviários. O grande desafio para avicultura no Brasil é o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo que proporcionem às aves condições ambientais favoráveis para que estas possam expressar todo o seu potencial genético, uma vez que materiais isolantes são relativamente caros (MACHADO et al.2012).

A cobertura ideal para as condições brasileiras deve apresentar grande capacidade de reflexão, ter considerável capacidade de isolamento e retardo térmico (BAÊTA, 2010), já que o telhado pode ser considerado o elemento construtivo mais importante em uma instalação avícola, quanto ao controle da radiação solar incidente (NÃÃS et al.2010).

O telhado é o componente construtivo que representa maior relevância em uma instalação voltada para a avicultura de corte, e isso se deve pela abrangência de área que recebe radiação solar (SAMPAIO; CARDOSO; SOUZA, 2011).

2.2.5 Sistemas de Controle

A produção de aves em instalações controladas, usualmente proporciona desempenho superior quando comparada com aves produzidas em ambientes naturalmente ventilados, e isso se deve ao fato de que as condições ideais de conforto da ave podem ser mantidas (GLATZ; PYM, 2007).

O monitoramento das condições do ambiente auxilia na verificação das necessidades de adequação em momentos desfavoráveis, tornando possível certificar que os aspectos citados anteriormente sejam reestabelecidos conforme prioridades das aves (ABPA, 2017).

2.2.6 Tipos de ventilação

Abreu e Abreu (2011) classificaram as instalações avícolas em diferentes sistemas, denominando-os e diferenciando-os em função das tecnologias empregadas. Nesse estudo, foram tipificados sistemas, tais como: o convencional, semiclimatizado, climatizado, *Dark house*, *Brown house*, *Blue house* e *Green house*, além de aviários gigantes. Dentre esses, pode-se destacar alguns, a exemplo do sistema convencional, caracterizado por possuir comedouro tubular, bebedouro pendular e sem forro, não possuindo sistema de controle artificial da temperatura com condicionamento térmico natural, além de ter cortinas de ráfia como vedação.

Já o sistema semiclimatizado possui comedouro tubular ou automático, bebedouro pendular ou *nipple* e ventiladores em pressão positiva, podendo ou não ter forro, além de deter cortina de ráfia. Por fim, o sistema climatizado se caracteriza por apresentar controle das condições térmicas ambientais em maior proporção que os anteriores. Possui comedouro automático, bebedouro nipple e ventiladores em pressão positiva ou exaustores em pressão negativa. Tem sistema de resfriamento alternando entre nebulização ou “padcooling”, podendo ter ou não forro ou defletores e gerador de energia, dependendo da densidade populacional de aves, além de deter cortina de ráfia (ABREU & ABREU, 2011).

No sistema de ventilação por pressão negativa o ar é succionado por exaustores de dentro para fora, criando um vácuo parcial no interior da construção; desse modo, succionando o ar externo. No sistema de ventilação com pressão positiva o ar externo é forçado, por meio

de ventiladores, a entrar na construção, criando gradiente de pressão de fora para dentro da instalação. Esse sistema é o mais comum nos aviários de construção aberta, podendo ser de dois tipos: em modos túnel e lateral (BAÊTA & SOUZA, 1997; ABREU & ABREU, 2011; TINÔCO, 2001).

2.3 Climatologia

Segundo GUIMARÃES (2009), a vasta extensão territorial do Brasil implica em uma diversidade de climas que evidencia a necessidade da identificação dos diversos tipos de instalações avícolas e que sejam ideais no combate ao estresse por calor ou frio, pois cada região climática impõe exigência própria de arranjos com vistas ao conforto térmico.

A dinâmica do clima interno é determinada pelas taxas de ventilação que dependem do clima, do calor gerado internamente e do tamanho e localização das aberturas de ventilação. Entre as variáveis do tempo, a direção e a magnitude do vento são particularmente interessantes, devido ao seu papel crucial na definição das taxas de ventilação. Estudos anteriores demonstraram experimentalmente este fato em Saha et al. (2012).

As condições climáticas são as que mais diretamente afetam as aves, por comprometerem a manutenção da homeotermia, que é uma função vital (OLIVEIRA et al., 2006).

De acordo com Lavor, Fernandes e Sousa (2008) o desafio do controle térmico do ambiente interno de galpões avícolas é de fundamental importância para o sucesso da atividade em regiões como o Nordeste do Brasil, onde predominam elevadas temperaturas durante o ano todo. Bueno e Rossi (2004) ressaltam que, tratando-se de Brasil e de um clima tropical, verifica-se que, na grande maioria das regiões produtoras os problemas com estresse térmico são grandes.

Um desafio para manter a produção animal são as mudanças e variações do clima, uma vez que as aves são homeotérmicas e sensíveis a pequenas alterações na temperatura do ambiente (DAMASCENO, et al, 2010). Identificar os fatores que influenciam a qualidade de vida dos animais, como o estresse imposto pelas flutuações sazonais ambientais, permite realizar ajustes nas práticas de manejo, que levam à sustentabilidade e à viabilidade econômica (COSTA et al., 2012).

Faria et al. (2008) afirmaram que conhecer a variabilidade espacial do microclima de galpões de confinamento é um fator indispensável, e atributos como luminosidade e ventilação

natural influenciam no comportamento, no bem-estar e na produtividade dos animais confinados.

Segundo Ponciano et al. (2011) animais mantidos em temperaturas adequadas evitam o desperdício de energia metabólica contida na ração fornecida, pois praticamente não há gastos para a manutenção da temperatura corporal. Por essa razão é fundamental o controle do clima no ambiente de produção, para que as aves mantenham suas funções fisiológicas em estado normal e produzam de forma satisfatória.

2.3.1 Carga térmica radiante

Do ponto de vista bioclimático, um dos principais fatores que influenciam na carga térmica de radiação incidente são os telhados, principalmente em decorrência dos materiais de cobertura (IÁNGLIO et al., 2007)

Silva et al. (2007) constataram uma condição de ambiente pior e de peso corporal inferior (-8,8%) ao abate para frangos criados em galpões construídos com cobertura de cimento-amianto quando comparado à cobertura de telhas de barro. As telhas de cimento amianto esquentam muito com a incidência dos raios solares, nesse sentido, a pintura branca ajuda a diminuir a temperatura interna do galpão.

Savastano et al. (1997), analisando o desempenho térmico de coberturas de aviários comerciais em São Paulo – BR, concluíram que a telha de cimento amianto, pintada de branco na sua face externa, apresentou melhores resultados quanto ao conforto térmico, que a telha de cimento amianto sem pintura.

O uso de pintura branca nas telhas de cimento-amianto pode promover a reflexão de cerca de 70 a 88% dos raios solares, dependendo da natureza da tinta (KOENISBERGER et al., 1977).

Nääs et al. (2001) avaliaram as características térmicas de telha de celulose e telha de fibrocimento com pintura de látex branca em um galpão avícola de densidade 12 aves m⁻², no período de novembro a janeiro, construídos na orientação leste-oeste. Avaliando os índices médios de CTR e ITGU, os autores chegaram à conclusão de que a telha de fibrocimento com uma demão de pintura branca, apresentou os maiores valores de umidade relativa às 8 h 30 min; já a telha à base de fibras de celulose mostrou os menores valores de temperatura de bulbo seco às 14 h 30 min. Quando avaliadas sob o ponto de vista de índices de CTR e ITGU, às 14 h 30 min, o ambiente sob o telhado no qual foi utilizada a telha de fibrocimento indicou os piores

valores. Não houve diferença estatística entre os ambientes resultantes dos dois tratamentos que utilizaram as telhas à base de fibra de celulose.

2.4 Sustentabilidade Energética

A adequação do sistema elétrico de uma empresa é uma forma de conservar e racionalizar a energia consumida por parte desta produção o que contribui para melhoria e qualidade do uso da energia elétrica, com consequente redução de custos operacionais e tarifários, mantendo, igualmente, o conforto e os benefícios que ela proporciona (SALLES e TEIXEIRA, 2003).

O uso de energias renováveis pelas indústrias é uma ação estratégica que exige planejamento e responsabilidade ambiental, além de amplo envolvimento e conhecimento quanto aos recursos provenientes da natureza. (RODRIGUES, 2006).

Nessa perspectiva, pressupõe-se que a demanda excessiva por geração de energia reduz oportunidades de desenvolvimento e prejudica o meio ambiente (COHEN, 2002) e, em um cenário no qual se verifica uma tendência de crescimento na demanda de energia mundial, principalmente em decorrência da melhoria da qualidade de vida nos países emergentes, eleva-se a preocupação com os inúmeros aspectos de planejamento de políticas energéticas (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008).

O Brasil tem sido exemplo mundial no uso de energias renováveis ao manter, desde os anos 1970 até 2009, matriz energética que oscila entre 61% (1971) e 41% (2002) originada de fontes renováveis. (IPEA, 2010). Possui uma estrutura agrícola que contribui para o desenvolvimento de políticas sustentáveis para o crescimento da produção de álcool e outros produtos de base renovável, é necessário o investimento na estrutura e em projetos para promover o conhecimento necessário. (RODRIGUES, 2006).

2.5 Tecnologias emergentes aplicadas ao controle térmico

2.5.1 IoT (Internet das Coisas)

O termo “Internet das Coisas” (IoT) é um termo cunhado primeiro por um Visionário britânico, Kevin Ashton, em 1999. Como a frase “Internet of Things” revela, o paradigma da IoT irá fornecer um universo tecnológico, em que muitos objetos físicos ou “Coisas”, como sensores, ferramentas e equipamentos do dia a dia aprimorados pelo poder de computação e

recursos de rede serão capazes de desempenhar um papel, seja como unidades individuais ou como uma rede de sensores repleta de dispositivos heterogêneos.

O uso de IoTs leva a um grande volume de dados que fornece informações úteis. Por essa razão, muitos estudos tentaram transformar esses dados em informação e conhecimento úteis, conforme pesquisado em (KAMILARIS et al., 2017). A estrutura da IoT é baseada em três camadas; ou seja, a camada de percepção (sensoriamento), a camada de rede (transferência de dados), e a camada de aplicação (armazenamento e manipulação de dados). Os algoritmos necessários para lidar com os dados distribuídos em tempo real são complicados demais para serem executados localmente em um nó de rede de sensores sem fio (WSN) de baixa energia.

No entanto, no contexto da IoT, todos os objetos serão interconectados e, portanto, a sobrecarga computacional pode ser facilmente transferida para a nuvem ou ser distribuída entre vários dispositivos interconectados.

2.5.1.1 Aplicações IoT

Nos últimos anos, as IoTs foram aplicadas em muitos estudos, conforme pesquisado em (OJHA et al., 2015; TALAVERA et al., 2017). As aplicações da tecnologia no campo da agricultura são usadas para melhorar o rendimento ou a qualidade das colheitas e reduzir os custos. A aplicação de RSSF na agricultura de precisão auxilia os agricultores de forma estatística, ajudando-os a tomar decisões melhores e bem informadas (FANG et al., 2014; KODALI et al., 2014).

Nessa otimização da agricultura, a instalação de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) em campo melhorou a eficácia e eficiência dos agricultores (FANG et al., 2014; HASHIM et al., 2015; KODALI e cols., 2014). Pode ajudar a avaliar variáveis de campo, como estado do solo, condições atmosféricas e biomassa de plantas ou animais. Também pode ser usado para avaliar e controlar variáveis como temperatura, umidade, vibrações ou choques durante o transporte do produto (PANG et al., 2015).

2.5.2 ESP 8266

O programa para o ESP8266 - é um microcontrolador que inclui capacidade de comunicação por Wi-Fi - tem como objetivo permitir a configuração do modo de operação do dispositivo e mostrar os dados obtidos dos sensores através de páginas da Web, além de enviar

os dados recebidos para ThingSpeak (2015) quando conectado ao Wi-Fi via infra-estrutura. No início, o ESP8266 executa todas as configurações necessárias, que incluem a leitura EEPROM para verificar a existência de uma chave a ser usada para gravar no ThingSpeak.

Na primeira execução do dispositivo, isso funcionará como um Ponto de Acesso, criando uma nova rede Wi-Fi. No caso em que o ESP8266 já tenha executado e realizado uma conexão com outro Wi-Fi antes, esta rede é armazenada e o dispositivo tentará se conectar. Se ele se conectar, o ESP8266 atuará como uma estação. No entanto, se a conexão não puder ser feita, o dispositivo será executado no modo de ponto de acesso. Nos dois modos de operação, o dispositivo hospedará páginas HTML que permitem definir o modo de operação e mostrar os valores dos sensores, além da recepção de dados da comunicação serial, que são tratados e armazenados.

Enquanto, no modo Access Point, o ESP8266 gera uma rede Wi-Fi com SSID (nome) visível e uma senha pré-programada com criptografia WPA2 PSK. Nesse modo, o dispositivo hospeda páginas da Web que permitem verificar os valores reais do sensor e configurar uma conexão com uma rede Wi-Fi externa. Após a conexão a um Wi-Fi externo, o ESP8266 é executado no modo Station e as páginas hospedadas em HTML podem ser acessadas no endereço `espweb.local` (mDNS) ou pelo IP (que não é estático). No modo de estação, o dispositivo concede o acesso a páginas em que você pode: desconectar do Wi-Fi real; conectar-se a outra rede Wi-Fi; definir a tecla de gravação para o canal em ThingSpeak; mostrar os últimos valores recebidos dos sensores.

2.5.3 RSSF

As redes de sensores sem fio (rssf) se tornaram um fenômeno emergente na indústria, tanto para fins civis quanto militares. Eles consistem em centenas ou milhares de nós sensores minúsculos, conectados uns aos outros através de protocolos de comunicação sem fio (WIESELTHIER et al., 2002, POTDOR et al., 2009). Os nós sensores cooperam (ZHANG et al., 2009), juntos para detectar, computar e transmitir as informações de ambientes físicos hostis para a estação base externa ou para o coletor.

Atualmente, os campos comerciais e industriais empregam WSNs para uma ampla gama de aplicações, como saúde, rastreamento de alvos, monitoramento ambiental, monitoramento meteorológico, sistemas de apoio a decisões, controle de inventário, monitoramento de habitats de animais selvagens, residências inteligentes, detecção de material bioquímico, gestão de desastres, vigilância e agricultura (ARAMPATZIS et al., 2005). A agricultura inteligente utiliza

tecnologia de informação e comunicação na gestão cultiva ciclos físicos fazendo uso do ciberespaço (WOLFERT et al., 2017)

Como afirmado nas especificações IEEE 802 (2011), esse padrão abrange vários tipos de aplicações e propósitos. A meta estabelecida por esse padrão é oferecer conectividade sem fio para estações fixas, portáteis e móveis dentro de uma área local.

Instalar uma rede de sensores sem fio Rede (RSSF) no campo aumentou a eficácia e a eficiência dos agricultores (FANG et al., 2014; HASHIM et al., 2015; KODALI et al., 2014).

A aplicação da RSSF na agricultura de precisão auxilia os agricultores de forma estatística, ajudando-os a tomar melhores decisões a partir de informações precisas (FANG et al., 2014; KODALI et al., 2014).

Ahuja et al. (2013) desenvolveu um sistema de monitoramento e controle de microclima online para estufas. O sistema foi apoiado por uma RSSF para coleta e análise de dados de sensores relacionados a plantas para fornecer controle do clima, fertilização, irrigação e pragas.

As redes de sensores sem fio fazem parte da camada de percepção encontrada na Internet das coisas (TALAVERA et al., 2017; TZOUNIS et al., 2017). Rede de sensores sem fio requer vários nós para formar uma rede (MUYUNDA & PHIRI, 2016). Os nós sensores continuamente ou em intervalos definidos detectam dados do ambiente e envie os dados para o nó sink (MAHMOOD et al., 2014). O nó sink coleta os dados dos nós sensores para visualização local e envio para armazenamento. Os dados dos nós sensores podem ser acessados remotamente pela Internet ou por outros meios pelos usuários (CHASE et al., 2014).

As redes fornecem melhores métodos de monitorização das condições ambientais do que os métodos manuais. As redes de sensores sem fio são agora uma realidade com aplicações em Smart Grids, Smart Environments e comunicação máquina a máquina (OTHMAN, 2012).

2.5.4 Wi-Fi

WiFi é um padrão de rede local sem fio (WLAN) para troca de informações ou conexão à Internet sem fio baseado na família de padrões IEEE 802.11 (IEEE 802.11, 802.11a / b / g / n) (Norma IEEE para Informação tecnologia, 2005). Atualmente, é a mais utilizada tecnologia sem fio encontrada em dispositivos que vão desde inteligente telefones e tablets para desktops e laptops. WiFi fornece um faixa de comunicação decente na ordem de 20 m (interior) para 100 m (outdoor) com taxa de transmissão de dados na ordem de 2 a 54 Mbps a frequência de 2,4

GHz da banda ISM. Na agricultura aplicações, WiFi amplia o uso de arquiteturas heterogêneas conectando vários tipos de dispositivos em um servidor ad-hoc rede.

2.5.5 Sensores

Embora o monitoramento e controle de múltiplos sensores em tempo real das condições ambientais (além da temperatura) não seja comumente aplicado em fazendas comerciais de aves, os avanços atuais em tecnologia de sensoriamento, com maiores capacidades a preços acessíveis, serão permitir o desenvolvimento de sistemas para um controle preciso do ambiente de produção.

Alguns exemplos de desenvolvimentos atuais incluem sistemas de sensoriamento múltiplo para monitorar a temperatura ambiente, a pressão atmosférica interna diferencial e a velocidade do ar em bandos de frangos de corte para avaliar automaticamente a adequação do projeto do sistema de ventilação e funcionamento, que é altamente relevante para proporcionar um ambiente confortável para aves de capoeira (BUSTAMANTE et al., 2012).

Dados de diversas fontes são coletados através de sensores inteligentes e compilados para um banco de dados central, onde serão posteriormente analisados para criar um sistema de gerenciamento automático baseado em monitoramento em tempo real para controlar o desempenho animal, saúde e bem-estar (BERCKMANS, 2014).

De acordo com Mollo et al. (2009), a PLF deve ser capaz de gerenciar automaticamente equipamentos comerciais de frangos de corte (incluindo alimentadores, ventiladores, sistemas de aquecimento e sprinklers) com base nas informações coletadas. Diferentes estudos sobre frangos de corte e galinhas poedeiras têm demonstrado a importância da tecnologia e da PLF para estudar o comportamento e o bem-estar das aves (BERCKMANS, 2014; MOURA et al., 2011).

Embora, a maioria das tecnologias ainda esteja na fase experimental, algumas já estão disponíveis e podem ser introduzidas em fazendas comerciais de aves com bons resultados (MARCHEWKA et al., 2013; KASHIHA et al., 2013).

2.5.6 MQTT

É um Protocolo de Telemetria, inventado pela IBM em 1999 extremamente simples, para redes de baixa largura de banda, alta latência ou não confiáveis. Ideal para estruturas M2M (máquina a máquina) ou Internet das Coisas, por ser desenhado para garantir a confiabilidade e

recursos de banda reduzidos (International Business Machines Corporation (IBM) Eurotech, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o período de 17 de novembro de 2018 a 25 de janeiro de 2019 no aviário 3 do Laboratório de Avicultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, localizado na cidade de Pirassununga, região Centro-Leste do estado de São Paulo e, segundo a classificação Köppen possui características de clima subtropical Cwa, entre os meridianos de 21°57'38.43"S e 47°27'02.22"W (Figura 6).

Figura 6 - Localização do Município de Pirassununga, SP – Brasil

Fonte: Autoria Própria.

O aviário 3 é um aviário do tipo convencional, orientado no sentido Norte-Sul, possui as dimensões de 29,70 m de comprimento por 8,00 m de largura, 2,80 m de alturas laterais de cumeeira, altura de cumeeira de 3,32 m, paredes laterais de 50 cm de altura, telhas do tipo calhetão de fibrocimento, lanternim ondulado, piso de concreto, tela metálica de aço para separação dos boxes no interior do aviário, como pode ser observado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Planta Baixa do Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP

Fonte: Autoria Própria.

Figura 8 - Corte AA do Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP

Fonte: Autoria Própria.

O sistema de climatização do aviário 3 é composto por 4 ventiladores trifásicos, 4 climatizadores bifásicos (ventilador/aspersor), janelas laterais com telas aramadas para ventilação providas de cortinas de lona retráteis, sistema de abertura manual por manivelas e climatização por pressão positiva, conforme Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Aviário 3 do Laboratório de Avicultura da FZEA/USP

Fonte: Autoria Própria.

Figura 10 - Equipamentos de climatização do aviário

Legenda: (1) Ventilador; (2) Climatizador/aspersor; (3) Manivela; (4) Cortina retrátil azul e (5) Telhado de fibrocimento.

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas do sistema de climatização do aviário podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações técnicas dos Ventiladores e Climatizadores/Aspersores

Equipamento	Modelo	Corrente	Frequencia Nominal	Potencia Nominal	Tensão Nominal
Climatizador / Aspersor Joape Misting Fans	Guarujá	1,6 A/0,9 A	50Hz / 80Hz	174 W	110V/220V
Ventilador	Indução trifásico	1,7 A/0,97 A	60 Hz	367,75 W	220V/380V

Fonte: Autoria Própria.

3.1 Sistema de monitoramento e controle climático proposto

O sistema de monitoramento e controle climático foi composto por uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) instalados no aviário 3 que coletaram as variáveis físicas de temperatura do ar (T_{ar}), umidade do ar (U_{ar}), e temperatura superficial interna (T_{si}), armazenando-as em um banco de dados na nuvem, acionando ou desligando de forma automatizada, ou ainda, permitindo que o gestor acione ou desligue o sistema de climatização para que a T_{ar} aproxime-se ao máximo possível naquele instante da Temperatura ideal do ar (T_{id}) proporcionando o conforto térmico de acordo com a idade dos frangos de corte em produção. Na Figura 11, pode-se observar o diagrama de blocos do sistema de monitoramento e controle desenvolvido e implementado neste trabalho.

Figura 11 - Sistema de controle climático genérico

Fonte: Autoria Própria.

3.1.1 Hardware

Para monitorar e controlar as variáveis físicas T_{ar} , U_{ar} , T_{si} e T_{id} foram desenvolvidos uma RSSF, hardwares, módulos sensores e atuadores capazes de analisar T_{id} e controlar a T_{ar} através do acionamento dos equipamentos de ventilação.

Na construção do hardware e seus periféricos, foram utilizados hardwares e softwares livres compatíveis com tecnologia IoT, descritos nos próximos tópicos.

3.1.2 Sensor de Temperatura

O sensor digital de temperatura e umidade DHT11 é um de baixo custo. Ele usa um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar ao redor e envia um sinal digital no pino de dados (ADAFRUIT, 2019). O sensor DHT11 (Figura 12) possui coeficiente de

calibração, o que garante a precisão dos dados e sua estabilidade (JINKUANGWANG, et. al., 2015).

Figura 12 - Sensor DHT11

Fonte: AOSONG, 2018.

As especificações técnicas do sensor de temperatura e umidade DHT11 podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificações técnicas do Sensor de Temperatura DHT11

Sensor	Faixa de Medição	Precisão de medição umidade	Precisão de medição de Temperatura	Tempo de resposta	Alimentação
DHT11	20-90% UR 0-50 °C	± 5%UR	± 2 °C	2s	3-5VDC

Fonte: Adaptado de AOSONG, 2019.

3.1.3 Sensor LDR

O Sensor analógico de luminosidade *Light Dependent Resistor* (LDR) é um dispositivo semicondutor, com dois terminais que variam a resistência conforme a incidência de luz sobre ele, é um elemento não polarizado, sendo assim a corrente pode circular por ambos os sentidos. (MENDES; STEVAN, 2013). Essa incidência de luz tecnicamente mede a iluminância, que é uma grandeza expressada em Lux, e representa uniformemente distribuído sobre uma área de 1m² a incidência de 1 lúmen. (MARTHINS; VIANNA, 2010) (Figura 13).

Figura 13 - Sensor LDR

Fonte: Autoria Própria

As especificações técnicas do sensor LDR podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações técnicas do Sensor de LDR

Sensor	Resistência	Diâmetro	Tensão Máxima	Tensão de Operação	Alimentação
LDR	1M Ω (Lux 0)	5mm	150VDC	-30-70°C	3-5VDC
	10-20 K Ω (Lux 10)				

Fonte: Adaptado de AICOM, 2018.

3.1.4 Sensor Termopar tipo-k

O Módulo Sensor de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K é um excelente dispositivo capaz de fazer medições de temperaturas entre 0 a incríveis 800°C. O Termopar Tipo-k é feito de Chromel (liga de 90% níquel e 10% cromo) no polo Positivo e, Alumel (liga de 94,5% níquel, associado a manganês, alumínio e silício, ou chamado de Ni-Cr/Ni) no polo Negativo. (SENSE SENSORS & INSTRUMENTS, 2015) (Figura 14).

Figura 14 - Sensor Termopar tipo k

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas do sensor Termopar Tipo-K podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações técnicas do Sensor de Temperatura Termopar Tipo-K

Sensor	Faixa de Medição	Temperatura de operação	Precisão de medição de Temperatura	Termopar	Alimentação
Termopar	0 - +600°C	-20 - 85°C	± 5°C	Tipo-K	3-5VDC

Fonte: Adaptado de Sense Sensors & Instruments (2015)

3.1.5 Módulo Relé 3V 1 Canal

O Módulo Relé 3V 1 Canal (Figura 15) é composto por um relé, dispositivo eletromecânico capaz de controlar o acionamento ou desacionamento de cargas a partir de baixas tensões. Pode ser utilizado no controle de cargas AC de até 10A. Os relês possuem terminais que energizam sua bobina nos pontos 1 e 2, com de 5Vcc à 24 Vcc, onde apenas pela força magnética aciona a chave com os terminais 3, 4 e 5, sem contato físico, onde trabalham com correntes e tensões maiores (110 Vca ou 220 Vca), fazendo o acionamento ou desligamento do outro dispositivo maior que se está querendo acionar. (MASTERWALKER, 2019).

Figura 15 - Módulo Relé 3V

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas do módulo relé 3V 1 Canal podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Especificações técnicas do Módulo Relé 3V

Módulo	Corrente de operação	Capacidade do Relé	Tempo de resposta	Quantidade de canais	Alimentação
Módulo Relé 3V	15 ~ 20mA	30VDC/10A e 250VAC/10A	20ms	1 canal	3.3V

Fonte: Adaptado de MasterWalkerShop, 2019.

3.1.6 Módulo Wifi ESP8266 NodeMcu ESP-12

O Módulo Wifi ESP8266 NodeMCU (Figura 16) é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3.3V. A programação pode ser feita usando a IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb. O Módulo Wifi ESP8266 NodeMCU possui antena embutida e conector micro-usb para conexão ao computador, além de 11 pinos de I/O e conversor analógico-digital (FILIFEFLOP, 2019).

Figura 16 - Módulo Wifi ESP8266 NodeMcu ESP-12

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas do módulo wifi ESP8266 NodeMCU ESP-12 podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Especificações técnicas do módulo wifi ESP8266 NodeMCU ESP-12

Módulo	Wifi	Taxa de transferência	Antena	Portas GPIO	Alimentação
ESP8266 ESP-12	802.11 b/g/n	110-460800bps	Embutida	11	4,5 ~ 9V

Fonte: Adaptado de FilipeFlop, 2019.

3.1.7 Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N

O Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N (Figura 17) é um dispositivo combinado de conexão de rede cabeada e wireless projetado especificamente para as necessidades de pequenas empresas ou residências. É uma solução de alta velocidade compatível com IEEE 802.11b/g/n, com desempenho sem fio de até 300Mbps.

Figura 17 - Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas do roteador wireless N 300Mbps TL-WR849N podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Roteador Wireless N 300Mbps TL-WR849N

Roteador	Frequência	Padrões	Antena	Wifi	Temperatura de Operação
TL-WR849N	2.4-2.4835GHz	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b	2 Antenas fixas de 5 dBi	802.11 b/g/n/AC 2.4GHz e 5GHz integrado	0 °C ~ 40 °C (32 °F ~ 104 °F)

Fonte: Adaptado de TP-Link, 2019.

3.1.8 Raspberry Pi 3 + Anatel

A Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel (Figura 18) é um mini-PC que roda distribuições Linux e tem processador de 1.4GHz, 1GB de memória e agora suporta redes wireless no padrão

AC, proporcionando muito mais velocidade para a sua conexão e melhorando a performance da placa. A certificação por parte da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) garante que o equipamento está dentro das especificações definidas pela agência, e em conformidade com a regulamentação brasileira de telecomunicações, o que significa que você pode desenvolver e comercializar produtos utilizando esta placa.

Figura 18 - Raspberry Pi 3

Fonte: Autoria Própria.

As especificações técnicas da placa Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Especificações técnicas da placa Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel

Placa	Processador	Clock	Memória RAM	Wifi	LAN
Raspberry Pi 3	Broadcom BCM2837B0 64bits ARM Cortex-A53 Quad-Core	1.4 GHz	1Gb	802.11 b/g/n/AC 2.4GHz e 5GHz integrado	Ethernet over USB 2.0 (throughput máximo de 300 Mbps)

Fonte: Adaptado Raspberry.org (2019)

3.2 Modelagem de Hardware e Software

3.2.1 Modelagem de Hardware

O desenvolvimento dos sensores e atuadores para monitoramento e controle da temperatura do ar foi realizado em duas etapas, sendo a primeira por meio de modelagem

computacional utilizando o software Fritzing BETA, versão 0.9.3, sob licença GNU GPL v3 e CreativeCommons 2007-2016 (FRITZING, 2019). Os modelos podem ser observados nas Figuras 19, 20 e 21.

Figura 19 - Esquema elétrico do Sensor de temperatura, umidade e iluminação

Fonte: Autoria Própria.

Figura 20 - Esquema elétrico do Temperatura de superfície interna

Fonte: Autoria Própria.

Figura 21 - Esquema elétrico do Atuador

Fonte: Autoria Própria.

3.2.2 Modelagem do Software

O Software embarcado nos sensores e atuadores para monitoramento e controle da temperatura do ar foi desenvolvido na IDE Arduino utilizando linguagem de programação baseada em C/C++. A linguagem Arduino está sob a licença Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 (ARDUINO.CC, 2018). As Figuras 22, 23, 24, 25 e 26 demonstram o fluxograma simplificado dos algoritmos contendo as instruções do programa embarcado nos microcontroladores.

Figura 22 - Fluxograma simplificado para controle de temperatura e umidade

Fonte: Autoria Própria.

Figura 23 - Fluxograma simplificado do sensor de temperatura de superfície

Figura 24 - Fluxograma simplificado do módulo atuador

Fonte: Autoria Própria.

Figura 25 - Fluxograma simplificado do servidor LTSI/Raspberry

Fonte: Autoria Própria.

Figura 26 - Fluxograma simplificado do servidor WEB MAPAG

Fonte: Autoria Própria.

3.3 Distribuição dos sensores e atuadores por zona de monitoramento e controle

O aviário 3 é dividido em 40 boxes para criação e manejo dos frangos de corte e como dito anteriormente, possui 4 ventiladores e 4 climatizadores/ventiladores, totalizando 8 equipamentos de ventilação. Os ventiladores/aspersores foram instalados, anteriormente a este experimento, nos boxes 1, 10, 21 e 30 e os ventiladores instalados nos boxes 6, 15, 26 e 35, nos quais também foram instalados os atuadores de controle automatizado.

Para mensurar a temperatura e a umidade do ar e também a luminosidade, foram instalados 8 sensores *Tar/Uar* na altura dos boxes, a 50 cm do solo, nos boxes 5, 9, 14, 19, 26, 29, 34 e 39. Para determinar o critério da divisão das Zonas de Monitoramento e Controle (ZMC) foi levado em consideração o número de equipamentos de ventilação e sua distribuição espacial, sendo que a altura e a posição dos sensores foram definidas exclusivamente para esta pesquisa, em caráter investigativo, de maneira que os sensores fossem capazes de mensurar as variáveis físicas do ambiente e os atuadores capazes de acionar ou desligar os ventiladores e climatizadores. No Box 10, centro do aviário, foi instalado o roteador wifi para facilitar a conexão dos sensores e atuadores. Na Figura 27 pode-se visualizar a distribuição determinada dos sensores e atuadores por zona e posicionamento do roteador.

Figura 27 - Distribuição dos sensores e atuadores

Legenda: ● Atuador; ● Sensor Tsi e ● Roteador Wifi.

Fonte: Autoria Própria.

Para mensurar as temperaturas de superfície interna, foram instalados no centro do aviário, três módulos sensores Tsi: um na junção das telhas na cumeeira, a 3,32m e os outros dois nas colunas laterais direita e esquerda, a 80 cm do solo. Estas alturas foram definidas exclusivamente para esta pesquisa, em caráter investigativo, de maneira que os sensores fossem capazes de mensurar as temperaturas de superfície internas do telhado e das paredes laterais. Como pode ser observado nas Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Posicionamento dos sensores de temperatura superficial interna, Corte AA.

Legenda: ● Sensor Tsi

Fonte: Autoria Própria.

Figura 29 - Posicionamento dos sensores de temperatura superficial interna, Corte BB

Legenda: ● Sensores Tsi

Fonte: Autoria Própria.

3.4 Coleta de Dados

3.4.1 Tratamentos

A coleta de dados foi realizada em dois períodos com tratamentos diferenciados de ventilação. No primeiro período, entre os dias 17 de novembro a 06 de dezembro de 2018, aconteceu o Tratamento 1 (T1), com duração de 19 dias e o controle de ventilação foi manejado manualmente com as seguintes configurações: as duas cortinas foram abertas manualmente às 8 horas e os ventiladores e aspersores foram ligados a partir de acionamento manual às 11 horas da manhã; às 18 horas as cortinas foram fechadas manualmente e os ventiladores e aspersores foram desligados manualmente. No segundo período, entre os dias 09 a 20 de janeiro de 2019, aconteceu o Tratamento 2 (T2), com duração de 11 dias com as seguintes configurações: as duas cortinas foram abertas manualmente às 8 horas e fechadas às 18 horas; os ventiladores e aspersores foram controlados de forma automatizada pelo sistema de sensores e atuadores instalados no aviário 3. No momento das coletas de dados o aviário estava isento de animais. Em cada período foram selecionados dez dias representativos com resultados climáticos muito parecidos que permitiram formar o número ideal (n) de amostras para as análises Anova, Coeficiente de Variância e teste de Tukey.

Tabela 10 - Período de duração dos experimentos

Tratamento	Período	Dias	Dias descartados*	Estação do ano
T1	17/11 a 06/12/2018	19	9	Primavera
T2	09 a 20/01/2019	11	1	Verão

Fonte: Autoria Própria

Nota: *Sobre os dias descartados, oportunamente serão esclarecidos no Tópico 4.4.2.1 desta tese.

3.4.2 Estação Meteorológica

Os dados climáticos do período estudado nos tratamentos T1 e T2 foram fornecidos pela estação meteorológica do Laboratório de Eficiência Energética e Simulação de Processos do Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP (LEESP/ZEB), com a coordenada geográfica de 21°57'03.83"S e 47°27'11.51"W, localizada a 1.037 metros do aviário 3.

3.4.3 Pacote de dados

Os dados enviados pelos sensores e atuadores tiveram sua nomenclatura formada por elementos que permitissem que os mesmos fossem identificados facilmente nos relatórios

emitidos pelo sistema, na tela e impressos. As nomenclaturas podem ser observadas na Figura 30 e Tabela 11.

Figura 30 - Pacote de dados enviados pelos sensores e atuadores

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 11 - Nomenclatura dos sensores e atuadores

Sensor	Nomenclatura	Prefixo	Tipo	Aviário	Galpão	Quadrante
Sensor Temperatura, umidade e luminosidade	SENDHT0000010100001	SEN	DHT	000001	01	00001
Sensor de Temperatura de superfície	SENDER0000010100001	SEN	TER	000001	01	00001
Atuador	ATU0000010100001	ATU		000001	01	00001

Fonte: Autoria Própria

3.5 Modelagem Matemática

3.5.1 Cálculo dos dados para validação do sistema

Para validação do sistema do controle desenvolvido foi utilizada a média das coletas de dados de temperatura e umidade diária dos dez minutos anteriores e posteriores aos seguintes horários: 6h, 9h, 12h, 15h e 18h, conforme Equação 1.

$$\overline{X_{hA}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$$

(Equação 1)

Onde: N representa as coletas realizadas nos dez minutos anteriores e posteriores da hora cheia em análise; hA =hora cheia.

3.5.2 Análise de Variância (ANOVA)

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando os modelos mistos de SAS® (Sistema de análise), versão 9.2 para Windows®, licenciado pela Microsoft. Os tratamentos foram estimados usando ANOVA e ajustada ao teste de Tukey para identificação das diferenças observadas, e as médias foram declaradas significativamente diferentes com $p < 0,05$.

De acordo com Montgomery (2008), a análise de variância, também conhecida como ANOVA é uma abordagem utilizada para se comparar vários grupos de interesse. Busca avaliar se há diferenças consideráveis entre os grupos investigados.

Segundo Walpole et al. (2009) o procedimento de Tukey permite a formação de intervalos de confiança $100(1-\alpha)\%$ simultâneos para todas as comparações em pares. O método é baseado em uma distribuição de amplitude “estudentizada”.

3.5.3 Estatística para coeficiente de correlação

Para calcular a temperatura ideal do ar foi utilizada a equação de regressão linear simples, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9996, obtida com o procedimento REG do SAS® (Statistical Analysis System), versão 9.2 para Windows®, Equação (2). A variável independente (X) considerou os valores de umidade e a variável dependente (Y) considerou o valor estimado para a determinação da temperatura ideal para o momento de coleta, conforme Equação 2.

$$Y = 0,0017x^2 - 0,3777x + 39,269 \quad (\text{Equação 2})$$

3.5.4 Cálculo do consumo de energia elétrica consumida em kWh

Para calcular o consumo de energia elétrica em kWh dos equipamentos de climatização e comparar a eficiência energética entre os tratamentos T1 e T2 foi utilizada a Equação 3.

$$\frac{E = P. (\Delta. t)}{1000} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: ***E*** representa a energia em kWh; ***P*** representa a potência do equipamento; ***Δ*** representa o número de horas e ***t*** representa a quantidade de dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção do Hardware

Com base nos circuitos modelados, nesta segunda e última etapa foi realizada a construção do hardware dos módulos sensores e atuadores para monitoramento e controle da temperatura do ar.

4.1.1 Módulo sensor *Mtar*

O hardware do módulo sensor de temperatura e umidade do ar (*Mtar*) foi construído integrando um sensor analógico de luminosidade LDR com ajustes de tensão de um resistor de 10k, um sensor digital de temperatura e umidade DHT11 adicionado de um capacitor de poliéster de 0,1 uF 63v e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O esquema de ligação elétrica pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 - Ligações elétricas do módulo sensor *Mtar*

Fonte: Autoria Própria.

As ligações elétricas do sensor analógico LDR foram conectadas nas portas A0, 3.3V e GND do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O microcontrolador recebe os valores de tensão já calibrados pelo do resistor de 10k através da porta analógica A0 e a alimentação do sensor é feita pelas portas 3.3V e GND.

Já as ligações elétricas do sensor digital DHT11 foram conectadas nas portas Vin, GND e D5 do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O microcontrolador recebe os valores de tensão já convertidos pelo sensor DHT11 através da porta digital D5 e a alimentação do sensor é feita pela ligação do pino 2, na porta Vin e do pino 4, na porta GND.

As ligações elétricas foram realizadas através da soldagem de fios sólidos de 1mm conectando os pinos dos sensores com as portas do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU, como pode ser observado na Figura 32.

Figura 32 - Ligações elétricas e soldagem conectando os sensores DHT11, LDR e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU

Legenda: 1- Sensor de temperatura DHT11; 2 – módulo Wifi ESP8266 NodeMCU;
3 – Sensor LDR e 4 - abrigo meteorológico adaptado.

Fonte: Autoria Própria.

Durante a montagem e soldagem foi também realizado o encapsulamento do módulo sensor *Mtar* em um abrigo meteorológico (AM) adaptado a partir de uma caixa plástica de sobrepor Alumbra 4x2 7,6cm x 11,78cm x 4,5cm fechada por uma tampa cega. O sensor DHT11 foi posicionado ao centro do AM, o sensor LDR foi posicionado do lado externo ao centro da tampa do AM, e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU em um espaço livre do AM. A

alimentação de energia do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU foi fornecida por uma fonte genérica de 5V 2A. O sensor *Tar* encapsulado no AM pode ser visualizado na Figura 33.

Figura 33 - Módulo sensor *Mtar* encapsulado no abrigo meteorológico adaptado

Legenda: 1- Sensor LDR e 2 – abrigo meteorológico adaptado.

Fonte: Autoria Própria.

O módulo sensor *Mtar* foi responsável por coletar as variáveis físicas de temperatura do ar, umidade do ar e luminosidade, enviar para o servidor web do laboratório LTSI os pacotes de dados com as variáveis coletadas e publicar no cliente MQTT o resultado do modelo matemático que calcula a *Tid* (resultado esse que deverá acionar ou desligar os atuadores).

4.1.2 Módulo sensor Mtsi.

O hardware do módulo sensor Mtsi foi construído integrando um Módulo Sensor digital de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O esquema de ligação elétrica pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - Ligações elétricas do módulo sensor Mtsi

Fonte: Autoria Própria.

As ligações elétricas do módulo Sensor digital de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K foram conectadas nas portas D6, D7, D8, Vin e GND do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O microcontrolador recebe os valores digitais mensurados da porta digital D6 já convertidos em graus celsius e a alimentação do sensor é feita pelas portas Vin e GND.

As ligações elétricas foram realizadas através da soldagem de fios de 1mm conectando os pinos do sensor com as portas do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU, como pode ser observado na Figura 35.

Figura 35 - Ligações elétricas e soldagem conectando o módulo sensor digital de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU

Legenda: 1- Sensor de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K; 2 - módulo Wifi ESP8266 NodeMCU e 3 - caixa patola PB 107.

Fonte: Autoria Própria.

Durante a montagem e soldagem foi também realizado o encapsulamento do módulo sensor Tsi em caixa patola PB 107 com as dimensões 9,9cm de comprimento por 7,4 cm de largura por 4,1 cm de altura. O módulo sensor Termopar e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU foram instalados no interior da caixa patola e a ponta de prova foi posicionada fora da caixa através de um furo de 3mm. A alimentação de energia do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU foi fornecida por uma fonte genérica de 5V 2A. O módulo sensor Tsi encapsulado na caixa patola pode ser observado na Figura 36.

Figura 36 - Módulo Sensor *Mtsi* encapsulado na caixa patola

Legenda: 1 – Caixa patola PB 107 e 2 – Sensor de Temperatura Max6675 + Termopar Tipo K.

Fonte: Autoria Própria.

O módulo sensor *Mtsi* foi responsável por coletar a variável física temperatura de superfície interna, enviar para o servidor web do laboratório LTSI os pacotes de dados com a temperatura coletada e publicar a mesma no cliente MQTT.

4.1.3 Módulo Atuador

O hardware do módulo atuador Matu foi construído integrando um Módulo Relé 3V 1 Canal e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O esquema de ligação elétrica pode ser observado na Figura 37.

Figura 37 - Ligações elétricas do módulo atuador Atu

Fonte: Autoria Própria.

As ligações elétricas do Módulo Relé 3V 1 Canal foram conectadas nas portas 3V3, GND e D5 do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU. O microcontrolador envia o sinal para ligar ou desligar o Relé através da porta digital D5 e a alimentação do módulo é feita pelas portas 3V3 e GND.

As ligações elétricas foram realizadas através da soldagem de fios de 1mm conectando os pinos do sensor com as portas do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU, como pode ser observado na Figura 38.

Figura 38 - Ligações elétricas e soldagem conectando o Módulo Relé 3V 1 Canal e módulo Wifi ESP8266 NodeMCU

Legenda: 1- módulo relé 3.3v 1 Canal; 2 - módulo Wifi ESP8266 NodeMCU; 3 - Tomada de embutir 3 pinos 10A fêmea; 4 - cabo PP flexível 3x1 5mm com plugue 3 pinos 10A macho; 5 – caixa patola PB 107 e 6 - Cabo USB para alimentação.

Fonte: Autoria Própria.

Durante a montagem e soldagem foi também realizado o encapsulamento do módulo Matu em uma caixa patola PB 107 com as dimensões 9,9cm de comprimento por 7,4 cm de largura por 4,1 cm de altura.

Na extremidade direita da caixa patola foi feito um furo para saída de um cabo PP flexível 3x1 5mm com um plugue de 3 pinos 10A macho, Fase/Fase/Neutro, que foram conectados ao módulo Relé e a partir do sinal enviado pela porta D5 do módulo Wifi ESP8266 NodeMCU aciona ou desliga o módulo Relé interrompendo ou não a passagem da energia elétrica para a tomada de embutir 3 pinos 10A fêmea, que foi instalada na extremidade esquerda da caixa patola para receber a tomada macho do equipamento a ser acionado ou desligado.

O módulo Relé e o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU foram instalados no interior da caixa patola e a ponta de prova foi posicionada fora da caixa através de um furo de 1cm. O módulo *Matu* encapsulado na caixa patola pode ser observado na Figura 39.

Figura 39 - Módulo *Matu* encapsulado na caixa patola

Legenda: 1 - cabo PP flexível 3x1 5mm com um plugue de 3 pinos 10A macho; 2 – Cabo USB para alimentação 5V; 3 - caixa patola PB 107 e 4 - tomada de embutir 3 pinos 10A fêmea.

Fonte: Autoria Própria.

O módulo *Matu* foi responsável por acionar ou desligar o equipamento ligado nele e enviar para o servidor web do laboratório LTSI os pacotes de dados com o estado do equipamento (ligado ou desligado) e publicar o mesmo no cliente MQTT.

4.2 Software do sistema embarcado

Com base na modelagem de software, os códigos foram escritos utilizando a linguagem padrão do Arduino em seu ambiente integrado de desenvolvimento Arduino IDE, software open-source, e bibliotecas sob licença LGPL.

A codificação dos programas foi elaborada de forma simples em duas funções, void Setup() e void loop(), na primeira função é feita toda a configuração e settings necessários para cada módulo e na segunda função o loop infinito que se repetirá por toda a aplicação. Após o

código foi compilado e embarcado, através de conexão USB no módulo Wifi ESP8266 NodeMCU.

Então, assim que o módulo Wifi ESP8266 NodeMCU for energizado, o primeiro trecho do software vai rodar o void Setup() e logo após o software entra na rotina void loop(), onde está o código referente a aplicação de cada módulo em si que será repetido continuamente.

4.2.1 Servidor web

Os módulos sensores coletam as variáveis físicas do ambiente, processam e enviam as mesmas através de pacote de dados no formato de pacotes de dados “SENDHT0000010100001”, conforme demonstrado na Figura 40, ou “SENDER0000010100001” acrescidos do IP e dados das coletas de cada módulo sensor para o servidor LTSI. Já os módulos atuadores enviam através de pacotes de dados “ATU0000010100001” acrescidos do IP e estado de cada atuador para o servidor de arquivos LTSI, além de escrever no cliente MQTT seu estado para acionar ou desligar os equipamentos ligados a ele. O servidor LTSI recebe esses pacotes e gera um arquivo documento de texto onde armazena com os mesmos para transmissão para o servidor MAPAG. A cada 5 minutos o servidor LTSI conecta-se via FTP no servidor MAPAG e transmite o arquivo de texto com todos os pacotes recebidos para seu devido registro no banco de dados do sistema e disponibiliza esses dados para acesso via website ou aplicativo MQTT. Podemos observar o Use Case do sistema na Figura 41.

Figura 40 - Pacote de dados enviados pelos sensores e atuadores

Fonte: Autoria Própria.

Figura 41 - Use Case do sistema

Fonte: Autoria Própria.

Para receber, enviar e armazenar os dados do sistema foram programados dois servidores, sendo o primeiro o servidor de arquivos LTSI que configurado em uma placa Raspberry Pi 3+ onde foi instalado o Raspian Stretch with desktop kernel version 4.14, Apache web server, PHP Version 5.4.4-14+deb7u7 e o banco de dados MySQL, demonstrado na Figura 42.

Figura 42 - Servidor de arquivos LTSI

Legenda: 1- Raspberry Pi 3 + Anatel

Fonte: Autoria Própria.

O servidor de arquivos LTSI roda um sistema PHP que recebe os pacotes de dados através do método GET e gera um documento de texto onde são registrados os pacotes de dados recebidos. Este arquivo de texto é salvo temporariamente no cartão de memória do Raspberry Pi 3+ até, enquanto fica disponível para registro do recebimento de novos pacotes. Após 5 minutos o sistema PHP conecta-se ao servidor MAPAG via FTP e, se obtiver êxito envia o arquivo de texto para ser gravado pelo sistema no banco de dados do sistema na nuvem. Neste momento, o arquivo enviado é apagado para liberar espaço de armazenamento no cartão de memória do servidor LTSI e a rotina é reiniciada (Figura 43).

Figura 43 - Sistema de gestão de recebimento e envio de pacotes de dados no servidor LTSI

The screenshot displays a web application interface for managing data packages. The main area (labeled A) shows a welcome message, system status, and a table of data packages. A red circle 'B' highlights a text file generated by the system, which is shown in a separate window.

Table 1: System Status

Internet	Arquivos TXT	Transmitir?	Tempo Decorrido do Último Envio
OK	1	[Sim]	358 segundos

Table 2: Arquivos na fila de espera para transmissão:

Arquivo	Apagar Arquivo	Registros
[escience/Sensores/20190511221546SEN.txt - Download]	Sim	2
[escience/Atuadores/20190510163434ATU.txt - Download]	Sim	28

Table 3: Text File Content (B)

2019-05-08	2019-05-08	11:20:57	SENDER0000010100002	192.168.2.2	000	000	000	000	33.75	000	A
2019-05-08	2019-05-08	11:20:55	SENDER0000010100001	192.168.2.1	000	000	000	000	29.50	000	A

Legenda: A - Sistema Web para recebimento e envio de pacotes de dados; B - Arquivo de texto gerado pelo sistema para armazenar temporariamente os pacotes de dados.

Fonte: Autoria Própria.

O servidor de web MAPAG também roda um sistema PHP, que recebe os pacotes de dados através do método GET e grava esses pacotes no banco de dados do sistema. O servidor MAPAG disponibiliza os dados no site www.mapag.com para usuários com diferentes níveis

de acesso, relatórios, consultas, gestão e monitoramento automatizado do sistema, como pode ser observado na Figura 45.

Os níveis de acesso de cada usuário do sistema de controle climático são determinados pelo gestor do sistema e foram divididos em 5 níveis de acesso. O público em geral terá acesso à navegação pública onde o sistema pode ser acessado publicamente por todo tipo de usuários, onde os mesmos terão acesso apenas às informações públicas da plataforma, informações como: linha de pesquisa; experimentos; pesquisadores e informações sobre o laboratório.

Já os demais usuários deverão ser cadastrados no sistema de controle climático através da “área restrita”, onde somente terão acesso o administrador do sistema de controle climático e usuários cadastrados pelo mesmo. De acordo com o nível de senha e privilégio de acesso os usuários cadastrados poderão interagir com os conteúdos disponíveis em sua área restrita.

A área restrita será subdividida em 5 áreas com diferentes níveis de acesso:

- “Nível 1” gerenciamento remoto de experimento, onde pode ser definido entre pesquisadores, experimentos remotos;
- “Nível 2” área do pesquisador, onde os usuários poderão fazer uploads de seus arquivos, com avaliação sobre o experimento e esses arquivos poderão ser do tipo documento de texto, planilhas eletrônicas, apresentações de slides, banco de dados e documentos em geral a definir durante o desenvolvimento desta pesquisa;
- “Nível 3” acesso à resultados, onde os usuários terão acesso aos resultados disponibilizados em documentos pelos pesquisadores responsáveis pelo experimento selecionado pelo usuário;
- “Nível 4” acompanhamento em tempo real, onde além do acesso à área de acesso à Resultados, os usuários terão acesso aos resultados obtidos do experimento através de resultados em tempo real dos dados coletados pelos sensores, posicionamento de atuadores ligados ou desligados, gráficos plotados na tela e vídeos na tela de seu dispositivo; e
- “Nível 5” área administrativa, onde somente o administrador do sistema de controle climático terá acesso e poderá cadastrar e definir o nível de acesso à plataforma para experimentos; gestores; pesquisadores; técnicos; estagiários e funcionários. Os níveis de acesso ao sistema podem ser observados na Figura 44.

Figura 44 - Níveis de acesso ao sistema de controle climático

Fonte: Autoria Própria.

Para acessar a área de acompanhamento em tempo real, onde podem ser verificados os dados enviados através dos pacotes pelos módulos sensores para o servidor MAPAG, primeiramente o usuário deverá acessar o site www.mapag.com.br, informar seu nome de usuário e senha, na aba software e escolher o sistema de controle térmico, clicando na opção relação dos sensores (apenas tela), o sistema processará a solicitação e retornará a listagem na tela da página web. As telas do sistema podem ser observadas na Figura 45.

Figura 45 - Telas do servidor MAPAG

Legenda: 1 – Tela principal do servidor MAPAG; 2 – Tela de login; 3 – Menu do sistema; 4 – Estado dos atuadores e 5 - Relação dos sensores na tela.

Fonte: Autoria própria

O acesso ao “relatório dos sensores na tela” permite que o usuário visualize em tempo real o estado dos módulos atuadores e os dados enviados pelos módulos sensores e atuadores que podem apoiar a decisão e permitir que o usuário interaja, ligue ou desligue equipamentos, feche ou abra cortinas do aviário.

Além de enviar os pacotes de dados, registros, para armazenamento no banco de dados, os módulos sensores, após processar a umidade do ar e calcular a temperatura ideal do ar, enviam via método Publish uma mensagem para o cliente MQTT que por sua vez envia pelo método Publish essa mesma mensagem, para seus tópicos correspondentes, para que o módulo atuador que recebe, interprete e, conforme sua programação, ligue ou desligue o equipamento conectado a ele.

Já os módulos atuadores além de receber via método Publish a mensagem para ligar ou desligar equipamentos, também enviam o estado atual (ligado ou desligado) através do método Subscribe no cliente MQTT, registrando no banco de dados do servidor MAPAG, para que o gestor possa visualizar o seu estado em tempo real (Figura 46).

Figura 46 - Esquema de comunicação entre módulos sensores e atuadores com o cliente MQTT

Fonte: Autoria própria

Para permitir a interação do usuário no sistema de climatização foi configurado o app MQTT Dash versão 4.4. O app MQTT Dash pode ser baixado gratuitamente na Playstore do sistema Android e permite, caso o usuário tenha conexão com a internet, que o sistema do app conecte-se ao servidor LTSI e através dos métodos de envio de mensagens do cliente MQTT envie e receba o atual estado dos módulos atuadores (ligado ou desligado) e no caso dos módulos Tsi o acesso ao valor da última coleta de cada módulo sensor. Após baixar e instalar o app é necessário iniciar sua configuração, informando nome da aplicação, o endereço IP e porta de acesso e, caso o usuário achar necessário, configurar também nome de usuário e senha para login no cliente MQTT.

Para mostrar na tela do dispositivo o valor da última leitura de cada módulo Mtsi é necessário criar um botão para cada módulo e configurá-los com o nome de cada módulo, nome do tópico que recebe a mensagem e o tamanho do texto principal. Já para mostrar na tela do dispositivo móvel o estado dos módulos atuadores é necessário criar um botão para cada módulo atuador e configurá-los com o nome de cada módulo, nome do tópico que recebe a mensagem, a ícone que representa o equipamento e a cor para o estado ligado/desligado. As telas da configuração do aplicativo podem ser observadas na Figura 47.

Figura 47 - Configuração do aplicativo MQTT

Fonte: Autoria Própria.

Uma vez configurado o aplicativo, o usuário, ao acessá-lo, poderá visualizar o estado atual dos módulos atuadores (ligados ou desligados) e, de acordo com o apoio dos dados listados na tela pelo Sistema de controle climático, poderá identificar se existe a necessidade de ligar ou desligar esses módulos, clicando em cada um dos botões da tela que representam os ventiladores e climatizadores/aspersores, além de poder visualizar a temperatura superficial interna das paredes direita e esquerda e da cumeeira do telhado, conforme demonstrado na Figura 48. Foram realizados diversos testes e os atuadores respondem ao comando de ligar ou desligar em milissegundos.

Figura 48 - Aplicativo para gestão dos módulos atuadores

Fonte: Autoria Própria.

4.3 Instalação dos módulos sensores e atuadores

Os módulos sensores *Tar*, *Uar*, *Tsi* e *Atu* foram instalados no aviário 3, conforme anteriormente definido no tópico 3.3, de acordo com critério da divisão das ZMC.

Para mensurar as variáveis físicas ambientais *Tar*, *Uar* foram instalados 8 módulos sensores, sensor DHT1 (S1), sensor DHT2 (S2), sensor DHT3 (S3), sensor DHT4 (S4), sensor DHT5 (S5), sensor DHT6 (S6), sensor DHT7 (S7), sensor DHT8 (S8), 3 módulos sensores *Tsi*, *Tsi*1 (T1), *Tsi*2 (T2), *Tsi*3 (T3), e 8 módulos atuadores, atuador 1 (A1), atuador 2 (A2), atuador 3 (A3), atuador 4 (A4), atuador 5 (A5), atuador 6 (A6), atuador 7 (A7) e atuador 8 (A8), conforme o critério da divisão ZMC e podem ser observados nas Figura 49 e 50.

Figura 49 - Posição dos sensores *Tar* e *Tsi* instalados

Fonte: Autoria Própria.

Figura 50 - Posição da instalação dos atuadores

Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 51, pode-se observar os módulos sensores *Tsi* instalados, o sensor *Tsi1* instalado a 80cm do solo na parede oeste, o sensor *Tsi2* instalado na cumeeira do telhado e o sensor *Tsi3* instalado a 80cm do solo na parede leste. Os módulos sensores foram fixados utilizando uma abraçadeira plástica de nylon 200mm x 6.6mm.

Figura 51 - Sensores Tsi instalados nas paredes laterais e na cumeeira central

Fonte: Autoria Própria.

Os módulos *Tar* foram instalados a 50cm do solo na grade das gaiolas e fixados utilizando uma abraçadeira plástica de nylon 200mm x 6.6mm. Na Figura 52 pode-se observar o padrão de instalação de todos os módulos sensores *Tar*.

Figura 52 - Sensores *Tar* instalados na grade das gaiolas

Fonte: Autoria Própria.

Os *Matu* foram instalados na parte traseira de cada equipamento fixadas com abraçadeiras plásticas de nylon 200mm x 6.6mm juntamente com um filtro de linha/régua padrão profissional com 5 tomadas para ligação dos módulos atuadores e da energia controlada pelo mesmo. Os cabos dos equipamentos foram presos com abraçadeiras plásticas de forma que

não causassem acidentes. Na Figura 53, pode-se observar o padrão de instalação de todos os módulos sensores *Atu* nos ventiladores e climatizadores/aspersores.

Figura 53 - Atuadores instalados

Fonte: Autoria Própria.

4.4 Experimento para teste do sistema e verificação da calibração dos módulos sensores.

Nos dias 14 e 15 de outubro de 2018 foi conduzido um experimento para teste do sistema de coleta, envio de dados para o banco de dados na nuvem e verificação da calibração dos módulos sensores *Mtar* e *Mtsi*. O experimento foi conduzido no aviário em duas condições diferentes de climatização, sendo que no dia 14 o aviário permaneceu com as cortinas fechadas e no dia 15 as cortinas abertas no período das 11h às 18h. Não foram acionados ventiladores e climatizadores/aspersores para controle da temperatura e umidade do ar.

Para este experimento os módulos sensores *Tar* e *Tsi* foram posicionados a 50cm do solo e coletaram as variáveis físicas do ambiente, conectaram-se ao roteador Wifi e transmitiram os pacotes de dados para o IP do servidor MAPAG, onde os pacotes de dados foram gravados no banco de dados MySQL.

Para analisar os dados, a performance do sistema e verificar a calibração dos sensores foram plotados nos Figuras 54 e 55 os resultados das médias da EM e das coletas dos módulos sensores *Mtar* e *Mtsi* nos intervalos das 6h às 8h, das 8h às 10h, das 10h às 12h, das 12h às 14h, das 14h às 16h e das 16h às 18h, correspondentes aos períodos da manhã e da tarde dos dois dias de experimentação.

Os resultados de temperatura do ar coletados no dia 14 pelos módulos sensores *Mtar* foram em média 5,34 °C superiores aos resultados coletados pela EM, e no dia 15 foram em média 1,39°C superiores aos resultados coletados pela EM. Com relação aos resultados da umidade do ar coletada no dia 14 pelos módulos *Tar*, a umidade do ar foi 20 pontos percentuais menor no dia 14, em relação ao mesmo período do dia 15. Já os resultados de temperatura de superfície interna coletadas pelos módulos *Tsi* no dia 14 foram em média 8,93°C superiores aos valores do mesmo período no dia 15. No período entre as 14h e as 16h foi possível observar o valor de 15,08% da umidade do ar, o menor percentual de umidade do ar do dia, que influenciou diretamente na temperatura do ar no valor de 41,98 °C, temperatura máxima do dia. A relação entre a média da umidade do ar coletadas pelos módulos sensores e média da umidade do ar da EM manteve uma diferença proporcional ao posicionamento dos módulos sensores no ambiente construído e a EM no ambiente externo.

A análise dos resultados coletados pelos módulos sensores e os dados da EM permitiram verificar eficiência deles em relação a coleta das variáveis físicas do ambiente aviário e sua calibração. Foi possível também verificar a operacionalidade e integridade do banco de dados que permitiram seguir para o experimento de validação do sistema de controle climático.

Figura 54 - Dia 14/10/2018, aviário com janelas fechadas

Fonte: Autoria Própria.

Figura 55 - Dia 15/10/2018, aviário com janelas abertas

Fonte: Autoria Própria.

4.4.1 Experimentos T1 e T2 para validação do sistema de controle térmico.

4.4.1.1 Experimento T1

O experimento T1 foi realizado na primavera de 2018, no período de 17 de novembro a 06 de dezembro de 2018. Deste período foram selecionados 10 dias com similaridade em relação aos seus dados climatológicos, sendo selecionados os dias 17, 18, 27, 28, 29 e 30 de novembro e 03, 04, 05 e 06 de dezembro. Os demais 19 dias foram descartados.

O sistema de controle climático foi realizado de acordo com o descrito na metodologia, pelo manejo manual do sistema, nas condições estabelecidas para o T1, onde o aviário teve suas janelas abertas às 8h da manhã, ventiladores e climatizadores/aspersores ligados às 11h e às 18h os ventiladores e climatizadores/aspersores foram desligados e as cortinas foram fechadas.

Para a análise dos dados em relação à temperatura ideal do ar foi calculada a média da temperatura do ar coletada pelos módulos sensores *Mtar* entre os dez minutos anteriores e posteriores aos horários 6h, 9h, 12h, 15h e 18h de cada dia, bem como os dados da temperatura máxima e mínima do ar extraídos do relatório dos meses de novembro e dezembro de 2018 fornecidos pela estação meteorológica do laboratório LEESP. Para análise da temperatura de superfície interna da cumeeira e das paredes leste e oeste foi calculada a máxima temperatura superficial interna coletada pelos *Mtsi* nos dias selecionados para análise.

De acordo com guia adaptado de manejo da COBB, a temperatura termoneutra (°C) em função da UR, a faixa de conforto térmico para os frangos de corte com 21 dias de idade em relação a umidade do ar está entre 40 e 80%, variando entre 26,9 e 20 °C proporcionalmente, como pode ser observado na Figura 56.

Figura 56 - Guia de Manejo

Produção de Frangos de Corte					
Temperatura Termoneutra (°C) em função da UR					
Idade (dias)	40% UR	50% UR	60% UR	70% UR	80% UR
1	36,0	33,2	30,8	29,2	27,0
3	33,7	31,2	28,9	27,3	26,0
6	32,5	29,9	27,7	26,0	24,0
9	31,3	28,6	26,7	25,0	23,0
12	30,2	27,8	25,7	24,0	23,0
15	29,0	26,8	24,8	23,0	22,0
18	27,7	25,5	23,6	21,9	21,0
21	26,9	24,7	22,7	21,3	20,0
24	25,7	23,5	21,7	20,2	19,0

Adaptado do Guia de Manejo da Cobb

FZEA USP

Fonte: Adaptado de Cobb

Os dados foram representados em três Figuras (Figuras 57, 58 e 59): no primeiro foram representados os valores máximos das variáveis físicas de *Tsi* coletadas pelos *Mtsi* nas paredes leste e oeste e na cumeeira; e no segundo e terceiro as variáveis físicas *Tar* e *Uar* coletadas pelos *Mtar* divididos em dois períodos do dia, manhã e tarde, de forma que facilitem o entendimento e análise dos dados do T1.

4.4.1.1.1 Gráfico *Tsi*

Os valores coletados que expressam a máxima *Tsi* coletadas pelo *Mtsi* nos horários estudados no T1, destacam os maiores valores na série de dados “Cumeeira”, com o valor de 58,75°C no dia 04/12/2018, na série de dados “Parede Leste”, com o valor de 36,25°C no dia 06/12/2018 e, na série de dados “Parede Oeste” com o valor de 36,75°C no dia 06/12/2018.

Já os menores valores coletados no mesmo período são destacados na série de dados “Cumeeira”, o valor de 39,25°C no dia 18/11/2018, na série de dados “Parede Leste”, com o valor de 28,25°C no dia 18/11/2018 e na série de dados “Parede Oeste” com o valor de 29,50°C, no dia 18/11/2018.

Comparando estes resultados com os dados da EM podemos observar que na série de dados “Cumeeira”, a média dos valores coletados foi 19,12°C maior que a média da temperatura

mínima do ar da EM, na série de dados “Parede Leste”, a média dos valores coletados foi 0,20°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM e na série de dados “Parede Oeste”, a média dos valores coletados foi 0,42 °C, maior que a média da temperatura mínima do ar da EM.

Os valores coletados pelos módulos *Mtsi* são dados da variável física convergente *Tsi* que contribuem para o aumento da temperatura do ar através de convecção no interior do aviário e, em relação aos dados coletados na parede leste, observou-se menor contribuição no aumento da temperatura do ar, quando comparada com a parede oeste, sendo estes valores muito próximos aos valores médios de temperatura máxima do ar medida pela EM.

Já os valores coletados pelo módulo *Mtsi* instalado na cumeeira resultaram em altos valores, entre 58,75 e 39,25°C, levando em conta que a média das coletas representam um valor de 19,12°C maior em relação aos valores médios de temperatura máxima do ar medida pela EM. Os dados coletados pelos *Mtsi* podem ser observados na Figura 57.

Figura 57 - Experimento T1 – Temperatura interna de superfície

Fonte: Autoria Própria.

4.4.1.1.2 Gráficos *Tar*

O maior valor *Tar* coletado pelos *Mtar* já com sua média calculada entre os 10 minutos anteriores e posteriores ao horário das 6h durante o experimento T1, pode ser observado no quarto dia, dia 28/11/2018, no valor de 26,65 °C e o menor valor pode ser observado no oitavo dia, dia 04/12/2018, no valor de 18,26°C. Em média os valores coletados pelo *Mtar* no horário das 6h foi 12,18°C inferior à média da temperatura máxima da EM e 2,85 °C superior à média da temperatura mínima do ar medidos pela EM, durante o mesmo período.

O maior valor *Tar* coletado pelos *Mtar* já com sua média calculada entre os 10 minutos anteriores e posteriores ao horário das 9h durante o experimento T1, pode ser observado no terceiro dia, dia 27/11/2018, no valor de 28,64°C e o menor valor pode ser observado também no mesmo dia no valor de 18,72°C. Em média os valores coletados pelo *Mtar* no horário das 9h foram 8,79°C menores que a média da temperatura máxima da EM e 6,24 °C maior que a média da temperatura mínima do ar medidos pela EM durante o mesmo período.

O maior valor *Tar* coletado pelos *Mtar* já com sua média calculada entre os 10 minutos anteriores e posteriores ao horário das 12h durante o experimento T1, pode ser observado no décimo dia, dia 06/12/2018, no valor de 32,09°C e o menor valor pode ser observado no primeiro dia, dia 17/11/2018, no valor de 24,92°C. Em média os valores coletados pelo *Mtar* no horário das 12h foram 11,18°C menor que a média da temperatura máxima da EM e 3,86 °C maior que a média da temperatura mínima do ar medidas pela EM durante o mesmo período.

O maior valor *Tar* coletado pelos *Mtar* já com sua média calculada entre os 10 minutos anteriores e posteriores ao horário das 15h durante o experimento T1, pode ser observado no décimo dia, dia 06/12/2018, no valor de 34°C e o menor valor pode ser observado no primeiro dia, dia 17/11/2018, no valor de 28,34°C. Em média os valores coletados pelo *Mtar* no horário das 15h foram 2,04°C menores que a média da temperatura máximas do EM e 13 °C maiores que a média da temperatura mínima do ar medidos pela EM durante o mesmo período.

O maior valor *Tar* coletado pelos *Mtar* já com sua média calculada entre os 10 minutos anteriores e posteriores ao horário das 18h durante o experimento T1, pode ser observado no terceiro dia, dia 27/11/2018, no valor de 31,53°C e o menor valor pode ser observado no sétimo dia, dia 03/12/2018, no valor de 26,85°C. Em média os valores coletados pelo *Mtar* no horário das 15h foram 2,04°C menor que a média da temperatura máxima da EM e 13°C maior que a média da temperatura mínima do ar medidos pela EM durante o mesmo período.

No período da manhã, de acordo com o guia adaptado de manejo da COBB, no horário das 6h nos dias 28, 29/11 e 03 e 05/12/2018 a temperatura do ar ficou abaixo da zona

termoneutra da ave. No horário das 9h nos dias 27 e 30/11/2018 a temperatura do ar ficou acima da zona termoneutra da ave. No horário das 12h em todos os dias do experimento temperatura do ar ficou acima da zona termoneutra da ave, em média 2,72°C.

Já no período da tarde, de acordo com o guia adaptado de manejo da COBB no horário das 15h em todos os dias do experimento temperatura do ar ficou acima da zona termoneutra da ave, em média 4,54 °C. No horário das 18h apenas no dia 26/11/2018, o valor da *Tar*, no valor de 26,85 °C ficou dentro da zona termoneutra da ave, já os demais dias a temperatura do ar ficou acima da zona termoneutra da ave em média 2,87°C.

Os dados coletados pelos *Mtar* podem ser observados na Figura 58.

Figura 58 - Experimento T1: de 17/11 à 06/12/2018, período da manhã

Fonte: Autoria Própria.

Figura 59 - Experimento T1: de 17/11 à 06/12/2018, período da tarde

Fonte: Autoria Própria.

4.4.1.1.3 Consumo de energia elétrica T1

Além de analisar a performance do sistema de controle climático em relação ao controle da *Tid*, nas condições de controle térmico estabelecidas para o T1, foi calculado o consumo de energia elétrica em KWh dos ventiladores e climatizadores/aspersores instalados no aviário 3 e utilizados neste tratamento.

Para calcular o consumo de energia elétrica de cada equipamento foi utilizada a Equação 3 e os dados da Tabela 12, onde foi possível calcular o consumo em kWh de cada equipamento, multiplicando os valores do potencial nominal, número de horas que o equipamento ficou ligado durante o dia e a quantidade de dias que resultou no valor de consumo em kWh de cada equipamento.

Tabela 12 - Cálculo do consumo em kWh de cada equipamento

Equipamento	Potência Nominal	Número de horas	Consumo em kWh
Climatizador / Joape	174 W	1h	0,1740
Misting Fans	367,75 W	1h	0,3678
Ventilador			

Fonte: Autoria Própria

A partir do valor de consumo de energia elétrica em kWh encontrados na Tabela anterior foi possível calcular o consumo total dos equipamentos, como pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo do consumo em kWh total durante o T1

Equipamento	kWh	Número de horas	Número de dias	Número de Equipamentos	Consumo em kWh
Climatizador / Joape	1,740	7	10	4	48,720
Misting Fans	3,678	7	10	4	102,984
Ventilador					

Fonte: Autoria Própria

4.4.1.2 Experimento T2

O experimento T2 foi realizado no verão de 2019, no período de 09 a 21 de janeiro de 2019. Deste período foram selecionados 10 dias com similaridade em relação aos seus dados

climatológicos, sendo selecionados os dias 9 a 11 e de 14 a 20 de janeiro de 2019. Os demais 3 dias foram descartados.

O sistema de controle climático foi realizado de acordo com o descrito na metodologia, de forma automatizada, nas condições estabelecidas para o T2, onde o aviário teve suas janelas abertas as 8h da manhã, os ventiladores e climatizadores/aspersores ligados pela gestão automatizada do sistema de controle climático das 11h às 18h, tendo as cortinas foram fechadas as 18h.

Os dados foram representados em três gráficos: no primeiro foram representados os valores máximos das variáveis físicas de *Tsi* coletadas pelos *Mtsi* nas paredes leste e oeste e na cumeeira; e no segundo e terceiro as variáveis físicas *Tar* e *Uar* coletadas pelos *Mtar* divididos em dois períodos do dia, manhã e tarde, de forma que facilitem o entendimento e análise dos dados do T2.

4.4.1.2.1 Gráfico *Tsi*

Os valores coletados que expressam a máxima *Tsi* coletadas pelo *Mtsi* nos horários estudados no T2, destacam os maiores valores na série de dados “Cumeeira” com o valor de 59°C no dia 17/01/2019, na série de dados “Parede Leste” o valor de 37°C no dia 10/01/2019 e, na série de dados “Parede Oeste” o valor de 36,25°C, no dia 20/01/2019.

Já os menores valores coletados no mesmo período são destacados na série de dados “Cumeeira” com o valor de 44,56°C dia 18/01/2019, na série de dados “Parede Leste” com o valor de 31,25°C no dia 17/01/2019 e, na série de dados “Parede Oeste” com o valor de 32°C no dia 17/01/2019.

Comparando esses resultados com os dados da EM pode-se observar que na série de dados “Cumeeira”, a média dos valores coletados foi 19,66°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM, na série de dados “Parede Leste”, a média dos valores coletados foi 0,20°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM e, na série de dados “Parede Oeste”, a média dos valores coletados foi 0,93°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM.

Os valores coletados pelos módulos *Mtsi* são dados da variável física convergente *Tsi* que contribuem para o aumento da temperatura do ar através de convecção no ambiente aviário e, em relação aos dados coletados, a parede leste tem menor contribuição no aumento da temperatura do ar do ambiente aviário que a parede oeste, valores estes muito próximos aos valores médios de temperatura máxima do ar medida pela EM. Já os valores coletados pelo módulo *Mtsi* instalado na cumeeira resultam em altos valores, entre 59 e 44,56°C, levando em

conta que a média das coletas representa o valor de 19,69°C maior os valores médios de temperatura máxima do ar medida pela EM e, estes alto valores podem contribuir significativamente na temperatura e umidade do ar do ambiente aviário.

Os dados coletados pelos *Mtsi* podem ser observados na Figura 60.

Figura 60 - Temperatura de superfície interna; de 09/01 à 20/01/2019

4.4.1.2.2 Graficos Tar

Os valores coletados pelos *Mtar* no período da manhã, com resultados já calculados da média entre os 10 minutos anteriores e posteriores aos horários estudados no T2, destacam os maiores valores de *Tar* na série de dados “Media 6h *Tar*” no valor de 25,94°C dia 09/01/2019, na série de dados “Media 9h *Tar*” no valor de 27,68°C no dia 14/01/2019, na série de dados “Media 12h *Tar*” no valor de 32,06°C no dia 20/01/2019, na série de dados “Media 15h *Tar*” no valor de 34°C no dia 20/01/2019 e na série de dados “Media 18h *Tar*” no valor de 32,95°C, no dia 16/01/2019.

Já os menores valores coletados no mesmo período são destacados na série de dados “Média 6h *Tar*” no valor de 21,48°C no dia 17/01/2019, na série de dados “Media 9h *Tar*” no valor de 22,83°C no dia 15/01/2019, na série de dados “Media 12h *Tar*” no valor de 22,83°C no dia 15/01/2019, na série de dados “Media 15h *Tar*” no valor de 28,44°C no dia 17/01/2019 e na série de dados “Media 18h *Tar*” no valor de 29,21°C, no dia 20/01/2019.

Comparando esses resultados com os dados da EM pode-se observar que na série de dados “Média 6h*Tar*”, a média dos valores coletados foi 11,37°C inferior e 3,42°C superior à média da temperatura mínima do ar da EM, na série de dados “Media 9h *Tar*”, a média dos valores coletados foi 9,18°C menor e 5,61°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM, na série de dados “Media 12h *Tar*”, a média dos valores coletados foi 5,27°C menor e 9,52°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM, na série de dados “Media 15h *Tar*”, a média dos valores coletados foi 2,28°C menor e 12,51°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM, e na série de dados “Media 18h *Tar*”, a média dos valores coletados foi 3,59°C menor e 11,20°C maior que a média da temperatura mínima do ar da EM.

No período da manhã, de acordo com o guia adaptado de manejo da COBB, no horário das 6h em todos os dias a temperatura do ar dentro dos parâmetros da zona termoneutra da ave. No horário das 9h nos dias 9 a 11 e 14/01/2019 a temperatura do ar ficou em média 5,61°C acima da zona termoneutra da ave e nos dias 15 a 20/01/2019 dentro da zona termoneutra. No horário das 12h nos dias 17 e 18/01/2019 a temperatura do ar ficou dentro dos parâmetros da zona termoneutra e nos demais dias a temperatura do ar ficou em média 2,72°C acima da zona termoneutra da ave.

Já no período da tarde, de acordo com o guia adaptado de manejo da COBB no horário das 15h em todos os dias do experimento temperatura do ar ficou em média 12,51°C acima da zona termoneutra da ave. No horário das 18h em todos os dias do experimento temperatura do ar ficou em média 11,20°C acima da zona termoneutra da ave.

Os dados coletados pelos Mtar podem ser observados na Figura 61.

Figura 61 - Experimento T2: de 09/01 à 20/01/2019, período da manhã

Figura 62 - Experimento T2: de 09/01 à 20/01/2019, período da tarde

Fonte: Autoria Própria

4.4.1.2.3 Consumo de energia elétrica T2

A partir dos relatórios dos dados enviados pelos módulos Matu para o banco de dados do servidor MAPAG foi possível calcular a somatória da quantidade de horas que os ventiladores e climatizadores/aspersores ficaram ligados, e a partir destes resultados encontrar o valor do consumo em kWh de energia elétrica dos equipamentos no T2. Na Figura 63 podemos observar a tela que permite gerar relatórios.

Figura 63 - Tela do sistema MAPAG que permite exportar dados dos atuadores

Fonte: Autoria Própria

Para analisar a eficiência energética entre os tratamentos foi emitido um relatório que permitiu contabilizar a quantidade de horas que ventiladores e climatizadores/aspersores ficaram ligados a cada dia e, permitiu também calcular o consumo diário em kWh dos mesmos. Os valores do consumo dos ventiladores em kWh durante o T2 podem ser observados na Tabela 14 e os valores do mesmo consumo dos climatizadores/aspersores podem ser observados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 14 - Ventiladores, somatória de horas dos 4 equipamentos ligados e consumo em kWh

Data	Horas ligado	Consumo em kWh
09/01/2019	06:47:00	2,49
10/01/2019	06:14:00	2,29
11/10/2019	06:35:00	2,42
14/01/2019	06:45:00	2,48
15/01/2019	07:36:00	2,79
16/01/2019	07:27:00	2,74
17/01/2019	05:07:00	1,01
18/01/2019	07:18:00	2,68
19/01/2019	07:03:00	2,59
20/01/2019	07:28:00	2,82

Fonte: Autoria Própria

Tabela 15 - Climatizadores/Aspersores, somatória de horas ligado e consumo em kWh

Data	Horas	kWh
09/01/2019	06:23:00	1,11
10/01/2019	05:28:00	1,12
11/10/2019	06:07:00	1,06
14/01/2019	06:32:00	1,14
15/01/2019	06:47:00	1,18
16/01/2019	06:43:00	1,17
17/01/2019	04:46:00	0,83
18/01/2019	06:12:00	1,08
19/01/2019	06:49:00	1,19
20/01/2019	06:53:00	1,20

Fonte: Autoria Própria

Tabela 16 – Somatória do consumo em kWh durante T2

Equipamento	kWh
Climatizador / Joape Misting Fans	11,08
Ventilador	24,31
TOTAL	35,39

Fonte: Autoria Própria

O valor total em kWh consumido pelos ventiladores totalizou o consumo de 24,31 kWh durante o manejo automatizado do T2, já o tempo total que os ventiladores ficaram ligados totalizou 68 horas e 20 minutos.

Em relação ao consumo em kWh dos ventiladores no T1, no valor de 102,98 kWh, podemos observar que os mesmos ventiladores controlados de forma automatizada no T2 teve um consumo 76,39% mais eficiente.

O valor total em kWh consumido pelos climatizadores/aspersores totalizou o consumo de 11,08 kWh durante o manejo automatizado do T2, já o tempo total que os ventiladores ficaram ligados totalizou 62 horas e 40 minutos.

Em relação ao consumo em kWh dos climatizadores no T1, no valor de 48,72 kWh, pode-se observar que os mesmos ventiladores controlados de forma automatizada no T2 teve um consumo 77,26% mais eficiente.

Para analisar o desempenho do sistema em relação a homogeneidade da temperatura interna do aviário, em relação aos sensores de coleta de dados, pode-se observar, por meio da Tabela 17, que o sistema automatizado, permitiu o maior controle de variação e temperatura, nos horários monitorados, apesar de ser observado na Tabela 17 que somente na média das 6 horas se percebeu uma diferença significativa entre os T1 e T2.

Tabela 17 - Análise estatística

Tratamentos	6	9	12	15	18
Sistema Manual	9,23 a	8.107 a	4.6930 a	4.0094 a	3.9637 a
Sistema Automatizado	5,75 b	6.289 a	3.6089 a	3.8662 a	3.9428 a
Análise de Variância					
p-value	0,0476	0.1565	0.1356	0.8071	0.9660
CV (%)	48,79	38.19	37.37399	32.82511	27.36141

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste F (5%).

P< 0,05 as medias diferem entre si

p>= 0,05 as médias são iguais entre si

Fonte: Autoria Própria

Entretanto, quando se observa a variação entre os horários, é possível observar uma variação menor em todo o período, o que evidencia o melhor desempenho do sistema automatizado em relação ao sistema convencional.

Um outro ponto relevante pode ser observado em relação ao tempo de funcionamento dos ventiladores e climatizadores/aspersores através das Tabelas 12 (T1) e 15 (T2), com o desempenho de aproximadamente 76,83% de redução de uso de energia em kWh.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultado tabelas apresentados, pode-se concluir que o sistema automatizado pode ser empregado no controle térmico, uma vez que o mesmo conseguiu manter a homogeneidade térmica, inclusive como apresentado pelas Tabelas 13 e 16, diminuindo a variação de temperatura nos pontos monitorados, ou seja, nas 8 ZMC, conforme Figura 27 e, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 17.

Assim, o presente trabalho implementou o sistema de gestão para o monitoramento e controle do ambiente térmico em um aviário convencional (experimental), mostrando-se eficiente e interagindo com o meio, de acordo com os protocolos implementados nos módulos sensores e atuadores embarcados no ambiente monitorado.

Um outro aspecto interessante, diz respeito ao consumo de energia, que de acordo com os resultados obtidos gerou uma performance (redução) de aproximadamente 76,83% no T2, em relação ao T1, com o sistema manual.

Assim, pode-se concluir que o sistema automatizado pôde contribuir de maneira significativa para o monitoramento e controle de aviários convencionais, inclusive com o seu monitoramento e controle em tempo real e online.

REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. **Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil**. Revista Brasileira de Zootecnia. Vol. 40, p. 1-14, 2011.

ABREU, P.G. **Sistemas de Produção de Frangos de Corte**. EMBRAPA. CNPSA. ISSN 1678-8850, versão eletrônica. Jan/ 2003. Disponível em <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ave/ProducaodeFrangodeCorte/Ventila-verao-i.html>. Acesso em 18 de janeiro de 2019.

ADAFRUIT. **DHT11 basic temperature-humidity sensor + extras**. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/386>> Acessado em 19 de fevereiro de 2019

AHUJA, G., IVANDI, I., SALTÜRK, M., Oka, Y., NADLER, W., and KORSCHING, S.I. (2013) **Zebrafish crypt neurons project to a single, identified mediodorsal glomerulus**. Scientific Reports. 3:2063.

ALCOM Electronics Ltd. Disponível em: <<https://alcom.nl/sensors/>>. Acesso em 23 ago. 2019.

AMARAL, A.G., et al. **Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.63, n.3, p.649-658, 2011.

AOSONG Electronics Co., Ltd. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

ARAMPATZIS, J. LYGEROS, S. MANESIS. 2005. **A Survey of Applications of Wireless Sensors and Wireless Sensor Networks**.

ARDUINO. **Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>> Acessado em 31 de outubro de 2018.

ASAE. **Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters**, EP270.5. ASAE Standards 1998, p.590-607. ASAE, St. Joseph, MI. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL -ABPA. 2017 -**Protocolo de Bem-Estar para Frangos de Corte**. 2017.

AVISITE - O Portal da Avicultura na Internet. **O peso da alimentação no custo do frango em 2016**. 2016 [cited 2017 Feb 27]. Available from: <http://avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos>

BAÊTA, F.C. e SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Ed. UFV, Viçosa – MG, 1997. 246 p.

_____. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2010.

BANHAZI, T.M; SEEDORF, J.; LAFFRIQUE, M.; RUTLEY, D.L. **Identification of the risk factors for high airborne particle concentration in broiler buildings using statistical modeling.** *Byosystems Engeneering*, v.101, p.100-110, 2008.

BELLAVER, C., 2003 **Visão do produtor de rações sobre a qualidade dos grãos destinados à produção de carne de frangos.** Disponível em: <
<http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Irene%20Menegali2005.pdf>>
Acesso em: 20 de outubro de 2018.

BERCKMANS, D. **Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock management.** *Rev. Sci. Tech.* 2014, 33, 189–196.

BIAGGIONI, M. A. M.; MATTOS, S. P. J.; TARGA, L. A. **Desempenho térmico de aviário de postura acondicionado naturalmente.** *Semina: Ciências Agrárias*, v.29, p.961-972, 2008.
<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p961>

BLOKHUIS, H.J. et al. **Farm animal welfare research in interaction with society.** *Veterinary Quarterly*, Bilthoven, v. 22, n. 4, p. 217-222, 2004.

BOLIS, D.A. **Biodiversidade na criação alternativa de frangos.** In: Conferencia APICO de Ciencia e Tecnologia Avícola. Anais. Campinas. 2001.

BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. **Heat stress physiology and electrolytes for broilers.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.5, p.975-981, 2003. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000500028>>. Acessado em 03 de junho de 2019.

BUENO, L. G. F.; ROSSI, L. A. **Análise de dois sistemas tecnológicos de produção de frango de corte com ênfase no uso racional de energia elétrica e produtividade animal.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Proceedings online...Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100012&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 04 jan. 2019

BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F.J.; CALVET, S.; ESTELLÉS, F.; BELTRÁN, P.; HOSPITALER, A.; TORRES, A.G. **Exploring ventilation efficiency in poultry buildings: The validation of computational fluid dynamics (CFD) in a cross-mechanically ventilated broiler farm.** *Energies* 2012,6, 2605–2623

CARCALHO, L. S. S. **Nutrição de poedeiras em clima quente.** *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, v.18, p.1-15, 2012.

CARVALHO, L. E.; OLIVEIRA, S. M. P.; TURCO, S. H. N. **Utilização da Nebulização e Ventilação Forçada sobre o Desempenho e a Temperatura da Pele de Suínos na Fase de Terminação** *R. Bras. Zootec.*, v.33, n.6, p.1486-1491, 2004.

CARVALHO, V.F. et al. **Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.3, p.358–366, 2009.

CHASE, O. A.; SOUSA DE ALMEIDA; BRITO DE SOUZA, J. R.; COSTA C. T., “**Sensory platform architecture for IN SITU monitoring the thermal comfort in rural environments** – The case study at Federal Rural University of Amazonian, Brazil,” *Measurement*, Elsevier, vol. 58, pp. 294-300, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.08.031>

CHEVILLON, P. **O bem-estar dos suínos durante o pré-abate e o atordoamento**. In: Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína, 1., 2000, Concórdia. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p.152-168. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/index.php?ids=Sn6l70p1l&idl=&pg=0&tipo=8> Acesso em: 12 mar de 2019.

COHEN, C. A. M. J. **Padrões de consumo: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil**. 2002. 224 p. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CORKERY, G.; WARD, S.; KENNY, C.; HEMMINGWAY, P. **Incorporating smart sensing technologies into the poultry industry**. *J. World Poult. Res.* 2013, 3, 106–128.

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.

CURTIS, S. E. **Enviromental management in animal agriculture**. The Iowa State University: Ames, 1983. 410p.

CURTO, F. P. F.; NÄÄs, I.A.; PEREIRA, D.F.; SALGADO. D.D. **Estimativa do padrão de preferência térmica de matrizes pesadas (frangos de corte)**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.211-216, 2007.

DAMASCENO, F.A. et al. **Mudanças climáticas e sua influência na produção avícola**. *PUBVET*, Londrina, V. 4, N. 28, Ed. 133, Art. 901, 2010.

DAIGLE, C.L. **Incorporating the philosophy of technology into animal welfare assessment**. *J. Agric. Environ. Ethics* 2014, 27, 633–647.

DAWKINS, M.S.; DONNELLY, C.; JONES, T. **Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density**. *Nature* 2004, 427, 342–344. [CrossRef] [PubMed]

EMBRAPA. **Instalações -sistema de pressão positiva ou pressurização**. 2003. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/sp/aves/ventila-artificial-2.html>>. Acesso em: 22 set. 2018.

FANG, S., DA XU, L., ZHU, Y., AHATI, J., PEI, H., YAN, J., LIU, Z., 2014. **An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things**. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 10, 1596–1605.

FARIA, F. F. et al. **Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite**. *Ciência Rural*, v. 38, n. 09, p. 2498-2505, 2008

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL - FAWC. **Farm animal welfare in great britain: past, present and future.** London, 2009

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2005. 371p.

FILHO J. A. D. B. **Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientes, utilizando análise de imagens.** 140p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola)- Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiros, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

FILIPEFLOP. **Módulo Wifi ESP8266 NodeMcu ESP-12.** Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/blog/category/arduino/>> Acessado em 30 de janeiro de 2019

FRASER, D. **Animal ethics and animal welfare science:** Bridging the two cultures. Applied Animal Behavior Science, v.65, p.71-89, 1999. Revista Brasileira de Ciências Avícolas, 3:1-26.

FRITIZING. **Software Fritzing BETA.** Disponível em: < <http://fritzing.org/download/> > Acessado em 26 de maio de 2019

FURLAN, R. L.; MACARI, M. **Termorregulação.** In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. p. 209-230.

FURLAN, R.L. **Influência da temperatura na produção de frangos de corte.** In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 07., Chapecó – SC. Anais... Chapecó: Nucleovet, 2006.

GARCIA, L.A.F.; FERREIRA FILHO, J.B.S. **Economias de escala na produção de frangos de corte no Brasil.** Rev. Econ. Sociol. Rural, Brasília, v. 43, n. 3, p. 465-483, Sept. 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/MHxAwJ>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

GLATZ, P.; PYM, R. **Poultry housing and management in developing countries.** Poultry Development Review, p.1-5, 2007.

GUIMARÃES, M.C.C. **Inventário de Características Arquitetônicas-ambientais Associado a Sistemas de Acondicionamento Térmico de Galpões Avícolas.** (Tese de doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009. 168 p.

HAFEZ, E.S.E. **Adaptacion de los animales domésticos.** Barcelona: Labor, 1973. 563p.

HASHIM, N., MAZLAN, S., AZIZ, M.A., SALLEH, A., JAAFAR, A., MOHAMAD, N., 2015. **Agriculture monitoring system:** a study. J. Teknologi 77, 53–59. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.4099>.

HASLAM, S.; KESTIN, S. **Comparing welfare in different systems.** In: C.A. Weeks and A. Butterworth (eds.) Measuring and auditing broiler welfare. CABI Publishing CAB International, Wallingford, UK, 2004, pp 183-195.

HELLMEISTER FILHO, P. **Efeitos de Fatores Genéticos e do Sistema de Criação sobre o Desempenho e o Rendimento de Carcaça de Frangos Tipo Caipira**. Tese (Doutorado). Piracicaba, SP, 2002.

IÁNGLIO M. T. D. et al. **Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.11, n.5, p.527-531, 2007.

IEEE Standard for Information technology, 2005. **Local and metropolitan area networks – Specific requirements** – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, Std.

IEEE 802. Part 15.4:Low-**Rate Wireless Personal Area Networks** (LR-WPANs). The Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, p. 294. 2011. (978-0-7381-6684-1)

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION (IBM) Eurotech. MQTT V3.1 **Protocol Specification**. Disponível em < <http://public.dhe.ibm.com/software/dw/webservices/ws-mqtt/mqtt-v3r1.html> >. Acessado em 10 de Fevereiro de 2019.

IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: Biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Livro 07, (pag. 17-47 e 129-176) 2010.

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.

JINKUANG WANG, LI XINGUANG, ZHANG JING. **Circuit and Electronic Foundation** [M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2015.6:206-253.

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.

KAMILARIS A., KARTAKOULLIS A. & PRENAFETA-BOLDU F.X. (2017) “**A review on the practices of big data analysis in agriculture**”, Computers and Electronics in Agriculture, 143, pp. 23-37, 2017.

KASHIHA, M.; PLUK, A.; BAHR, C.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. **Development of an early warning system for a broiler house using computer vision**. Biosyst. Eng. 2013, 116, 36–45.

KODALI, R.K.,RAWAT, N.,BOPPANA, L., 2014. **WSNsensors forprecision agriculture**. In:Region 10 Symposium. IEEE, pp. 651–656. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2014.686311>.

KOENISBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madri: Paraninfo, 278 p. 1977.

LAVOR, C. T. B.; FERNANDES, A. A. O.; SOUSA, F.M. **Efeito de materiais isolantes térmicos em aviários no desempenho de frango de corte**. Revista Ciência Agronômica, v. 39, n. 02, p. 308-316, 2008.

LIMA, C.E; MARTINS, T. C.; SOLDADA, G. V.; SILVA, R. S.. **Caracterização das exportações e da competitividade internacional do complexo de carnes brasileiras**. In: ENCONTRO DE ECONOMIA CATARINENSE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO, 6, 2005, Joinville. Anais... Joinville: APEC, 2005

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. **Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas**. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. (Eds.). Produção de frangos de corte. 1.ed. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2004. p.137-155. 2004.

MACHADO, N. S. et al. **Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico**. Nucleus, v. 9, n. 2, 2012.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, p.1304-1 a 1304-13, 2008002E

MAHMOOD, M. A.; SEAH, W. K. G.; WELCH, I. **“Reliability in Wireless Sensor Networks: A Survey and Challenges Ahead,”** Computer Networks, 2014.

MARCHEWKA, J.; WATANABE, T.T.N.; FERRANTE, V.; ESTEVEZ, I. **Welfare assessment in broiler farms: Transect walks versus individual scoring**. Poult. Sci. 2013, 92, 2588–2599.

MARIN, R.H.; FREYTES, P.; GUZMAN, D. et al. **Effects of an acute stressor on fear and on the social reinstatement responses of domestic chicks to cagemates and strangers**. Applied Animal Behaviour Science, v.71, n.1, p.57-66, 2001

MARTHINS, J; VIANNA, A. **Análise sobre experimentos com potenciômetros para a introdução do uso de sensores em cursos de física**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia – PPGECT - II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Artigo número: 61 ISSN 2178-6135, 2010.

MASHALY, M.M.; HENDRICKS, G.L.; KALAMA, M.A.; GEHAD, A.E.; ABBAS, A.O.; PATTERSON, P.H. **Effect of heat stress on production parameters and immune responses of comercial laying hens**. POoultry Science, v.83, p.889-894,2004.
<http://dx.doi.org/10.1093/ps/83.6.889>

MASTERWALK. **Módulo Relé 3V / 3.3V 1 Canal**. Disponível em: <
<https://www.masterwalkershop.com.br/modulo-rele-3v-1-canal>> Acessado em 19 de fevereiro de 2019

MCINERMEY, J. **Animal welfare, economics and policy**: report on a study undertaken for the farm & animal health economics. Division of DEFRA: Londres, 2004.

MELUZZI, A.; SIRRI, F. **Welfare of broiler chickens** Ital. J. Anim. Sci., v.8 (Suppl. 1), p.161-173, 2009.

MENDES, A.S. **Efeito do manejo da ventilação natural no ambiente de salas de maternidade para suínos**. 2005. 107p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura – Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

MENDES, J.; STEVAN, S. **LDR e Sensores de luz ambiente**: funcionamento e aplicações. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Semana de Eletrônica e Automação. 2013

MOLLO, M.N.; VENDRAMETTO, O.; OKANO, M.T. **Precision livestock tools to improve products and processes in Broiler production**: A review. Braz. J. Poult. Sci. 2009, 11, 211–218.

MONTGOMERY, D.E. **Introduction to Statistical Quality Control**. Sixth edition New York: John Wiley and Sons, 2008.

MOREIRA, J.; MENDES, A. A.; ROÇA, R. DE O.; GARCIA, E. A.; NAAS, I. DE A.; GARCIA, R. G.; PAZ, I. C. L. DE A. **Effect of stocking density on performance, carcass yield and meat quality in broilers of different commercial strains**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.6, p.1506-1519, 2004.

MOURA, D.J. **Ambiência na avicultura de corte**. In: SILVA, I.J.O. **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: NUPEA – ESALQ/USP, 2001, vol.2, p. 75 – 149.

MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; PEREIRA, D.F.; SILVA, R.B.T.R.; CAMARGO, G.A. **Animal welfare concepts and strategy for poultry production**: a review. Revista Brasileira de Ciência Avícola, Campinas, v.8, n.1, p.137-148, 2006.

MUYUNDA, C.L.; PHIRI, J., “**A Wireless Sensor Network Based Grain Inventory Management System for Zambia’s Food Reserve Agency**,” International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 5, Issue3, March 2016, pp. 3519–3526, Mar. 2019. Available (Online): https://ijirset.com/upload/2016/march/144_34_A%20Wireless_HARD_FORIEGN.pdf

NÄÄS, I.A., MOURA, D.J., LANGANÁ, C.A **Amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte**. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1995, Curitiba. Anais... Curitiba, 1995, p.203-204.

NÄÄS, I. A.; Sevegnani, K. B.; Marcheto, F. G.; Espelho, J. C. C.; Menegassi, V.; Silva, I. J. O. **Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida**. Engenharia Agrícola, v.21, n.2, p.121-126, 2001.

NAAS, I. A.; et al. **Bem estar e comportamento**. Manejo de matrizes de corte -Campinas: FACTA.p.45-52. 2005.

NÄÄS, I. A. et al. **Broilers surface temperature distribution of 42 day old chickens.** Scientia Agricola, Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 497-502, sep./oct., 2010.

NAZARENO, A.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.; GIONGO, P.R.; PEDROSA, E.M.R.; GUISELINI, C. **Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, n.6, p.802–808, 2009.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O da.; VIEIRA, F. M. C.; CAMARGO, J. R. de.; MEDEIROS, S. R. R. **Caracterização do microclima dos diferentes layouts de caixas no transporte de ovos férteis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 17, p. 327-332, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000300012. Acesso em: 16 de aBR. 2019

NEIVA, J. N. M. et al. **Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santas Inês mantidos em confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira Zootecnia, v.33, n.3, p.668-678, 2004.

NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. **Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress.** In: **International Symposium of the Cigr.** New trends in farm buildings, 2004, Évora. Anais..., Évora: CIGR, 2004.

NÓBREGA, G. H. et al. **A produção animal sobre a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró, v.6, n.1, p. 67-73, 2011. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/592/pdf_165>. Acesso em 10 nov. 2012. ISSN: 1981-8203.

NOLDUS, L.P.J.J.; JANSEN, R.G. **Measuring broiler chicken behaviour and welfare: prospect for automation.** In: C. A. Weeks and A. Butterworth (eds.). **Measuring and auditing broiler welfare.** CABI Publishing CAB International, Wallingford, UK, 2004, p. 267-290.

OD CONSULTORIA, **% do Crescimento da Produção Internacional de Carnes** disponível em: <<http://www.odconsulting.com.br/>> , Acessado em 17 de dezembro de 2018.

OJHA, T., MISRA, S., RAGHUWANSHI, N.S., 2015. **Wireless sensor networks for agriculture: the state of-the-art in practice and future challenges.** Comput. Electron. Agric. 118, 66–84.

OLIVEIRA, R. F. M. et al. **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. 03, p. 797-803, 2006

OTHMAN, M. F.; SHAZALI, K. **“Wireless Sensor Network Applications: A Study in Environment Monitoring System,”** International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, Procedia Engineering, Elsevier, vol. 41, pp. 1204-1210, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.302>

PANG, Z., CHEN, Q., HAN, W., ZHENG, L., 2015. **Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply Chain**: value creation, sensor portfolio and information fusion. Inform. Syst. Front. 17, 289–319. <https://doi.org/10.1007/s10796-012-9374-9>

PELICANO, E. R. L.; BERNAL, F.E.M.; FURLAN, R.L. et al. **Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar protéica ou genética sobre o ganho de peso e crescimento ósseo de frangos de corte**. Arq. Brás. Med. Vet. Zootec., v.57, n.3, p.353-360, 2005

PONCIANO, P. F. et al. **Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy**: uma revisão. Revista Archivos de Zootecnia, Córdoba. Espanha v. 60, p. 1-13, 2011.

POTDOR, V.; SHARIF, A.; CHANGWIRELESS, E. **Sensor Networks**. A Survey Zhao, J. Liu, J. Liu, L. Guibas, J. Reich Collaborative signal and information processing: an information directed approach, 2009.

QUEIROZ, M. L. V.; Barbosa Filho, J. A. D.; Vieira, F. M. C. **Guia pratica para utilização de tabelas de entalpia**. Núcleo de Estudos em Ambiência Agrícola e Bem-estar Animal (NEAMBE). 2012. [Online]. http://www.neambe.ufc.br/index_noticia_id_12

RASPBERRY. **Raspberry Pi 3 Model B+**. Disponível em: <<https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>> Acessado em 23 de março de 2019.

REIS, F. R. D. **Avaliação e controle do risco de estresse térmico dos trabalhadores no corte manual de cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, v.12, n.2. p.73, 2014

RODRIGUES, V.C.; SILVA, I.J.O.; VIEIRA, F.M.C.; NASCIMENTO, S.T.A **Correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock**. International Journal of Biometeorology, v.55, n.3, p.455-459, 2010.

RODRIGUES, et al. **Correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock**. Int. J. Biometeorol. 55, n. 3, p. 455-459, 2011.

RODRIGUES, RANIERE DOS SANTOS. **O uso de energia oriunda de fontes renováveis nas indústrias brasileiras**: uma questão de sustentabilidade. São Paulo: 2006.

SAHA, C. K., AMMON, C., BERG, W., LOEBSIN, C., FIEDLER, M., BRUNSCH, R., et al. (2012). **The effect of external wind speed and direction on sampling point concentrations, air change rate and emissions from a naturally ventilated dairy building**. Biosystems Engineering, 114 (3), 267 e 278.

SALGADO, D.D. **Modelo estatístico para predição de bem-estar de reprodutoras de frango de corte baseado em dados de ambiente e análise do comportamento**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

SALGADO, D. D. et al. **Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas**. Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p.619-629, 2007.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000400004>. Acesso em 14 ago. 2018. doi: 10.1590/S0100-69162007000400004.

SALLES, S.C.; TEIXEIRA N.M. **Escolha de tarifas e suas implicações**. 2003. Energia na Agricultura, v.14, n.2, p.1-6. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/posgradua/Energia/revista/V14N2-99/142sonia.pdf>> Acesso em: 10 de março de 2019.

SAMPAIO, C.A.P.; CARDOSO, C.O.; SOUZA, G.P. **Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico**. Engenharia Agrícola, v.31, n. 2, p. 230-236, 2011.

SANTOS, P.A.; BAÊTA, F.C.; TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. **Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves**. Revista CERES, Viçosa-MG, v.56, n.2, p.172-180, 2009.

SANTOS P. A.et al. **Avaliação dos sistemas de aquecimento a gás e a lenha para frangos de corte**. Revista ceres,n.11, p. 10-17, 2009.

SAVASTANO JÚNIOR. H. et al. **Desempenho térmico de alguns materiais de cobertura em aviários**. Engenharia Rural, Piracicaba, v.8, n.1, p.1-10, 1997

SARAZ, J.A.O.; TINÔCO, I.F.F.; PAULA, M.O.; PEIXOTO, R.F.; GATES, R. **Elaboración y evaluación de tejas de concreto em arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuárias**. Revista Facultad Nacional de Agronomía, v.63, p.5651-5660, 2010.

SENSE SENSORS & INSTRUMENTS. **Medição de Temperatura em Processos Industriais**. Variáveis de Processo Temperatura. 2000000300 Rev. A – 09/2015. Acessado em 09 de Fevereiro de 2019.

SILVA, M. P. et al. **Evaluation of the evaporative painel evaporativo usage potential for the Southeast region of Brazil with a simplified model for the estimation of the energy balance in sheds for broiler chickens**. In: International livestock environment symposium, 7., 2005, Beijing. Anais..., Beijing: ASABE, 2005, p.143-150.

SILVA, M. et al. **Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte**. Revista Brasileira de Zootecnia, p.1126-1130. 2007.

SOUZA, P. **Avicultura e Clima Quente**: Como administrar o bem-estar às aves?. Avicultura Industrial. n. 3, 2005.

TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; TAKAHASHI, K. M. **Bioclimatologia zootécnica**. Jaboticabal: [s.n.], 2009. p. 13-39.

TALAVERA, J.M.; TOBÓN, L. E.; GÓMEZ, J. A.; CULMAN, M. A.; ARANDA, J. M.; PARRA, D. T.; QUIROZ, L. A.; HOYOS, A.; GARRETA L. E. **“Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields,”** Computers and Electronics in Agriculture, vol. 142, pp. 283-297, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>

THINGSPEAK. **Internet Of Things**. ThingSpeak, 2015. Disponível em: < <https://thingspeak.com/>>. Acesso em 15 set 2018

TINÔCO, I. de F.F. **Avicultura Industrial**: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v.3, p.1-26, 2001.

TINOCO, I. A. P. (2011). **Lei Arouca: Avanço ou retrocesso?** Recuperado em 30 maio 2012, de <http://www.abolicionismoanimal.org.br/artigos/leiaroucaavanooouretrocesso.pdf>

TPLINK. **Roteador Wireless N 300Mbps**. Disponível em: < <https://www.tp-link.com/br/home-networking/wifi-router/tl-wr849n/#overview>> Acessado em 19 de fevereiro de 2019

TZOUNIS, N. KATSOULAS, T. BARTZANAS AND C. KITTAS, “**Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges**,” Biosystems Engineering, vol. 164, pp. 31-48, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007>

VALE, M.M.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; OLIVEIRA, S.R.; RODRIGUES, L.HA. **Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave**. Scientia Agricola, v. 65, pg. 223-229, 2008

VERCELLINO, R.A. et al. **The influence of side-curtain color on broiler chick behavior**. Brazilian Journal of Poultry Science, v. 15, n. 03, p.169-286, 2013.

VERCOE, J.E.; FITZHUGH, H.A.; Von KAUFMANN, R. **Livestock productions systems beyond**. Asian-Australian Journal of Animal Sciences, v.13, p.411-419, 2000

VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; MENEGALI, I.; JÚNIOR, J. P. de S.; HOLANDA, M. C. R de. **Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, p.1381-1386, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v39n6/30.pdf> Acesso em: 28 de out. 2018.

WALPOLE, R. E., MYERS, R.H., MYERS, S. L., YE, K. **Probabilidade e Estatística para engenharia e ciências**. [Tradução Vianna, L. F. P.]. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

WELKER, J. S. et al. **Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização**. Revista Brasileira de Zootecnia. v. 37. n. 08. 2008.

WIESELTHIER, J. E., NGUYEN; EPHREMIDES, G. D., A., **Resource management in energy-limited, bandwidth-limited, transceiver-limited wireless networks for session based multicasting**, COMPUT NETWORKS ISDN2002, 39, 2002, pp. 113-131.

WOLFERT S.; GE, L.; VERDOUWA, C.; BOGAARDT, M.J. “**Big Data in Smart Farming – A review**,” Agricultural Systems, Elsevier, vol. 153, pp. 69-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

YAHAV, S.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. **Sensible heat loss: the broiler's paradox**. World's Poultry Science Journal, Beekbergen, v.61, n.3, p.419-434, 2005.

ZHANG, J; LI, W; CUI, D.; ZHAO, X.; YIN, Z. **“The NS2-Based Simulation and Research on Wireless Sensor Network Route Protocol,”** *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009. WiCom '09. 5th International Conference on*, vol., no., pp. 1,4, 24-26 Sept. 2009