

ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

**SISTEMA MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS,
UTILIZANDO MÉTODO INTERPOLADOR *IDW***

Botucatu

2019

ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

**SISTEMA MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS,
UTILIZANDO MÉTODO INTERPOLADOR *IDW***

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Energia na Agricultura)

Orientadora: Dra. Silvia Regina Lucas de Souza

Coorientador: Dr. Vasco Manuel Fitas da Cruz

Botucatu

2019

O48s Oliveira Júnior, Arilson José de
Sistema móvel para análise de conforto térmico de animais,
utilizando método interpolador IDW / Arilson José de Oliveira
Júnior. -- Botucatu, 2019
112 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Silvia Regina Lucas de Souza
Coorientador: Vasco Manuel Fitas da Cruz

1. Conforto térmico. 2. Dispositivos móveis. 3. IDW. 4.
Interpolação de dados. 5. Bem-estar animal. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

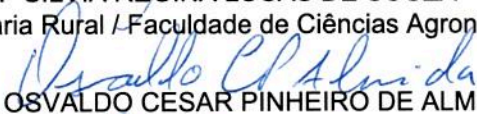
TÍTULO DA TESE: SISTEMA MÓVEL PARA ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS,
UTILIZANDO MÉTODO INTERPOLADOR *IDW*

AUTOR: ARILSON JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR
ORIENTADORA: SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
COORIENTADOR: VASCO MANUEL FITAS CRUZ

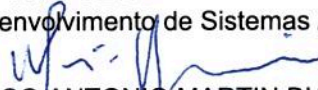
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



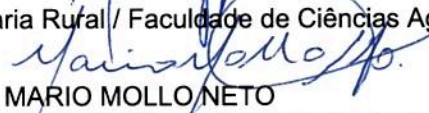
Prof.ª Dr.ª SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



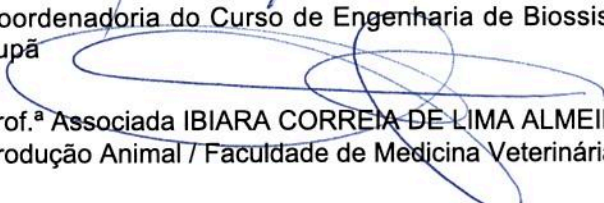
Prof. Dr. OSVALDO CESAR PINHEIRO DE ALMEIDA
Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade de Tecnologia de Botucatu



Prof. Dr. MARÇO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. MARIO MOLLO NETO
Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biossistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP -
Tupã



Prof.ª Associada IBIARA CORREIA DE LIMA ALMEIDA PAZ
Produção Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu - UNESP

Botucatu, 12 de dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida.

Aos meus queridos pais Arilson José de Oliveira e Valéria Cristina Fernandes de Oliveira, por me conduzirem em caminhos de felicidade e me apoiarem sempre.

À minha amada esposa, Diéllen Cristina Devidé Ribeiro de Oliveira, que vivenciou ao meu lado esse árduo trabalho, me auxiliando, sustentando e confortando em muitos momentos. Te amo!

À minha orientadora Silvia Regina Lucas de Souza, pela liberdade e confiança concedida a mim durante todo o período de pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade e suporte concedido para o desenvolvimento desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro que viabilizou a concretização dessa pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, pelo acolhimento e apoio conferidos a mim desde o início da minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos e companheiros de pesquisa que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desse projeto.

“Ele da força ao cansado e fortalece o que não tem vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços cairão, mas os que esperam no Senhor renovarão suas forças; subirão com asas como águias; correrão e não se cansarão; andarão e não se fatigarão.”

Isaías 40:29–31

RESUMO

Em ambientes de produção animal o processo de análise das condições de conforto térmico pode ser realizado mediante o cálculo de índices de conforto térmico e da elaboração de mapas de variabilidade espacial de parâmetros meteorológicos e dos próprios índices de conforto térmico. Os métodos atuais para análise do bem-estar animal, especificamente aqueles por meio de mapas de índices de conforto térmico, são realizados em programas de computador utilizando-se *softwares* específicos de interpolação de dados. Esses processos, por sua vez, não permitem que avaliações de conforto térmico sejam realizadas facilmente no próprio local de coleta de dados. Assim, esse trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver um sistema para criação de mapas de variabilidade espacial da temperatura do ar e de índices de conforto térmico de animais, utilizando o método interpolador *IDW* (*Inverse Distance Weighted*), ou Inverso da Distância Ponderada. O sistema desenvolvido é composto por um aplicativo *Android* e dispositivos de transmissão e recepção de dados meteorológicos. O aplicativo foi desenvolvido por meio da linguagem de programação orientada a objetos Java, mediante o ambiente de desenvolvimento integrado *Android Studio*. Já os dispositivos móveis foram criados utilizando-se sensores de baixo custo de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa, juntamente com microcontroladores de plataforma eletrônica de código aberto – *Arduino*. O algoritmo desenvolvido para o aplicativo *Android* foi validado por meio da comparação entre valores de temperatura do ar medidos, e aqueles interpolados pelo aplicativo em um galpão de aves de corte. Já os módulos de transmissão e recepção de dados foram validados mediante a avaliação do ambiente térmico de um galpão de aves de corte de um pequeno produtor, durante o período de seis semanas. As avaliações foram realizadas considerando os mapas de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico *ITGU* e *ITU*, criados no próprio local de coleta de dados. A comparação entre os valores medidos e aqueles interpolados pelo aplicativo evidenciaram a correta implementação do método interpolador *IDW*, resultando em grande proximidade das medidas, cuja capacidade preditiva do algoritmo apresentou boa acurácia e precisão. O correto funcionamento entre módulos de transmissão, receptor e o aplicativo *Aurora*, demonstraram que o sistema desenvolvido é uma ferramenta capaz de avaliar o bem-estar de aves, bovinos e suínos com o uso de mapas de variabilidade espacial da temperatura do ar ou de índices de conforto térmico. A portabilidade do sistema permite que análises *in loco* sejam realizadas, sendo úteis na compreensão dos fatores bioclimáticos determinantes para o conforto térmico animal.

Palavras-chave: Conforto térmico. Dispositivos móveis. *IDW*. Interpolação de dados. Bem-estar animal.

ABSTRACT

In animal production environments, the process of analysis of thermal comfort conditions may be carried out through the calculation of the thermal comfort index and the creation of maps showing spatial variabilities of meteorological parameters and the thermal comfort indexes. The current methods for analysis of animal well-fare, especially those including maps of thermal comfort indexes, are carried out using computer programs with specific software of data interpolation. On the other hand, these processes don't allow the evaluations of thermal comfort to be easily performed in the data collection site. Therefore, the aim of this study was developing a system for creation of maps with spatial variability of the air temperature and thermal comfort of animals, using the *IDW* (Inverse Distance Weighted) interpolation method. The system created is formed by an Android app and devices of transmission and reception of meteorological data. The app was developed using the Java programming language, through the Android Studio integrated development environment. The mobile devices were made using low cost air temperature, black globe temperature and relative humidity sensors, and microcontrollers of open source electronic platform – Arduino. The algorithm developed for the Android app was validated by means of comparing the air temperature figures measured, and those interpolated by the app in a broiler shed. On the other hand, the transmission and reception of data were validated via the evaluation of the thermal environment in a small farmer's broiler shed for six weeks. The assessments were performed considering the air temperature maps and the *ITGU* and *ITU* thermal comfort indexes, created in the data collection site. The comparison between the measured figures and the ones interpolated by the app emphasized the proper implementation of the *IDW* interpolation method, resulting in a great proximity of the measurements, and the predictive capacity of the algorithm presented good accuracy and precision. Amid the correct operation of transmission and reception modules and the Aurora app, the system that was developed demonstrated that is a tool capable of evaluating the well-being of birds, bovine and swine, using maps of spatial variability in the air temperature or thermal comfort indexes. The portability of the system allows in loco analysis, useful for comprehending the bioclimatic factors essential for the animal thermal comfort.

Keywords: Animal welfare. Data interpolation. *IDW*. Mobile devices. Thermal comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 1 -	Microcontrolador Arduino UNO	31
------------	------------------------------------	----

CAPÍTULO 1

Figura 1 -	Fluxograma de entrada e saída de dados do aplicativo <i>Aurora</i>	44
Figura 2 -	Detalhamento das configurações durante a execução do aplicativo <i>Aurora</i> , relativas às instanciações de classes, inicialização de variáveis, objetos e serviços.....	45
Figura 3 -	Galpão de aves de corte localizado na fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil.....	46
Figura 4 -	Posicionamento dos sensores de temperatura e umidade relativa em galpão de aves localizado na fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil. A distância entre os sensores é dada em metros (m).....	47
Figura 5 -	Medidas de temperatura do ar (A., °C) e umidade relativa (B., %) dos sensores HC2S3 (referência) e HOBO U12-013 HB_{f1} , durante período de calibração (19–20/05/2018).....	51
Figura 6 -	Dispersão dos dados de temperatura (A., °C) e umidade relativa (B., %) dos sensores HC2S3 e HOBO U12-013 HB_{f1} , durante período de calibração (19 – 20/05/2018).....	52
Figura 7 -	Mapas de temperatura do ar (°C) do dia 9, criados pelo aplicativo <i>Aurora</i> para os períodos matutino (A.) e vespertino (B.) em área experimental delimitada no galpão de aves localizado na fazenda Edgardia, Botucatu/SP, Brasil.....	59
Figura 8 -	Mapas de índice de conforto térmico <i>ITU</i> criados pelo aplicativo <i>Aurora</i> para galpão de aves de corte da fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil – Simulação da presença de aves de 1 semana no período matutino (A.) e aves de 3 semanas no período vespertino (B.).....	60
Figura 9 -	Mapas de índices de conforto térmicos criados pelo aplicativo <i>Aurora</i> , mediante ambientes e dados das Tabelas 5 e 6, sendo:	

Aves ¹ , ITU, 4 semanas de vida (A.); Aves ² , ITGU, 2 semanas de vida (B.); Bovinos ¹ , ITU (C.), Bovinos ² , ITGU (D.); Suínos ¹ , ITU (E.) e Suínos ² , ITGU (F.).....	63
Figura 10 - Imagem do tipo GIF criada para medidas de temperatura do ar, em ambiente simulado com dimensões 2 x 4 m.....	65

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Fluxograma do algoritmo dos dispositivos de transmissão	76
Figura 2 - Fluxograma do algoritmo do dispositivo de recepção	77
Figura 3 - Padrão de configuração e esquema de comunicação, utilizando os módulos nRF24L01, sendo: PTX (transmissores) e PRX (receptor).....	79
Figura 4 - Galpão de aves de corte localizado em uma fazenda da região de Pardinho/SP; Interior do galpão contendo aves em sua primeira semana (A. e B.), região de expansão do galpão, conforme crescimento das aves (C.) e vista externa do galpão (D.).....	81
Figura 5 - Área de aplicação dos dispositivos de transmissão de dados com referência geográfica aproximada, contendo em cada área seis dispositivos (TR_1 a TR_6).....	82
Figura 6 - Esquema elétrico dos dispositivos de transmissão	83
Figura 7 - Módulo transmissor em visão superior: (1) Arduino Nano 5V, (2) nRF24L01, (3) Capacitor 100 μ F, (4) Regulador de tensão ajustável MT3608 auto boost Step Up, (5, 6) Sensor de temperatura e umidade relativa AM2302 e (7, 8) Resistor de 10 $K\Omega$ (<i>pull up</i>).....	84
Figura 8 - Esquema elétrico do módulo receptor	84
Figura 9 - Módulo receptor em visão superior: (1) Arduino Nano 5 V, (2) Capacitor 100 μ F, (3) Bluetooth HC-06, (4) nRF24L01 e (5, 6) Resistor 2,2 $K\Omega$ (divisor de tensão).....	85
Figura 10 - Medidas de temperatura do ar do sensor HC2S3-L e dos sensores AM2302.....	86
Figura 11 - Medidas de umidade relativa do sensor HC2S3-L e dos sensores AM2302.....	86

Figura 12 -	Medidas de Ta e (B.) Medidas de UR do sensor referência HC2S3-L e dos sensores AM2302, sem aplicação da função de calibração; (C.) Medidas de Ta e (D.) Medidas de UR com aplicação das funções de calibração.....	89
Figura 13 -	Mapas de temperatura do ar gerados pelos aplicativo Aurora dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 1, 2 e 3.....	91
Figura 14 -	Mapas de temperatura do ar gerados pelos aplicativo Aurora do períodos de mínima e máxima, durante as semanas 4, 5 e 6.....	92
Figura 15 -	Mapas de $ITGU$ gerados pelos aplicativo Aurora dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 1, 2 e 3.....	94
Figura 16 -	Mapas de ITU gerados pelos aplicativo Aurora dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 4, 5 e 6.....	96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 -	Limites de conforto térmico para aves de corte, bovinos de leite e suínos, segundo os índices <i>ITGU</i> e <i>ITU</i>	41
Tabela 2 -	Posição dos pontos conhecidos (P_{c_n}) e estimados (P_{e_n}) de temperatura do ar (z , °C), em um plano bidimensional x e y	51
Tabela 3 -	Fatores de calibração A e B , coeficiente de determinação R^2 e desvio padrão SD para medidas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) dos sensores HOB0 U12-013, sendo $y = A + Bx$	53
Tabela 4 -	Valores dos coeficientes: linear A , angular B , correlação R e determinação R^2 , obtidos pelo método de regressão linear para os dados estimados pelos sensores móveis $HBm1$, $HBm2$ e $HBm3$	54
Tabela 5 -	Médias dos valores medidos O e estimados E , coeficiente de variação dos valores medidos CV_O e estimados CV_E e desvios padrão SD dos dados de regressão linear dos sensores móveis $HBm1$, $HBm2$ e $HBm3$	55
Tabela 6 -	Valores de MAE , MBE e $RMSE$ dos sensores móveis $HBm1$, $HBm2$ e $HBm3$, em relação aos valores interpolados pelo aplicativo Aurora em galpão de aves	56
Tabela 7 -	Medidas e dados utilizados de ambientes simulados para ilustração de mapas de índices de conforto térmico, a partir do aplicativo <i>Aurora</i>	62
Tabela 8 -	Medidas simuladas de Temperatura do ar (T_a , °C), Umidade relativa (U_r , %), Temperatura de globo negro (T_g , °C) e Temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C) utilizadas para criação de mapas de índices de conforto térmico pelo aplicativo <i>Aurora</i> para aves, bovinos e suínos	62

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Fatores de calibração para medidas de temperatura do ar (T_a , °C) e umidade relativa do ar (UR , %) dos sensores <i>AM2302</i> , para $y = A + Bx$, sendo y = sensor referência <i>HC2S3</i>	88
---	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	21
Objetivo geral.....	23
Objetivos específicos.....	23
Revisão de Literatura.....	24
Conforto térmico.....	24
Conforto térmico de animais.....	24
Índices de conforto térmico.....	25
Índices de conforto térmico de animais.....	26
Interpolação de dados.....	26
Computação móvel.....	28
Microcontroladores.....	30
CAPÍTULO 1 – AURORA: APLICATIVO MÓVEL PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS, UTILIZANDO O INTERPOLADOR <i>IDW</i>	32
1.1 INTRODUÇÃO.....	34
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
1.2.1 Método interpolador.....	35
1.2.2 Índices de conforto térmico para animais.....	39
1.2.3 Aplicativo <i>Aurora</i>	42
1.2.4 Validação.....	45
1.2.4.1 Calibração dos sensores.....	48
1.2.4.2 Avaliação dos erros do interpolador.....	48
1.2.4.3 Capacidade preditiva do interpolador.....	49
1.2.5 Requisitos de operação.....	49
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
1.3.1 Aplicativo.....	50
1.3.2 <i>Aurora</i> : Validação por cálculo manual de <i>IDW</i>	50
1.3.3 Calibração dos sensores HOBO U12-013.....	51
1.3.4 <i>Aurora</i> : Validação em galpão de aves.....	53
1.3.5 Mapas de índices de conforto térmico.....	60

1.4	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68
CAPÍTULO 2 – SISTEMA PARA MEDIÇÃO E ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR E DOS ÍNDICES ITGU E ITU, VISANDO O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL		
		72
2.1	INTRODUÇÃO.....	74
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	75
2.2.1	Sistema de leitura e transmissão de dados.....	75
2.2.2	Dispositivo de transmissão	78
2.2.3	Módulo receptor.....	80
2.2.4	Calibração dos sensores AM2302.....	80
2.2.5	Validação do sistema.....	80
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
2.3.1	Dispositivos de transmissão e módulo receptor.....	83
2.3.2	Calibração dos sensores AM2302.....	85
2.3.3	Variabilidade espacial de T_a , $ITGU$ e ITU em galpão de aves.....	90
2.3.4	Custo.....	99
2.4	CONCLUSÃO.....	99
	REFERÊNCIAS.....	101
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	106

INTRODUÇÃO GERAL

Muitos são os trabalhos desenvolvidos atualmente relacionados à análise de conforto térmico de ambientes, em diferentes arquiteturas de instalações e para diferentes tipos de indivíduos. Houve, por meio de trabalhos científicos e da expansão dos setores que necessitam de intenso controle de parâmetros meteorológicos em suas instalações, um avanço significativo das tecnologias de monitoramento e controle de medidas inerentes ao conforto térmico. As condições de conforto térmico não são, em aspectos que determinam níveis de classificação de estados de conforto ou desconforto, integralmente absolutas. Ou seja, as condições térmicas diferem-se entre os indivíduos. Em avaliações de confortabilidade térmica de pessoas é comum considerar vertentes subjetivas para indicar se há conforto térmico ou não, como sua idade, peso, região em que habita, atividade executada no momento da avaliação, vestimentas entre outros. Já em avaliações de conforto térmico de animais, observa-se o uso frequente de índices de conforto térmico específicos para cada espécie. Embora os diferentes índices façam uso de variáveis meteorológicas semelhantes, a determinação da condição de conforto ou estresse térmico está relacionada a limites pré-definidos segundo a espécie e a idade do animal. Dessa forma, para uma ave com poucas semanas de vida um determinado ambiente pode ser confortável, porém, o mesmo pode apresentar-se desconfortável para um bovino ou suíno. Sabe-se que ambientes saturados de massas de ar quente e de elevada umidade ocasionam grandes perdas de performance produtiva e de potencial genético dos animais. Por isso, as condições de desconforto térmico além de prejudicarem significativamente à saúde quando há longos períodos de exposição, impedem a obtenção do máximo rendimento e qualidade das atividades desenvolvidas.

Os processos de avaliação de conforto térmico, especificamente em ambientes de produção animal, podem ser desenvolvidos mediante duas atividades subsequentes e complementares. A primeira delas é a medição de variáveis meteorológicas (temperatura do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento), que são na maioria das vezes complementadas pela aplicação de índices não invasivos que, por meio dos parâmetros meteorológicos, fornecem a condição térmica aproximada de um determinado ambiente, informando se os indivíduos ali presentes estão confortáveis. Dentre os índices utilizados nesse tipo de avaliação, alguns são frequentemente

relatados em trabalhos e pesquisas, tais como o Índice de Temperatura e Umidade – ITU (BUFFINGTON et al., 1983), Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU (BUFFINGTON et al., 1981) e Índice de Temperatura-Umidade-Velocidade (TAO e XIN, 2003). A aplicação desses índices baseia-se na instalação de sensores e dispositivos eletrônicos de armazenamento de dados (*data loggers*), e posterior cálculo da equação correspondente.

A segunda atividade para avaliação do conforto térmico animal, é o mapeamento do ambiente onde se deseja avaliar os aspectos bioclimáticos em função da variabilidade espacial de medidas como: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e dos próprios índices de conforto térmico. Nesse processo, a prática comum é trabalhar com dados coletados em pontos conhecidos e inseri-los posteriormente em *softwares* capazes de manipular os dados e gerar mapas temáticos, segundo o tipo de medida a ser avaliada. Apesar dos *softwares* processarem de forma eficaz grandes volumes de dados e gerarem mapas com precisão autêntica, tais programas exigem do usuário um determinado conhecimento e habilidade específica para manipular as ferramentas e componentes presentes no *software* (que podem, inclusive, ser de complexidade considerável). Além do conhecimento prévio para manipulação do volume de dados durante sua importação e em todo o processo de preparação, montagem e configuração dos equipamentos. Em suma, o processo de criação dos mapas de variabilidade espacial consiste atualmente na medição, transferência dos dados para um computador pessoal e uso de *softwares* específicos para o desenvolvimento dos mapas. Assim, observa-se que a prática atual de mapeamento inviabiliza possíveis análises dos parâmetros bioclimáticos *in loco*, ou seja, no próprio local onde as medidas são coletadas. Outro fator comumente observado nesse processo é a obtenção de mapas para as medidas de temperatura do ar, umidade relativa ou velocidade do vento, e não especificamente dos índices de conforto térmico de animais.

O desenvolvimento de novas soluções tecnológicas correlacionadas à análise de conforto térmico animal, permite que linhas de pesquisa e trabalho associadas à zootecnia de precisão sejam aprimoradas, sobretudo no que diz respeito à performance das atividades concernentes ao bem-estar animal.

Objetivo Geral

Diante do exposto, este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver um sistema móvel para análise do bem-estar animal, a partir de mapas temáticos de temperatura do ar e de índices de conforto térmico.

Objetivos Específicos

- Desenvolver um algoritmo de aplicação do método interpolador Inverso da Distância Ponderada, *IDW*;
- Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis *Android*, capaz de interpolar dados e criar mapas temáticos;
- Criar dispositivos para medição da temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa, e transmissão de dados via tecnologia de rádio frequência;
- Criar um dispositivo capaz de receber dados meteorológicos e enviá-los a um *smartphone*, por meio de tecnologia *Bluetooth*.

A presente tese encontra-se dividida nos seguintes tópicos e capítulos:

Introdução geral e Revisão de literatura: contextualização e conceituação dos principais assuntos abordados na pesquisa.

Capítulo 1 – Intitulado “*Aurora*: Aplicativo móvel para análise da variabilidade espacial de índices de conforto térmico de animais, utilizando interpolador *IDW*”, teve por objetivo o desenvolvimento de um aplicativo para criação de mapas de temperatura do ar e índices de conforto térmico de animais, a partir de pontos referenciados em áreas bidimensionais.

Capítulo 2 – Intitulado “Sistema para medição e análise da variabilidade espacial de *ITGU*, *ITU* e Temperatura do ar”, teve por objetivo a criação de um sistema capaz de medir dados de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa, permitindo análises de conforto térmico de animais *in loco*.

Considerações finais: conclusões finais frente ao desenvolvimento, experimentação e discussão da pesquisa.

Revisão de Literatura

A seguir são apresentadas as revisões de literatura dos assuntos que fazem parte da contextualização deste trabalho.

Conforto térmico

O conforto térmico é um parâmetro subjetivo. Embora hajam definições que relacionam o conforto térmico de um determinado indivíduo com a condição mental que expressa satisfação em relação ao ambiente térmico (ASHRAE, 2010; NEMATCHOUA, TCHINDA e OROSA, 2013; DIN et al., 2014), existem diferenças quanto a essa perspectiva. Entretanto, para além de uma definição, pode-se considerar o conforto térmico como o fundamento de estudos destinado à análise das condições necessárias para se criar um ambiente apropriado às atividades de seus indivíduos. Entende-se que as sensações de calor ou frio não dependem somente da temperatura do ar, mas de fatores como: i. temperatura radiante (a temperatura das superfícies ao nosso redor), ii. umidade relativa (medição do vapor de água em uma mistura ar-água), iii. movimento do ar (a taxa na qual o ar se move e toca a pele), iv. taxa metabólica (quantidade de energia gasta) e v. isolamento de roupas (materiais usados para reter ou remover o calor do corpo) (RAISH, 2019).

Ao longo de pesquisas e trabalhos voltados para compreensão do conforto térmico, observou-se que há uma evidente relação entre bem-estar e produtividade. Indivíduos satisfeitos em relação ao ambiente térmico são mais produtivos, tanto os seres humanos (LUOA et al., 2013; SAKOI e MOCHIDA, 2013; DIN et al., 2014, KRALIKOVA, SOKOLOVA e WESSELY, 2014), como os animais (PASSINI et al., 2009; ALMEIDA et al., 2010; HERMUCHE et al., 2013). Assim, em um sistema produtivo (especialmente de animais), a construção, o monitoramento e manejo dos ambientes necessitam de uma atenção especial para que a bioclimatologia (estudos do clima às relações com os seres vivos) seja a melhor possível.

Conforto térmico de animais

Os animais homeotérmicos, cuja temperatura corporal interna permanece constante, possuem um estado em que seus mecanismos termorreguladores não apresentam esforços para atingir e manter o que chamamos de equilíbrio térmico. Que por sua vez, pode ser compreendido como a condição mental que expressa plena

satisfação em relação ao ambiente térmico, ou seja, o conforto térmico. Esse estado favorece o sistema fisiológico do animal, não permitindo que haja perdas de energia em mecanismos internos de preservação ou dissipação de calor (BAÊTA e SOUZA, 2010).

De acordo com Baêta e Souza (2010), a condição de equilíbrio térmico, ou de termoneutralidade, associa-se à faixa de temperatura efetiva de um ambiente. Nesse contexto, é possível compreender os limites das condições térmicas dos animais, nos quais observa-se temperaturas além e aquém dos padrões desejados. Assim, são criadas zonas de sobrevivência, de homeotermia e de conforto térmico, permitindo assim estabelecer limites bem definidos entre o que se considera conforto, desconforto e estresse térmico (NÄÄS, 2008). Na zona de conforto térmico é onde encontra-se a termoneutralidade dos animais, seus limites inferiores e superiores delimitam entre a condição de conforto térmico e as condições de desconforto térmico pelo frio e pelo calor, respectivamente. Os extremos dos estados térmicos podem ser compreendidos mediante o estresse térmico pelo frio e pelo calor, condições nas quais é indispensável uma ação para normalizar a bioclimatologia do ambiente. Ainda segundo Baêta e Souza (2010), a hipotermia e a hipertermia definem os intensos valores de temperatura que estão além do estresse térmico pelo frio e pelo calor. O aumento da frequência respiratória e cardíaca, a redução da ingestão de alimentos e o aumento do consumo de água, são algumas características fisiológicas que os animais apresentam em condições de estresse térmico.

Índices de conforto térmico

Conforme exposto na definição de conforto térmico, não se pode avaliar o conforto térmico de um indivíduo tão somente pela temperatura do ambiente, mas deve-se levar em conta a temperatura radiante, umidade relativa, movimento do ar, taxa metabólica e isolamento de roupas (RAISH, 2019). Todavia, compreende-se que a influência que os fatores meteorológicos exercem sobre essa avaliação é fundamental na predição do bem-estar. Deste modo, os índices de conforto térmico são considerados métodos que permitem analisar e monitorar, de forma quantitativa, as condições térmicas de ambientes/indivíduos.

Para uma análise mediante fatores meteorológicos, os índices de conforto térmico têm como parâmetros medidas de fácil obtenção, como a temperatura e umidade relativa do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo úmido,

velocidade do vento, pressão atmosférica e radiação solar. Ao associar o comportamento dos indivíduos com os parâmetros quantitativos, torna-se possível a determinação das zonas de conforto térmico sem a necessidade de se obter dados qualitativos dos indivíduos, o que é coerente quando se trata de avaliações de conforto térmico de animais. Dessa forma, a relação entre a real sensação dos indivíduos e os resultados gerados pelos índices de conforto térmico, demonstra que os índices são métodos eficazes nos processos de monitoramento e otimização de ambientes, considerando as limitações do padrão quantitativo (SILVA, MORAIS e GUILHERMINO, 2007).

Índices de conforto térmico de animais

A partir da correlação entre os parâmetros meteorológicos e o comportamento de animais e pessoas, muitos trabalhos foram desenvolvidos visando a criação de índices que correspondem, da melhor forma possível, à real condição térmica de um ambiente. Inicialmente os índices de conforto térmico foram criados e validados para seres humanos, como por exemplo, o Índice de Temperatura e Umidade – *ITU*, criado por Thom (1959). Ao longo dos anos o índice *ITU* sofreu algumas modificações, sendo adaptado para análises do bem-estar de bovinos e aves (BIANCA, 1962; NRC, 1971; DIKMEN e HANSEN, 2009). Este índice tem como variáveis de entrada medidas de temperatura do ar e umidade relativa.

Apesar do *ITU* demonstrar boa aplicação como índice de conforto térmico, o mesmo apresenta algumas limitações devido ao aspecto minimalista quanto às variáveis utilizadas. Então, Buffington et al. (1981) propuseram outro índice chamado de Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – *ITGU*, cuja equação foi desenvolvida para análises de bovinos, e faz uso das medidas de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro. A temperatura de globo negro, medida utilizando-se um globo negro oco (fosco) de cobre, permitiu que fossem realizadas estimativas das condições de conforto térmico mais próximas às sentidas pelos animais (BUFFINGTON et al., 1981).

Após as adaptações iniciais dos índices de conforto térmico de seres humanos para os animais, muitos trabalhos foram realizados visando avaliar não somente os aspectos comportamentais, mas também características construtivas dos ambientes e do próprio desempenho zootécnico que os animais apresentam frente aos resultados apresentados pelos índices de conforto térmico. Alguns trabalhos, como os

de Santos et al. (2005b), Lima et al. (2009), Fiorelli et al. (2010), Jácome et al. (2007) e Alves, Silva e Piedade (2007), avaliaram a correlação entre os tipos de materiais utilizados em coberturas de galpões de aves de produção e suas influências no conforto térmico (a partir dos índices de conforto térmico). Outras pesquisas buscam analisar as respostas fisiológicas e o desempenho zootécnico de aves sob variações de condições térmicas (MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; MENEGALI et al., 2010). Em suínos, trabalhos realizados buscaram compreender os perfis bioclimáticos das instalações, bem como seus efeitos no conforto térmico animal, além da relação entre os sistemas de alojamento e os parâmetros e comportamentos fisiológicos, assim como os índices zootécnicos (SAMPAIO et al., 2004; CORDEIRO et al., 2007; PANDORFI, SILVA e PIEDADE, 2008; FERNANDES et al., 2011; SARUBBI et al., 2012). Já em bovinos, os índices são aplicados como forma de avaliar os impactos das condições térmicas nos aspectos produtivos (NAVARIN et al., 2009; ALMEIDA et al., 2010; MELLADO et al., 2010; SILVA et al., 2010; BOHLOULI et al., 2013; BRÜGEMANN et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2013; SCHÜLLER, BURFEIND e HEUWIESER, 2014). Demais pesquisas, como as de Furtado et al. (2006), Damasceno et al. (2010), Gomes et al. (2011) e Carvalho et al. (2014), analisaram os índices de conforto térmico perante modelos de predição e as possíveis influências do ambiente na produção.

Além das aves, suínos e bovinos (cuja aplicação dos índices de conforto térmico é mais comum), em outras espécies de animais os índices também são aplicados, tendo em vista a concepção de avaliações sobre a influência das condições térmicas nas atividades dos animais, além dos efeitos que as variações meteorológicas e os diferentes tipos de materiais utilizados nas instalações causam no desempenho zootécnico e nas respostas fisiológicas dos animais (CEZAR et al., 2004; SANTOS et al., 2005a; SILVA et al., 2006; LIN et al., 2012; MALAMA et al., 2013).

Interpolação de dados

A interpolação é uma ferramenta matemática que é utilizada quando se faz necessário estimar valores a partir de um conjunto de dados. Em suma, quando se deseja densificar a malha de pontos ou estimar valores em pontos internos de uma área, a interpolação de dados é aplicada (MATOS, 2001). Os métodos de interpolação

compartilham de um princípio básico, de que “os pontos mais próximos tendem a ter características mais semelhantes do que pontos mais distantes” (BURROUGH, 1986).

Existe uma caracterização dos métodos de interpolação, podendo ser determinísticos ou probabilísticos. Os métodos determinísticos são baseados diretamente nos valores medidos na vizinhança e/ou fórmulas matemáticas aplicadas para esses mesmos valores. Já os métodos probabilísticos correspondem aos métodos geoestatísticos, que incluem autocorrelação, “a qual expressa a intensidade de similaridade entre as amostras medidas em relação à distância e direção” (BURROUGH, 1986). O Inverso da Distância Ponderada é um dos modelos determinísticos mais simples para interpolar valores, sendo comumente aplicado o padrão de interpolação por média ponderada, no qual o valor estimado de cada ponto da malha é obtido mediante um peso adequado para os valores de altitude das amostras vizinhas. A ponderação mais usada é o inverso da distância euclidiana, elevada a um expoente (ISAAKS E SRIVASTAVA, 1989; MOLIN, AMARAL E COLAÇO, 2015).

Há outros métodos de interpolação, como por exemplo, a krigagem. A maneira como os pesos são atribuídos às amostras é o diferencial básico entre a krigagem e outros métodos de interpolação (MATOS, 2003). A metodologia da krigagem é semelhante ao da interpolação por média ponderada, salvo que, na krigagem, uma análise espacial (baseada no semivariograma experimental) é necessária para determinar os pesos (MATOS, 2003). Outra característica importante da krigagem, é que ela fornece, em média, estimativas não tendenciosas. Segundo Matos (2003), observa-se como desvantagem do método o seu custo computacional, que é proporcional a n^3 (onde n é o número de pontos da amostra), o que o torna dispendioso para grandes volumes de dados.

Computação móvel

A capacidade de disponibilizar ferramentas computacionais aos usuários, onde e quando for necessário, define o conceito de computação móvel. A independência da localização para que serviços sejam utilizados permite caracterizar a mobilidade da ação, sendo a computação o objeto fim do processo (FERNANDO, LOKE e RAHAYU, 2013). Atualmente, é comum observar uma mudança na forma com que as pessoas interagem com os serviços computacionais, no qual há um volume

ascendente de usuários que preferem realizar trabalhos de carácter digital em seus *smartphones*. A computação móvel, por meio dos dispositivos móveis, transformou não apenas hábitos de entretenimento e de interação entre as pessoas, mas também os meios de adquirir produtos, pesquisar, opinar e avaliar na rede mundial de computadores. De acordo com uma pesquisa realizada por Khan, Habib e Jamal (2020), percebe-se, atualmente, uma diferença comportamental, em termos de mobilidade, entre as pessoas que utilizam frequentemente aplicativos para *smartphones*, e as que não o fazem. Observou-se, por exemplo, que os indivíduos que utilizam os automóveis como meio de transporte, tendem a aumentar a visita a novos lugares, devido ao uso de aplicativos. Além disso, para essas pessoas, há um aumento no planejamento de viagens em grupo, por exemplo. Outros trabalhos, como o de Kim et al. (2019), ao avaliar o comportamento de alunos, frente ao uso de *smartphones* em sala de aula, demonstrou que os aplicativos de mensagens instantâneas, mídias sociais e navegadores, são os mais utilizados pelos estudantes em sala de aula. A pesquisa demonstrou claramente que o uso dos dispositivos móveis é generalizado nas salas de aula investigadas, e que, apesar dos benefícios que os *smartphones* oferecem, seu uso excessivo pode ser prejudicial ao desempenho acadêmico. Segundo Horwood e Anglim (2019), uma pesquisa de 2017 em adultos, mostrou que 54% das pessoas estão ocupadas em seus *smartphones*, quando deveriam estar realizando outras atividades; 65% relataram estarem ocupadas em seus dispositivos móveis mais do que o pretendido.

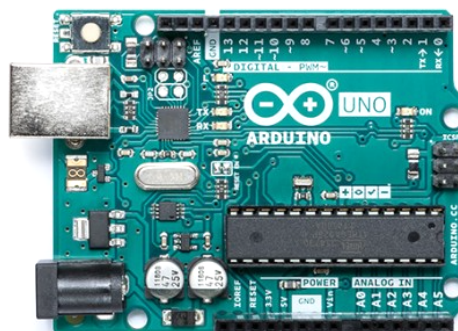
De acordo com a *Pew Research Center* (PAGBRASIL, 2020), considerando dados de 2018, o Brasil é o quinto país que mais faz uso de *smartphones* no mundo. 84 milhões de adultos possuem um *smartphone*, o que representa 54% dos adultos no país. Considerando o uso de aplicativos de compra, o Brasil é o quarto país de maior uso no ranque mundial. Para os aplicativos de alimentação, em dois anos houve um crescimento de 45%, o que resultou no dobro de *downloads* de aplicativos como, iFood e Uber Eats. Nos últimos dois anos, houve um aumento de 130% no tempo que os brasileiros passam assistindo vídeos em seus dispositivos móveis; 81% dos que possuem celulares, acessam suas contas bancárias por aplicativos. Os aplicativos de mídias sociais também são muito populares no Brasil; em termos de tempo de uso, WhatsApp, Facebook e Instagram são os três aplicativos mais utilizados pelos brasileiros.

Microcontroladores

Os microcontroladores são circuitos integrados programáveis, podendo ser definidos como computadores. A arquitetura elementar de um microcontrolador consiste em uma unidade central de processamento (CPU, *Central Processing Unit*), memória volátil e não volátil e portas de entrada e saída para comunicação com dispositivos externos (CALCUTT, COWAN e PARCHIZADEH, 2003; RENATO, 2006). O uso dos microcontroladores é bastante diversificado, podendo ser aplicado em máquinas hidráulicas comandadas, máquinas dispensadoras de produtos, sistemas autônomos de controle, motores e temporizadores, sistemas de monitoramento de temperatura, máquinas pneumáticas entre outros. Segundo Calcutt, Cowan e Parchizadeh (2003), há diversas características que definem um microcontrolador, como por exemplo: i. Embarcado em outros dispositivos (normalmente um produto de consumo, sendo os microcontroladores muitas vezes chamados de sistemas embarcados), ii. Dedicados a uma tarefa exclusiva, no qual há um programa específico programado (*script* armazenado na memória ROM, não volátil), iii. Dispositivo de baixo consumo de energia (um microcontrolador a bateria pode consumir apenas 50 mW).

Um microcontrolador é capaz de controlar outros dispositivos facilmente, tornando possível sua interação através do envio de sinais eletrônicos para diferentes componentes do dispositivo. Os microcontroladores são, geralmente, pequenos e de baixo custo. Pode-se citar exemplos de aplicação dos microcontroladores em diversas áreas, como saúde, simulações e lógicas matemáticas, monitoramento climático, desenvolvimento computacional, entre outros (TEWARI et al., 2014; PANDIARAJ et al., 2014; DEVARAJU et al., 2015; DOMINGOS et al., 2015; LI, WANG e XIE, 2015; WYRWOŁ e HRYNKIEWICZ, 2015; FATEHNIA et al., 2016). Na Figura 1 é apresentado um exemplo de microcontrolador (Arduino UNO).

Figura 1 – Microcontrolador Arduino UNO



Fonte: ARDUINO (2020).

Arduino UNO é um microcontrolador baseado em ATmega328P, que opera sob tensão de 5V. Possui 14 pinos digitais de entrada e saída, e 6 analógicos. Este modelo foi o primeiro de uma série de placas Arduino com porta USB, e é um modelo de referência da plataforma Arduino (ARDUINO, 2020). Suas dimensões são de 68,6 x 53,4 mm.

CAPÍTULO 1 – AURORA: APLICATIVO MÓVEL PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DE ANIMAIS, UTILIZANDO O INTERPOLADOR *IDW*

RESUMO

Em ambientes de produção animal o processo de análise das condições de conforto térmico pode ser realizado por intermédio do cálculo de índices de conforto térmico e da elaboração de mapas da variabilidade espacial de parâmetros meteorológicos e dos próprios índices de conforto térmico. Os métodos atuais para obtenção de análises pertinentes ao bem-estar de animais, mediante mapas de interpolação de dados, podem se tornar dispendiosos em situações de análises pontuais e minimalistas, ou que requeiram diagnósticos *in loco*. Assim, esse estudo foi realizado com o objetivo de desenvolver um aplicativo para *smartphones Android* para criação de mapas da variabilidade espacial de índices de conforto térmico e de temperatura do ar, por meio de método interpolador. O aplicativo foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação orientada a objetos Java, por meio do ambiente de desenvolvimento *Android Studio*. O método interpolador empregado foi o Inverso da Distância Ponderada (*Inverse Distance Weighted, IDW*), adotando $p = 2$. O algoritmo desenvolvido foi validado mediante processo de comparação entre valores de temperatura do ar medidos e valores interpolados pelo aplicativo, em galpão de aves de corte. Os resultados mostraram que o algoritmo desenvolvido corresponde à correta implementação da equação do método interpolador *IDW*. A partir do processo de comparação, a avaliação dos erros do algoritmo apresentou maior valor de *MAE* e *MBE* de 0,3 °C e *RMSE* de 0,37 °C. A capacidade preditiva do algoritmo quanto à sua precisão, apresentou baixa dispersão dos dados. Em relação à acurácia das medidas, o maior valor de coeficiente angular obtido foi 1,04 °C. Deste modo, o aplicativo desenvolvido permite criar mapas de índices de conforto térmico e de temperatura do ar úteis na obtenção de análises das condições térmicas de ambientes, especialmente em galpões de produção animal.

Palavras-chave: *Android*. Conforto térmico. Dispositivos móveis. *IDW*. Interpolação de dados.

ABSTRACT

In animal production environments the process of analysis of thermal comfort conditions may be accomplished through the calculation of thermal comfort indexes and the mapping of spatial variability of meteorological parameters and the thermal comfort indexes per se. Current methods for obtaining relevant analysis of animal welfare using data interpolation maps can become costly in one-time and minimalist analysis or require on-site diagnosis. Thus, the aim of this study was to develop an application for *Android* smartphones in order to create maps of spatial variability of thermal comfort indexes and air temperature, via the interpolator method. The application was developed through the Java object-oriented programming language, using the integrated *Android Studio* development environment. The interpolator method applied was the Inverse Distance Weighted (*IDW*), assuming $p = 2$. The algorithm developed was validated by comparing both measured and interpolated air temperature figures by the application in a broiler shed. The results demonstrated that the algorithm is in accordance with the equation of the *IDW* interpolator method. As of the process of comparison, the assessment of the bugs in the algorithm showed higher values in *MAE* and *MBE* at 0,3 °C and in *RMSE* at 0,37 °C. The predictive capacity of the algorithm, in terms of its precision, presented low data dispersion. Regarding the accuracy of the measurements, the highest gradient obtained was 1,04 °C. Therefore, the application allows the creation of air temperature maps that are relevant for obtaining analysis of environmental thermal conditions, specially in animal production sheds.

Keywords: *Android*. Data interpolation. *IDW*. Mobile devices. Thermal comfort.

1.1 INTRODUÇÃO

O uso de tecnologias no setor zootécnico e agrícola tem sido de grande importância para o desenvolvimento de novas ferramentas e pesquisas que proporcionam uma melhora da produtividade do trabalho do homem e das condições de produção animal (NAWAB et al., 2018; FAR e REZAEI-MOGHADDAM, 2018). O estudo das condições meteorológicas que animais ou seres humanos são submetidos, permite compreender e investigar os fatores determinantes das condições de estresse térmico. Segundo Ashrae (2010), o conforto térmico é uma condição mental que demonstra satisfação com o ambiente térmico, que por sua vez, apropria-se de um estado variável decorrente a fatores fisiológicos e psicológicos. Desse modo, o entendimento da interação entre indivíduo e ambiente é de extrema importância para uma maior eficiência na produção. Em ambientes de produção animal, o processo de análise das condições de conforto térmico e de comportamento animal pode ser realizado por meio do cálculo de índices de conforto térmico (THOM, 1959; BUFFINGTON et al., 1981; BUFFINGTON et al., 1983; TAO E XIN, 2003; HIGASHIYAMA et al., 2013; BOHLOULI et al., 2013; SCHÜLLER, BURFEIND e HEUWIESER, 2014) e da elaboração de mapas da variabilidade espacial de parâmetros meteorológicos, como temperatura e umidade relativa do ar, temperatura de globo negro, velocidade do vento, e dos próprios índices de conforto térmico, mediante técnicas de interpolação de dados (FARIA et al., 2008; PONCIANO et al., 2013; NAZARENO et al., 2015; COELHO et al., 2015). Uma análise efetiva das condições de conforto de um ambiente, mediante cálculo de índices ou da criação de mapas, requer um conhecimento prévio do pesquisador ou produtor para manipulação das ferramentas necessárias visando a integridade dos resultados. Os métodos atuais de avaliação de conforto térmico de ambientes consistem, em grande parte, na configuração prévia de sensores e *data loggers* (determinação das variáveis, período, intervalos de medição e formato de armazenamento de dados), e posterior organização desses dados por intermédio de *softwares como Surfer, MatLab, GS+ e QGIS*. Esses processos podem se tornar dispendiosos em situações de análises pontuais e minimalistas, ou que requeiram diagnósticos *in loco*, por exemplo. A falta de conhecimento na manipulação das tecnologias ou a necessidade de qualificação para uma avaliação efetiva dos ambientes, pode acarretar em diagnósticos errôneos das condições térmicas.

As ferramentas computacionais auxiliam produtores e pesquisadores na determinação do comportamento termodinâmico de seus ambientes (MORGADO, TALAIA e TEIXEIRA, 2017; SARAZ et al., 2017; QUEIROZ et al., 2017), permitindo classificar as condições térmicas mediante os limites estabelecidos pelos índices de conforto térmico (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2018). Dessa forma, percebe-se que o desenvolvimento de novas tecnologias é importante para o auxílio às técnicas de análise e monitoramento do conforto térmico em galpões de produção animal. Para produtores e pesquisadores que atuam na produção animal, é de grande importância possuir tecnologias de fácil usabilidade e que lhes permitam realizar ações preventivas e corretivas em galpões, tendo em vista ganhos na eficiência produtiva e na melhora da saúde dos animais.

Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver um aplicativo para *smartphones Android* para criação de mapas da variabilidade espacial de temperatura do ar e de índices de conforto térmico de animais, utilizando o interpolador *IDW*.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Método interpolador

Para a criação dos mapas de distribuição dos índices de conforto térmico e de parâmetros meteorológicos foi utilizado o interpolador inverso da distância ponderada (*Inverse Distance Weighted, IDW*), adotando $p = 2$, também conhecido por inverso do quadrado da distância. A escolha do *IDW* como forma de estimativa dos pontos desconhecidos foi realizada considerando sua fácil implementação e os bons resultados que o interpolador apresenta (APAYDIN, SONMEZ e YILDIRIM, 2004). Desta forma, não são necessários desenvolvimentos de interpoladores mais complexos, como por exemplo, a krigagem, na qual deve-se realizar uma análise espacial baseada no semivariograma experimental (SOARES, 2000). Considerando que a diferença básica entre a krigagem e demais métodos de interpolação é a forma como os pesos são aplicados às amostras, considera-se o método *IDW* suficiente para compreender o cenário de estudo e aplicação da ferramenta a ser desenvolvida. O interpolador *IDW* assume que objetos próximos um do outro são mais semelhantes do que aqueles que estão mais distantes, sendo “ p ” o parâmetro que determina a influência dos valores que estão mais próximos ao ponto interpolado (MIRANDA,

2010). Para aplicação desse tipo de interpolador deve-se assumir que os pontos interpolados foram estimados considerando que no ambiente apenas os pontos conhecidos influenciam nos valores estimados. Quanto mais distante se encontra um valor a ser estimado dos valores conhecidos, menor será a influência dos valores conhecidos no ponto a ser estimado. Ao considerar o quadrado da distância ($p = 2$), os pontos conhecidos possuem maior influência sobre os dados estimados próximos a este. Não há qualquer regra para o valor da potência utilizada nas distâncias, porém o inverso do quadrado da distância apresenta-se como o mais usual para o interpolador (MIRANDA, 2010). Outros valores de potência foram testados (ex.: $p = 1$ e $p = 3$), porém os mapas com $p = 2$ demonstraram ser mais apropriados, além de ser o parâmetro p mais utilizados na literatura como um valor padrão. Trabalhos de análise do impacto do valor da potência p do interpolador *IDW* na estimativa de valores desconhecidos, como os de Pham et al. (2016) e Musashi, Pramoedyo e Fitriani (2018), demonstraram que, especificamente para medidas de temperatura do ar, segundo Musashi, Pramoedyo e Fitriani (2018), uma potência de $p = 2$ apresenta maior acurácia na predição de temperatura do ar, de acordo com o método de validação cruzada utilizando *RMSE* (*Root Mean Square Error*) (ARMSTRONG, 1998). Ao interpolar valores de matéria orgânica, Pham et al. (2016) também observou que, dentre seis valores de potência, $p = 2$ é o valor mais acurado. *Softwares* geoestatísticos, como por exemplo ArcGIS, define por padrão o valor quadrático da potência de p .

A Eq.1 apresenta o cálculo de um ponto estimado z , segundo o interpolador *IDW* (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015).

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (1)$$

Em que z é o valor estimado para o ponto z , n é o número de amostras, z_i os valores conhecidos, d_i a distância entre o valor conhecido e o estimado (z_i e z) e $p = 2$.

Tendo em vista o desenvolvimento do algoritmo para criação dos mapas de interpolação, seis variáveis foram definidas como entrada para realização dos cálculos do método do inverso da distância por meio de Pontos Fixos Equidistantes – *PFE*,

sendo: 1. Número de sensores; 2. Número de linhas (de pontos conhecidos, Num_l); 3. Número de colunas (de pontos conhecidos, Num_c); 4. Largura do ambiente (L_a , cm); 5. Comprimento do ambiente (C_o , cm) e 6. Equidistância dos sensores no ambiente (E_q , cm). O modo de *PFE* torna o processo de criação dos mapas mais prático ao usuário, visto que por meio desse método faz-se necessário a inserção do número de sensores, número de linhas e colunas onde se encontram os pontos conhecidos, o tamanho do ambiente a ser analisado e a equidistância dos sensores (cm). A partir dessas variáveis o aplicativo define o arranjo físico dos pontos conhecidos e as distâncias entre os valores conhecidos e estimados. O modo de *PFE* considera que na intersecção das linhas e colunas informadas pelo usuário, é onde se encontram os pontos conhecidos.

O número de linhas e colunas total (em toda a malha imaginária do mapa) é obtido por meio das equações: Eq. 2 e 3:

$$N_{linhas} = \left[\left(\frac{E_q}{k} \right) \times \left(\frac{Num_s}{Num_c} + 1 \right) \right] + Num_l \quad (2)$$

Em que N_{linhas} é o número de linhas, E_q a equidistância dos sensores (cm), $k = 1$ (constante da distância de interpolação, cm), Num_s o número de sensores e Num_c o número de colunas.

$$N_{colunas} = \left[\left(\frac{E_q}{k} \right) \times \left(\frac{Num_s}{Num_l} + 1 \right) \right] + Num_c \quad (3)$$

Em que $N_{colunas}$ é o número de colunas, E_q a equidistância dos sensores (cm), $k = 1$ (constante da distância de interpolação, cm), Num_s o número de sensores e Num_l o número de linhas.

Obteve-se a distância entre pontos conhecidos e interpolados mediante o espaço euclidiano entre eles, métrica definida pela distância entre dois pontos como o comprimento do segmento de reta que os conecta. Assumindo que os mapas de índices de conforto térmico, nesse caso, são caracterizados em duas dimensões apenas (x e y), seguindo os modelos apresentados por Faria et al. (2008), Barros, Rossi e Souza (2017) e Queiroz et al. (2017), a distância bidimensional foi computada

de acordo com a Eq. 4 para os pontos $P (p_x, p_y)$ e $Q (q_x, q_y)$, provada também pela aplicação do teorema de Pitágoras.

$$d = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (4)$$

Em que d é a distância bidimensional.

A aplicação da Eq. 4 em termos de valores conhecidos e estimados, foi realizada mediante a separação das distâncias entre valores conhecidos e estimados inicialmente para o eixo x e posteriormente para o eixo y . A Eq. 5 apresenta o cálculo da distância entre um valor conhecido e estimado para o eixo x .

$$D_j = j_p - j \quad (5)$$

Sendo D_j a distância entre o valor conhecido e o estimado para o eixo x (cm), j_p a posição do valor conhecido no eixo x da matriz (cm) e j a posição do valor desconhecido no eixo x da matriz (cm).

Já a Eq. 6 apresenta o cálculo da distância entre um valor conhecido e estimado para o eixo y .

$$D_i = i_p - i \quad (6)$$

Em que D_i é a distância entre os valores conhecidos e o estimado para o eixo y , i_p a posição do valor conhecido no eixo y da matriz (cm) e i a posição do valor desconhecido no eixo y da matriz (cm).

Por fim, a distância entre o valor conhecido e o estimado é dada pela Eq. 7:

$$h = \sqrt{(D_j)^2 + (D_i)^2} \quad (7)$$

Sendo h a distância entre valor conhecido e o estimado (cm), D_j a distância entre valor conhecido e o estimado para o eixo x (cm) e D_i a distância entre valor conhecido e o estimado para o eixo y (cm).

Além do *PFE* o usuário pode gerar um mapa de pontos interpolados mediante o modo de Pontos Fixos Aleatórios – *PFA*. Desta forma, existe a necessidade do

usuário definir as coordenadas x e y em que os sensores foram dispostos dentro do galpão. No *PFA* não há a necessidade de descrever as equidistâncias entre os sensores, visto que os mesmos não mais estarão distribuídos uniformemente na instalação.

1.2.2 Índices de conforto térmico para animais

Quatro equações foram implementadas a fim de obter os mapeamentos da distribuição dos índices de conforto térmico de animais. Utilizou-se o Índice de Temperatura e Umidade – *ITU* para avaliação do conforto térmico no interior de instalações para frangos de corte, bovinos de leite e instalações de suínos. O *ITU* foi calculado de acordo com cada espécie animal, sendo suas variáveis ajustadas conforme o animal a ser analisado. Índice de Temperatura e Umidade – *ITU* para frangos de corte (SILVA et al., 2004) – Eq. 8, bovinos de leite (VITALI et al., 2009) – Eq. 9 e suínos (LIMA et al. 2007) – Eq. 10.

$$ITU_{Frango\ de\ corte} = 0,8T_{db} + \frac{RH \times (T_a - 14,3)}{100} + 46,3 \quad (8)$$

Em que T_{db} é a temperatura de bulbo seco (°C) e T_{wb} a temperatura de bulbo úmido (°C).

$$ITU_{Bovino\ de\ leite} = (1,8T_a + 32) - 0,55 \left(1 - \frac{RH}{100}\right) (1,8T_a - 26) \quad (9)$$

Em que T_a é a temperatura do ar (°C) e RH a umidade relativa (%).

$$ITU_{Suíno} = 0,63T_{wb} + 1,17T_d + 32 \quad (10)$$

Em que T_{wb} é a temperatura de bulbo úmido (°C) e T_d a temperatura de bulbo seco (°C).

Como parte dos índices de conforto térmico de animais o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – *ITGU* também foi implementado para as avaliações de conforto térmico de aves de corte, bovinos de leite e suínos, segundo Buffington et al. (1981) – Eq. 11.

$$ITGU = T_g + 0,36T_{po} + 41,5 \quad (11)$$

Sendo T_g a Temperatura de globo negro (°C) e T_{po} a Temperatura de ponto de orvalho (°C).

A temperatura de ponto de orvalho foi obtida em função da temperatura do ar (T_a) e umidade relativa (U_r) (ALDUCHOV e ESKRIDGE, 1996; LAWRENCE, 2005) – Eq. 12.

$$T_{po} = \frac{B_1 \left[\ln \left(\frac{U_r}{100} \right) + \frac{A_1 \times T_a}{B_1 + T_a} \right]}{A_1 - \ln \left(\frac{U_r}{100} \right) - \frac{A_1 \times T_a}{B_1 + T_a}} \quad (12)$$

Em que U_r é a umidade relativa do ar (%), T_a a temperatura do ar (°C), A_1 igual a 17,625 e B_1 igual a 243,04.

Os limites de conforto térmico para os índices *ITGU* e *ITU*, para frangos de corte, bovinos de leite e suínos foram definidos segundo Oliveira Júnior et al. (2018), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de conforto térmico para aves de corte, bovinos de leite e suínos, segundo os índices *ITGU* e *ITU*

Limites de conforto térmico para aves de corte			
	Idade (semanas)	<i>ITGU</i>	<i>ITU</i>
Conforto térmico	1	$75,8 \pm 0,9 \leq ITGU \leq 79,7 \pm 1,6$	$72,4 \leq ITU < 80$
	2	$71,9 \pm 1,0 \leq ITGU \leq 74,4 \pm 1,8$	$68,4 \leq ITU < 76$
	3	$68,7 \pm 1,0 \leq ITGU \leq 71,7 \pm 0,4$	$64,5 \leq ITU < 72$
	4		$60,5 \leq ITU < 68$
	5		$56,6 \leq ITU < 64$
	6 a 7		$56,6 \leq ITU < 60$
Limites de conforto térmico para bovinos de leite			
	<i>ITGU</i>		<i>ITU</i>
Conforto térmico	$ITU < 74$	Conforto térmico	$ITU < 72$
Estresse pelo calor (leve)	$74 \leq ITGU < 79$	Estresse pelo calor (leve)	$72 \leq ITU < 79$
Estresse pelo calor (perigoso)	$79 \leq ITGU < 84$	Estresse pelo calor (moderado)	$79 \leq ITU < 89$
		Estresse pelo calor (severo)	$89 \leq ITU < 98$
Limites de conforto térmico para suínos			
	<i>ITGU</i>		<i>ITU</i>
Conforto térmico	$ITU < 72$	Conforto térmico	$ITU \leq 74$
Desconforto térmico	$72 \leq ITGU < 81,10$	Alerta	$75 \leq ITU < 79$
Estresse pelo calor	$ITU \geq 81,10$	Perigo	$79 \leq ITU < 84$
		Emergência	$ITU \geq 84$

Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2018, p. 176).

1.2.3 Aplicativo *Aurora*

O aplicativo *Aurora* foi desenvolvido para o sistema operacional *Android*, a partir da versão 8.0, *Android 8.0 – Oreo*, API 26. O desenvolvimento do aplicativo foi realizado por meio do ambiente de desenvolvimento integrado *Android Studio 2.3.3* (GOOGLE, 2019a), utilizando-se a linguagem de programação orientada a objetos Java. Para a criação dos mapas de interpolação foi utilizada a biblioteca de gráficos *MPAndroidChart* (JAHODA, 2019), com implementação do modo chamado *ScatterChart*, mediante pontos do tipo retângulos. A área do gráfico é ajustada conforme o tamanho e a densidade da tela do dispositivo móvel, sendo a configuração da largura do mapa (*width*) definida pelo método *getSize* da classe *Display*. Na programação orientada a objetos, uma classe é uma estrutura, na qual objetos que compartilham os mesmos atributos (características) e métodos (ações) são criados (DEITEL e DEITEL, 2010). Nesse caso, tem-se um mapa diretamente proporcional à largura da tela do *smartphone*. Já para a definição da altura do mapa (*height*), o atributo público *y* da classe *Point* foi usado como variável na Eq. 13, visto que na altura do mapa houve uma pequena redução em relação ao tamanho da tela, devido ao espaço destinado para sua legenda.

$$Mh = y - \varphi \quad (13)$$

Em que *Mh* é a altura do mapa (px), *y* o tamanho da tela em unidade relativa (px), e φ a variável de ajuste de tamanho (px).

Para φ tem-se a conversão de uma constante em unidade *dp* (*Density-independent pixels*) para px, que, segundo Google (2019b), é dado pela Eq. 14.

$$\varphi = dp \frac{dpi}{160} \quad (14)$$

Sendo $dp = 170$ e *dpi* a densidade da tela do dispositivo móvel (dpi – pontos por polegada). Para o quociente de $\frac{dpi}{160}$ utilizou-se o atributo *display* da classe *Display*, por meio do método *getDisplayMetrics*.

A proporcionalidade entre largura e altura do mapa foi definida de acordo com a relação entre os tamanhos definidos pelo usuário, mediante as variáveis de entrada Largura (L_a , cm) e Comprimentos (C_o , cm) do ambiente. Para um ambiente em que a

largura é superior ao comprimento, a proporcionalidade é dada pelo comprimento (C_{op} , px) em função da largura (L_{ap} , px) – Eq. 15; caso o comprimento seja superior à largura, tem-se a Eq. 16. Para ambientes que apresentam o mesmo tamanho de largura e comprimento, o mapa realiza o ajuste em função da largura da tela.

$$C_{op} = C_o \frac{L_{px}}{L_a} \quad (15)$$

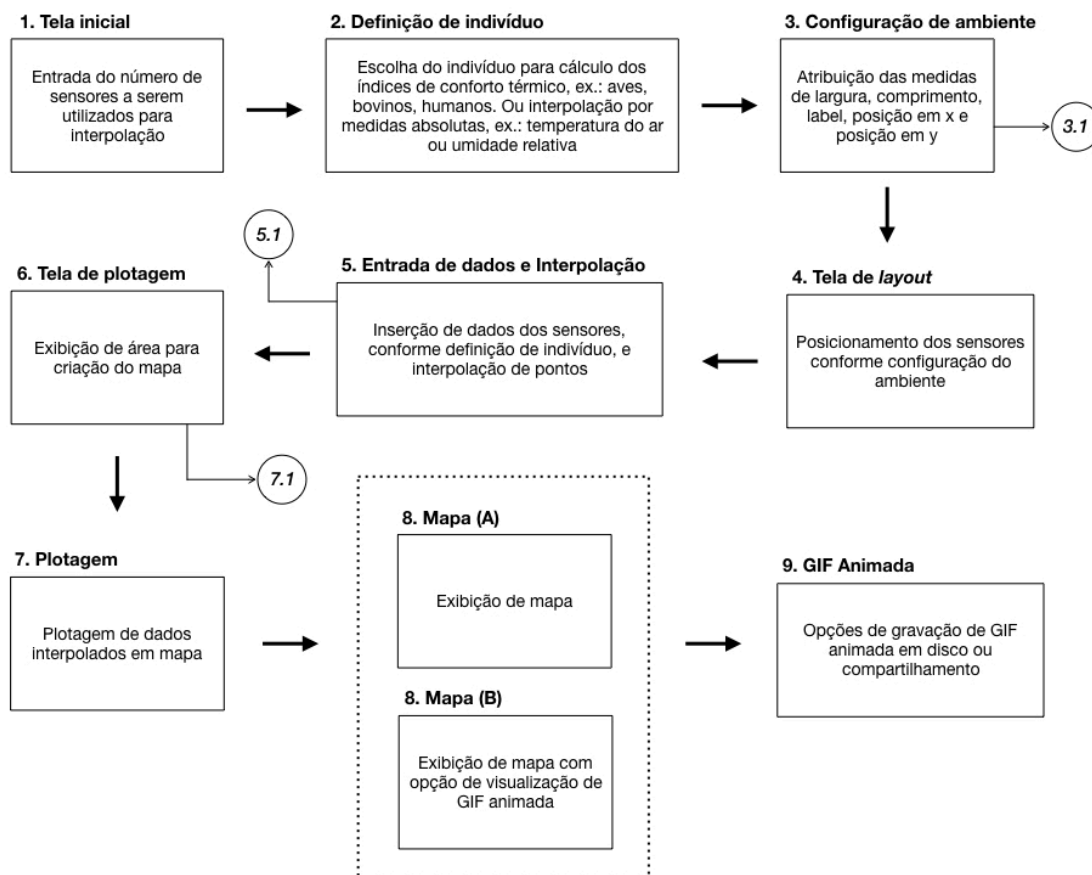
Em que C_o é o comprimento do ambiente indicado pelo usuário (cm), L_{px} a largura do mapa em função do atributo público x da classe *Point* – em função do tamanho e densidade da tela do *smartphone* (cm) e L_a a largura do ambiente indicada pelo usuário (cm).

$$L_{ap} = L_a \frac{C_{px}}{C_o} \quad (16)$$

Em que L_a é a largura do ambiente indicado pelo usuário (cm), C_{px} o comprimento do mapa em função do atributo público x da classe *Point* – em função do tamanho e densidade da tela do *smartphone* (cm) e C_o o comprimento do ambiente indicado pelo usuário (cm).

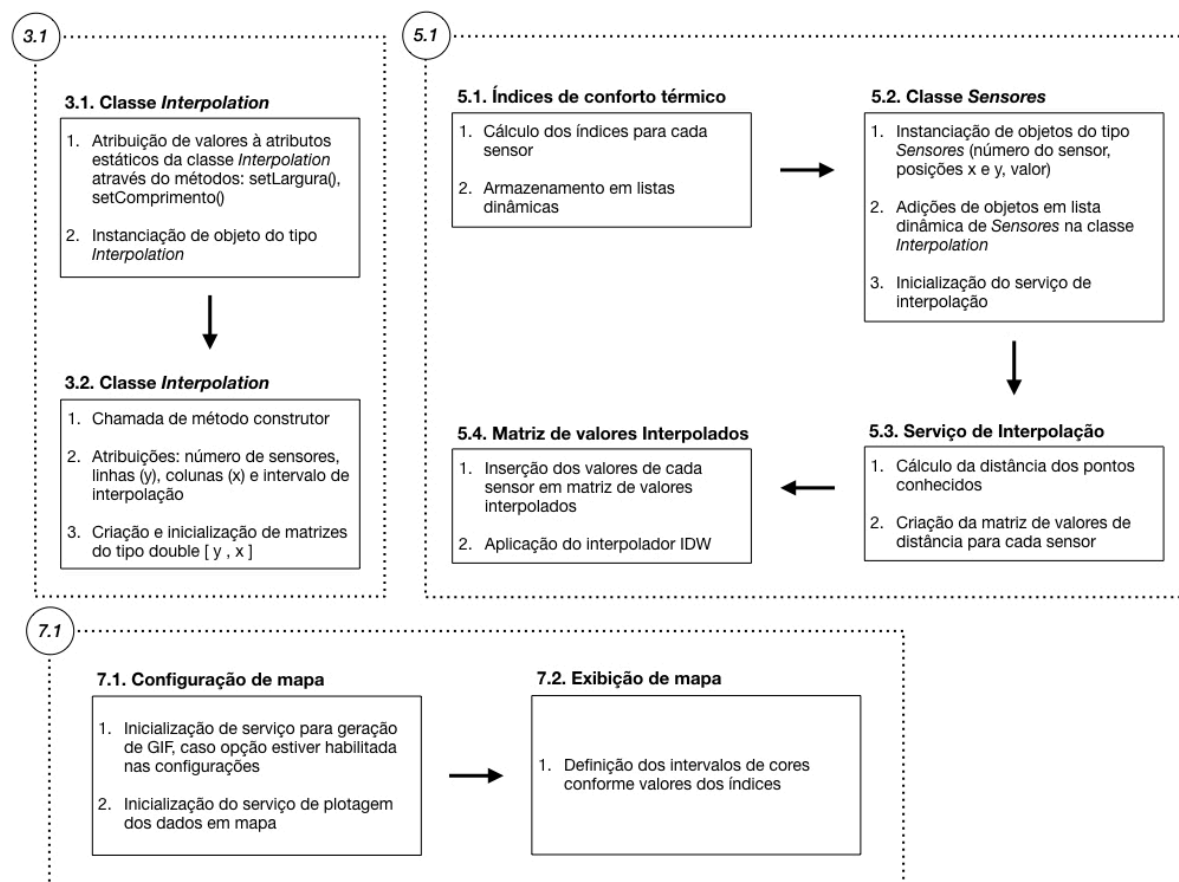
O processo de interpolação e plotagem dos dados no mapa é feito mediante prévia configuração da disposição dos pontos conhecidos, segundo os modos de PFE e PFA. Após essa configuração, o aplicativo é capaz de identificar o tamanho de área e, conseqüentemente, a malha de pontos a ser criada, além de obter as distâncias entre os pontos conhecidos e estimados. Desta forma, a partir dos parâmetros meteorológicos informados pelo usuário, posteriormente à interpolação, o mapa da condição térmica do ambiente é criado por meio da plotagem dos dados interpolados, tanto em uma perspectiva de índices de conforto térmico como de medidas de temperatura do ar. Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os fluxogramas de entrada, processamento e saída de dados no aplicativo.

Figura 1 – Fluxograma de entrada e saída de dados do aplicativo *Aurora*



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2019, p. 99).

Figura 2 – Detalhamento das configurações durante a execução do aplicativo *Aurora*, relativas às instâncias de classes, inicialização de variáveis, objetos e serviços



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR et al. (2019, p. 100).

Os mapas de temperatura do ar e de índices de conforto térmico foram criados em um gradiente de 64 cores, sendo os valores mais inferiores inicializados em azul e os mais superiores em vermelho.

1.2.4 Validação

Duas formas de validação foram utilizadas para análise da integridade do algoritmo de interpolação, primeiramente foi realizada uma validação mediante a comparação dos valores interpolados em relação a um cálculo manual do interpolador *IDW*. Uma área conhecida foi definida contendo valores aleatórios de temperatura do ar (°C), distribuídos em seis pontos fixos separados de forma equidistante. A segunda forma de validação foi realizada por meio da análise dos erros apresentados entre os valores interpoladas pelo aplicativo *Aurora* e os obtidos em um galpão de aves de corte (sem animais), mediante sensores digitais de temperatura e umidade relativa do ar. Ao todo, sete *data loggers* com sensores de temperatura e umidade relativa do ar,

modelo HOBO U12-013 (ONSET, 2019), foram utilizados em um galpão de aves de corte localizado na fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil (22°49'18.3"S 48°24'54.2"W) (Figura 3). Para as medidas de temperatura do ar os *data loggers* HOBO U12-013 apresentam uma faixa de leitura de -20 °C a 70 °C, precisão de $\pm 0,35$ °C a 0 °C a 50 °C, e desvio de 0,1 °C /ano. Em medidas de umidade relativa, faixa de medição de 5% a 95%, precisão de $\pm 2,5\%$ (10% a 90%), e desvio típico < 1% ao ano. Os mesmos foram posicionados a uma altura de 1,10 m, em relação ao piso.

Na segunda forma de validação, o *layout* de distribuição dos sensores (pontos fixos e móveis) foi modificado a cada 24 horas, durante um período de 10 dias em maio de 2018 (dados coletados em intervalos de 30 minutos). O galpão possui orientação Leste-Oeste, com processo construtivo em pilares de concreto; vedação em alvenaria com tijolo maciço (uso de reboco); fechamento do aviário em tela metálica (com peitoril de 0,40 m), tipo alambrado e cortina plástica; forro em policloreto de polivinila (PVC) com pé-direito de 2,80 m. Para a cobertura, foi utilizado estrutura e telha metálica com 30% de inclinação e, para o piso, concreto. Quanto à ventilação, o galpão apresenta um sistema de ventilação artificial. Os posicionamentos dos sensores durante o período de coleta de dados são apresentados na Figura 4.

Figura 3 – Galpão de aves de corte localizado na fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil



Figura 4 – Posicionamento dos sensores de temperatura e umidade relativa em galpão de aves de corte localizado na fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil. A distância entre os sensores é dada em metros (m)

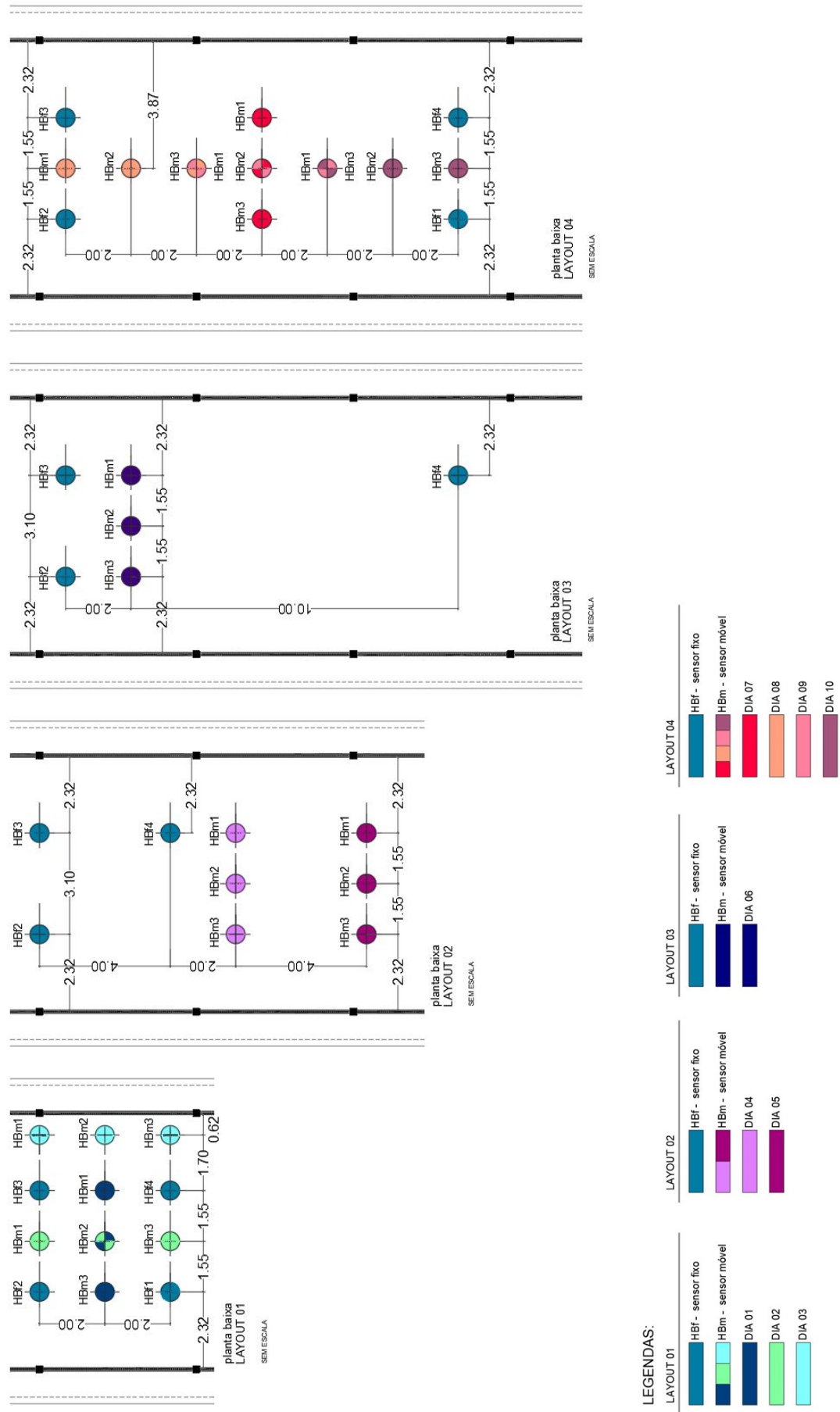


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2018

Conforme apresentado na Figura 4, houve uma movimentação dos sensores HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3} dentro do galpão durante o período de medição, visando modificar as distâncias e configurações referentes à disposição dos mesmos, para se obter uma melhor validação dos dados interpolados pelo aplicativo *Aurora* em relação aos parâmetros meteorológicas reais, considerando a distribuição aleatória dos pontos no interior do galpão. Para esse processo de validação optou-se exclusivamente pelas medidas de temperatura do ar, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), visto que o objetivo foi verificar a eficiência do método interpolador na estimativa de valores em pontos desconhecidos. Dado que, as medidas de temperatura do ar são comumente utilizadas em avaliações de conforto térmico animal, considerou-se apropriado adotá-la como valor de referência para interpolação. Em ambas as validações foi utilizado um *smartphone Motorola Moto G⁵* de resolução 1080x1920 pixels (xxhdpi – 480 dpi), 5 polegadas, processador Quad-core 1.4 GHz Cortex-A53 + Quad-core 1.1 GHz Cortex-A53, memória RAM de 2 GB, memória interna de 32 GB e SO Android 7.0; e um dispositivo virtual *Android (AVD) Pixel*, API 27, 1080x1920 pixels (xxhdpi – 480 dpi), Android 7.1.1, memória RAM de 2 GB e VM *heap* de 256 MB.

1.2.4.1. Calibração dos sensores

Os sensores utilizados na segunda forma de validação foram previamente calibrados por meio do método linear representado por $y = A + Bx$, utilizando-se como referência o sensor de temperatura e umidade relativa do ar HC2S3 (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2019). Os *data loggers* HOBO U12-013 e o sensor de referência HC2S3 foram dispostos em condições de bancada em ambiente interno durante um período de três dias, similar as condições experimentais.

1.2.4.2. Avaliação dos erros do interpolador

Para a avaliação dos erros obtidos entre os valores interpolados e os observados no galpão de aves, foram utilizados os indicadores estatísticos MAE (*Mean Absolute Error*), MBE (*Mean Bias Error*) e RMSE (*Root Mean Square Error*), conforme Eq. 17, 18 e 19 (WILLMOTT, 1981).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (17)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (18)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (19)$$

Em que P_i representa o valor interpolado, O_i o medido pelo *data logger* HOBO U12-013 e n é o número de observações.

MAE indica a média absoluta dos desvios em módulo, já o MBE apresenta a média dos desvios considerando valores negativos (subestimadas) e positivos (superestimadas). Quanto menor o valor absoluto de MBE, melhor é a performance do método interpolador. RMSE apresenta a raiz quadrada do erro quadrático médio e fornece o valor real do erro produzido pelas medidas interpoladas, sendo seu valor ideal igual a zero (WILLMOTT, 2005).

1.2.4.3. Capacidade preditiva do interpolador

A capacidade preditiva do interpolador foi analisada mediante a acurácia e precisão dos dados utilizando os valores obtidos pelo método linear, a partir de regressão linear, representado pela função $y = A + Bx$. No contexto de acurácia do algoritmo em relação aos dados medidos, foram observados o coeficiente angular B , coeficiente de correlação R e coeficiente de determinação R^2 . Para a precisão, observou-se o desvio padrão SD da regressão e o coeficiente de variância CV dos dados de temperatura do ar medidos pelos *data loggers* e estimados pelo algoritmo *Aurora*.

1.2.5 Requisitos de operação

Para o correto funcionamento do aplicativo, os seguintes requisitos devem ser observados:

- Sistema Operacional: possuir *smartphone* com Android versão 8.0 (API 26), ou superior;

- Disponibilidade de memória RAM: é necessário que o *smartphone* possua memória livre de, pelo menos, 270 MB para criação dos mapas e das imagens do tipo GIF;
- Uso da CPU (*Central Process Unit*): O aplicativo pode fazer uso de até 45 % da CPU.
- *Layout* dos mapas: para fins de usabilidade, recomenda-se que as configurações do *layout* dos mapas sejam realizadas de modo que a largura seja inferior ao comprimento, favorecendo assim, a visualização dos mapas sem rotação de tela – modo retrato (*portrait mode*);
- Área de mapeamento: recomenda-se que mapas sejam criados para áreas inferiores a 150,00 m². Para áreas superiores à mencionada, deve-se fracionar o ambiente em perímetros menores para evitar alto processamento e alocação de memória do *smartphone*.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Aplicativo

O aplicativo *Aurora* para *smartphones Android*, foi desenvolvido e publicado na plataforma Google Play nas versões Português e Inglês. O *download* pode ser realizado pelo link: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.olvappaurora>.

1.3.2 *Aurora*: Validação por cálculo manual de *IDW*

O algoritmo de interpolação do *IDW* foi primeiramente validado mediante o cálculo manual do interpolador, a fim de comparar os valores obtidos manualmente em relação aos apresentados pelo aplicativo *Aurora*. Desta forma, uma pequena área de 3 x 4 m (12 m²) foi simulada contendo seis pontos conhecidos de valores de temperatura do ar e quatro pontos a serem estimados. A Tabela 2 apresenta a disposição dos pontos conhecidos em um plano bidimensional *x* e *y*, e seus respectivos valores.

Tabela 2 – Posição dos pontos conhecidos (P_{c_n}) e estimados (P_{e_n}) de temperatura do ar (z , °C), em um plano bidimensional x e y

Pontos	x (m)	y (m)	z (°C)
P_{c_1}	1,0	3,0	20,3
P_{c_2}	2,0	3,0	20,5
P_{c_3}	1,0	2,0	21,2
P_{c_4}	2,0	2,0	21,5
P_{c_5}	1,0	1,0	22,4
P_{c_6}	2,0	1,0	23,1
P_{e_1}	1,0	4,0	20,8
P_{e_2}	2,5	4,0	20,9
P_{e_3}	1,0	0,5	22,2
P_{e_4}	2,0	0,0	22,3

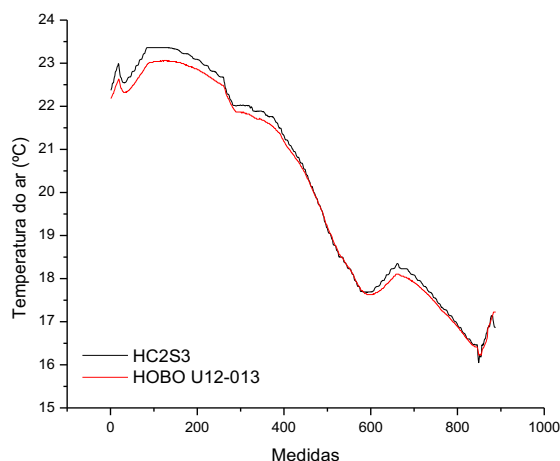
Observou-se que os valores calculados manualmente foram iguais aos obtidos pelo aplicativo, demonstrando que o aplicativo apresenta correta codificação da equação do interpolador.

1.3.3 Calibração dos sensores HOBO U12-013

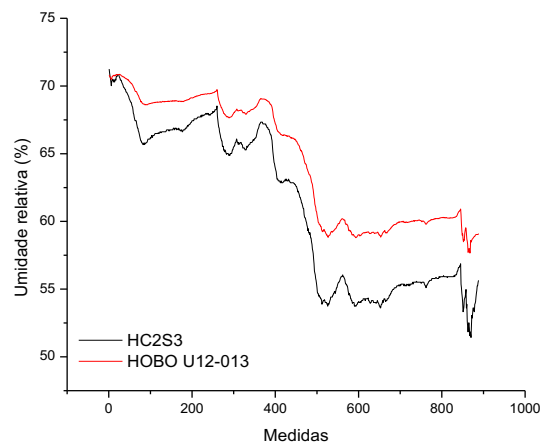
Na Figura 5 são exibidos os valores de temperatura e umidade relativa do ar do sensor de referência HC2S3 e do sensor HOBO U12-013 HB_{f1} .

Figura 5 – Medidas de temperatura do ar (A., °C) e umidade relativa (B., %) dos sensores HC2S3 (referência) e HOBO U12-013 HB_{f1} , durante período de calibração (19 – 20/05/2018)

A.



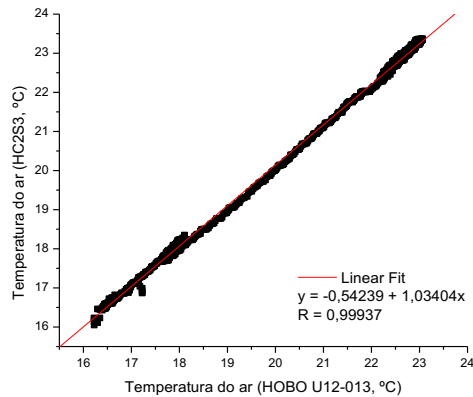
B.



A dispersão dos valores de temperatura e umidade relativa de ambos os sensores é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Dispersão dos dados de temperatura (A., °C) e umidade relativa (B., %) dos sensores HC2S3 e HOBO U12-013 HB_{f1} , durante período de calibração (19 – 20/05/2018)

A.



B.

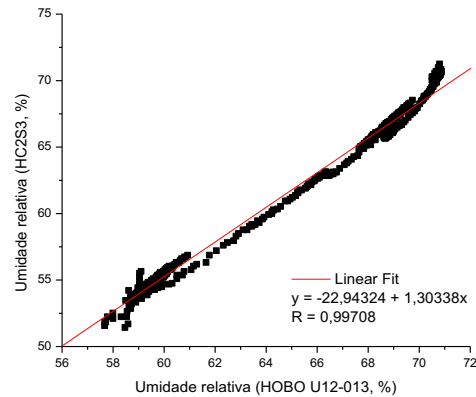


Gráfico: Arilson José de Oliveira Júnior - 2018

A Tabela 3 apresenta os termos A e B , coeficiente de determinação R^2 e desvio padrão SD para os *data loggers* HOBO U12-013, em função do sensor referência HC2S3.

Tabela 3 – Fatores de calibração A e B , coeficiente de determinação R^2 e desvio padrão SD para medidas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) dos sensores HOBO U12-013, sendo $y = A + Bx$

		Sensores						
		HB_{f1}	HB_{f2}	HB_{f3}	HB_{f4}	HB_{m1}	HB_{m2}	HB_{m3}
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)	A	-0,5424	-0,9134	-0,1878	-0,5840	-0,8115	-0,1044	-0,8424
	B	1,0340	1,0514	1,0190	1,0357	1,0483	1,0126	1,0472
	R^2	0,9987	0,9977	0,9995	0,9985	0,9980	0,9995	0,9988
	SD	0,0867	0,1180	0,0558	0,0955	0,1093	0,0522	0,0852
Umidade Relativa (%)	A	-22,9432	-18,2163	-14,6403	-12,7268	-12,5011	-24,1652	-11,7973
	B	1,3034	1,2115	1,1105	1,1097	1,1543	1,3030	1,1132
	R^2	0,9942	0,9954	0,9964	0,9944	0,9949	0,9962	0,9968
	SD	0,4530	0,4003	0,3572	0,4427	0,4221	0,3648	0,3352

Considerando o processo de calibração, pode-se assumir que a acurácia dos sensores HOBO U12-013 foram aproximadas à acurácia nominal do sensor referência HC2S3, de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$.

1.3.4 **Aurora: Validação em galpão de aves de corte**

A partir do conjunto de dados obtido durante o período de coleta de dados, foram gerados mapas da distribuição espacial das medidas de temperatura em intervalos de três horas (12h00, 15h00, 18h00, 21h00, 24h00, 03h00, 06h00 e 09h00), o que resultou em uma perspectiva das mudanças no microclima do ambiente nos períodos matutino, vespertino, noturno. Considerou-se o volume de dados suficiente para avaliação da integridade da implementação do interpolador IDW . Os coeficientes A , B , R e R^2 obtidos para os sensores móveis HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3} , são apresentados na Tabela 4. As médias dos valores medidos e estimados, coeficiente de variação dos valores medidos e estimados, e os desvios padrão estão presentes na Tabela 5.

Tabela 4 – Valores dos coeficientes: linear A , angular B , correlação R e determinação R^2 , obtidos pelo método de regressão linear para os dados estimados pelos sensores móveis HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3}

	Dias										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
HB_{m1}	A	-0,5322	-0,3533	0,0362	-0,0092	0,3020	-0,3853	0,0315	-0,2510	-0,9089	-1,0076
	B	1,0167	1,0087	0,9897	0,9999	0,9832	1,0098	0,9876	1,0128	1,0380	1,0422
	R	0,9998	0,9997	0,9987	1,0000	0,9998	1,0000	0,9996	0,9999	0,9992	0,9997
	R^2	0,9996	0,9995	0,9974	1,0000	0,9996	0,9999	0,9992	0,9998	0,9985	0,9994
HB_{m2}	A	0,3969	0,3924	1,1464	0,4980	0,5248	0,8091	0,5759	0,4689	0,3981	0,0799
	B	0,9817	0,9823	0,9415	0,9895	0,9832	0,9640	0,9748	0,9828	0,9833	0,9964
	R	0,9998	0,9999	0,9994	0,9995	0,9997	0,9993	1,0000	0,9995	0,9993	0,9999
	R^2	0,9996	0,9998	0,9987	0,9990	0,9995	0,9987	0,9999	0,9990	0,9987	0,9998
HB_{m3}	A	-0,0499	-0,4850	-0,3144	-0,3251	-0,6021	-0,1691	-0,2664	0,0213	0,2455	-0,6296
	B	0,9988	1,0152	1,0044	1,0239	1,0380	1,0122	1,0155	0,9987	0,9774	1,0246
	R	0,9985	0,9996	0,9995	0,9995	0,9996	0,9998	0,9993	0,9999	0,9978	0,9991
	R^2	0,9969	0,9991	0,9989	0,9989	0,9993	0,9996	0,9985	0,9998	0,9955	0,9982

Tabela 5 – Médias dos valores medidos $\bar{O}$ e estimados $\bar{E}$, coeficiente de variação dos valores medidos CV_O e estimados CV_E e desvios padrão SD dos dados de regressão linear dos sensores móveis HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3}

		Dias									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HB_{m1}	$\bar{O}$ (°C)	23,07 ± 3,45	22,70 ± 4,52	24,42 ± 3,40	21,56 ± 3,48	21,16 ± 3,35	20,62 ± 3,74	21,21 ± 4,11	23,29 ± 3,60	21,54 ± 3,47	21,92 ± 3,15
	$\bar{E}$ (°C)	23,22 ± 3,39	22,86 ± 4,48	24,64 ± 3,43	21,57 ± 3,48	21,21 ± 3,40	20,80 ± 3,70	21,45 ± 4,16	23,24 ± 3,56	21,63 ± 3,34	22,00 ± 3,02
	CV_O (%)	14,93	19,93	13,91	16,13	15,82	18,11	19,37	15,47	16,10	14,38
	CV_E (%)	14,59	19,62	13,92	16,12	16,05	17,78	19,39	15,30	15,44	13,74
	SD	0,08	0,11	0,19	0,02	0,07	0,04	0,13	0,05	0,15	0,08
HB_{m2}	$\bar{O}$ (°C)	23,33 ± 3,43	22,82 ± 4,37	24,33 ± 3,23	21,87 ± 3,45	21,39 ± 3,35	20,95 ± 3,67	21,51 ± 4,08	23,31 ± 3,49	21,69 ± 3,27	21,99 ± 2,98
	$\bar{E}$ (°C)	23,36 ± 3,49	22,84 ± 4,45	24,63 ± 3,43	21,60 ± 3,49	21,22 ± 3,41	20,89 ± 3,80	21,48 ± 4,18	23,24 ± 3,55	21,66 ± 3,32	21,99 ± 3,00
	CV_O (%)	14,69	19,14	13,28	15,78	15,68	17,52	18,96	14,98	15,07	13,57
	CV_E (%)	14,94	19,48	13,93	16,14	16,08	18,21	19,48	15,28	15,34	13,62
	SD	0,08	0,07	0,12	0,12	0,08	0,14	0,03	0,12	0,13	0,04
HB_{m3}	$\bar{O}$ (°C)	23,43 ± 3,60	22,67 ± 4,48	24,35 ± 3,40	21,83 ± 3,58	21,43 ± 3,55	21,06 ± 3,96	21,57 ± 4,28	23,24 ± 3,53	21,44 ± 3,24	21,90 ± 3,06
	$\bar{E}$ (°C)	23,51 ± 3,59	22,81± 4,41	24,56 ± 3,38	21,64 ± 3,50	21,23 ± 3,42	20,98 ± 3,91	21,51 ± 4,21	23,25 ± 3,54	21,68 ± 3,31	21,99 ± 2,99
	CV_O (%)	15,35	19,76	13,96	16,42	16,57	18,80	19,82	15,21	15,12	13,99
	CV_E (%)	15,29	19,34	13,77	16,17	16,11	18,64	19,57	15,22	15,26	13,59
	SD	0,21	0,15	0,12	0,13	0,10	0,09	0,18	0,05	0,23	0,14

A Tabela 6 exibe os indicadores estatísticos *MAE*, *MBE* e *RMSE* dos erros dos sensores móveis HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3} ao longo dos dez dias de medição.

Tabela 6 – Valores de *MAE*, *MBE* e *RMSE* dos sensores móveis HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3} , em relação aos valores interpolados pelo aplicativo *Aurora* em galpão de aves

		Dias									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HB_{m1}	<i>MAE</i> (°C)	0,15	0,15	0,23	0,01	0,06	0,18	0,23	0,06	0,16	0,15
	<i>MBE</i> (°C)	0,15	0,15	0,22	0,01	0,06	0,18	0,23	-0,05	0,09	0,08
	<i>MBE</i> (%)	0,63	0,68	0,89	0,05	0,26	0,88	1,10	-0,20	0,40	0,36
	<i>RMSE</i> (°C)	0,17	0,19	0,27	0,02	0,10	0,19	0,26	0,08	0,19	0,16
	<i>RMSE</i> (%)	0,73	0,82	1,12	0,08	0,47	0,91	1,24	0,33	0,90	0,73
HB_{m2}	<i>MAE</i> (°C)	0,09	0,08	0,30	0,27	0,18	0,18	0,10	0,12	0,08	0,04
	<i>MBE</i> (°C)	0,03	0,01	0,30	-0,27	-0,17	-0,06	-0,03	-0,07	-0,04	0,00
	<i>MBE</i> (%)	0,13	0,05	1,21	-1,24	-0,79	-0,28	-0,16	-0,29	-0,17	0,00
	<i>RMSE</i> (°C)	0,09	0,10	0,37	0,29	0,19	0,19	0,11	0,14	0,13	0,04
	<i>RMSE</i> (%)	0,40	0,42	1,50	1,34	0,90	0,90	0,51	0,58	0,59	0,17
HB_{m3}	<i>MAE</i> (°C)	0,17	0,18	0,21	0,19	0,20	0,09	0,14	0,04	0,26	0,13
	<i>MBE</i> (°C)	0,08	0,14	0,21	-0,19	-0,20	-0,09	-0,07	0,01	0,24	0,09
	<i>MBE</i> (%)	0,33	0,61	0,85	-0,88	-0,95	-0,41	-0,31	0,04	1,14	0,41
	<i>RMSE</i> (°C)	0,20	0,20	0,23	0,24	0,25	0,12	0,18	0,05	0,32	0,17
	<i>RMSE</i> (%)	0,86	0,87	0,95	1,08	1,18	0,58	0,82	0,21	1,51	0,76

Em relação à análise dos erros do algoritmo, pode-se observar que os maiores erros apresentados foram de 0,49 °C para o sensor HB_{m1} (*layout* 1, dia 3), 0,78 °C

para o sensor HB_{m2} (*layout* 1, dia 3) e 0,62 °C para o sensor HB_{m3} (*layout* 4, dia 9). Sendo assim, os valores medidos pelos sensores HOBO U12-013 (HB_{m1} , HB_{m2} e HB_{m3}) e os interpolados pelo aplicativo *Aurora*, a partir dos valores conhecidos (pontos fixos), foram semelhantes.

Durante o período de validação o maior valor de *MAE* e *MBE* obtido foi de 0,3 °C (HB_{m2}), no terceiro dia. O maior valor de *RMSE* foi de 0,37 °C (HB_{m2}) para o mesmo dia. A partir dos indicadores *MAE* e *MBE* percebe-se que os valores interpolados pelo *IDW*, por meio do aplicativo *Aurora*, foram similares aos valores reais de temperatura do ar no interior do galpão. Os valores interpolados para esse período não ultrapassaram um erro percentual aproximado de 0,9% em relação aos valores medidos para o sensor HB_{m1} , 1,2% para o sensor HB_{m2} e de 1,1% para o sensor HB_{m3} . Vicente-Serrano, Saz-Sánchez e Cuadrat (2003) encontraram valores semelhantes ao comparar métodos de interpolação para medidas anuais de temperatura do ar, no qual observou-se um valor de *MAE* de 0,46 °C, *MBE* subestimado de 0,32 °C e um valor de *RMSE* de 0,56 °C. Da mesma forma, ao comparar os indicadores estatísticos com outras validações de métodos de interpolação com volumes de dados maiores, como as de Kurtzman e Kadmon (1999) e Apaydin, Sonmez e Yildirim (2004), percebe-se que para o conjunto de dados estudado os indicadores foram inferiores e, portanto, suficientes para considerar a correta implementação do interpolador *IDW* no aplicativo *Aurora*. Em determinados dias foram observados valores de *MBE* muito próximos de zero, como por exemplo, nos dias três (HB_{m3}), quatro (HB_{m1}) e dez (HB_{m2}).

Um ponto importante a ser considerado no momento do posicionamento dos sensores em galpões, visando à aplicação do interpolador *IDW*, mediante o aplicativo *Aurora* ou *software* semelhante, é a proximidade dos pontos a serem interpolados em relação aos pontos fixos. Ou seja, pela própria característica desse interpolador (cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância), para que a interpolação seja mais eficiente o usuário deve inserir seus sensores de modo a interpolar pontos no interior da distribuição dos sensores, como apresentado nos *layouts* dos dias 1, 2, 6, 7, 8, 9 e 10 (Figura 4). Quanto maior o número de valores conhecidos dentro do galpão (pontos fixos), melhor será o mapa de interpolação. Apesar do presente trabalho não ter por objetivo avaliar o número ideal de pontos fixos em galpões de aves de dimensões semelhantes às utilizadas na validação do

aplicativo, de acordo com os resultados encontrados é possível considerar que quatro sensores são suficientes para interpolar medidas de temperatura em uma área de aproximadamente 93 m^2 (local onde os sensores foram inseridos – $7,74 \text{ m} \times 12,00 \text{ m}$, Figura 3).

Quanto à capacidade preditiva do algoritmo *Aurora*, ao avaliar sua precisão, mediante a dispersão dos dados pelos desvios padrão da regressão linear *SD*, pode-se encontrar valores de até 0,0160 (HB_{m1} , dia 4), 0,0342 (HB_{m2} , dia 7) e 0,0546 (HB_{m3} , dia 8), sendo os maiores valores de 0,1856 (HB_{m1} , dia 3), 0,1440 (HB_{m2} , dia 6) e 0,2335 (HB_{m3} , dia 9). Apresentando assim, baixa dispersão dos dados e um agrupamento homogêneo das medidas de temperatura do ar. Outra forma de observar a precisão foi analisar a semelhança entre os coeficientes de variação dos dados medidos e dos estimados pelo *Aurora*, no qual alguns coeficientes calculados para os dados gerados pelo algoritmo foram menores que os coeficientes dos dados medidos. Como por exemplo, 15,30% (HB_{m1} , dia 8), 15,44% (HB_{m1} , dia 9), 13,74% (HB_{m1} , dia 10), 13,77% (HB_{m3} , dia 3) e 13,59% (HB_{m3} , dia 10). Vale ressaltar que os valores de *CV* dos dados estimados apresentaram baixos desvios em relação aos coeficientes dos dados de referência, demonstrando estarem estes sob o mesmo padrão de precisão dos dispositivos de medição, no caso, os *data loggers*.

Do ponto de vista da acurácia do algoritmo, pode-se observar o coeficiente angular *B* encontrado pelo método de regressão linear, que apresentou valores de até 1,0087 (HB_{m1} , dia 2), 0,9964 (HB_{m2} , dia 10) e 1,0044 (HB_{m3} , dia 3), sendo os valores mais distantes do valor ideal de 1,0422 (HB_{m1} , dia 7), 0,9415 (HB_{m2} , dia 3) e 0,9774 (HB_{m3} , dia 9). O que demonstra que as medidas estimadas permaneceram próximas aos valores obtidos pelos *data loggers*, considerando que o valor ideal para o argumento *B* é de 1. Dessa forma, há de se inferir que as subestimativas e superestimativas das medidas de temperatura mantiveram-se próximas aos valores reais. Os coeficientes de correlação *R* e de determinação R^2 também permitiram avaliar a acurácia da interpolação, tendo como valor mais distante o de 0,9978 (HB_{m3} , *R*, dia 9), 0,9955 (HB_{m3} , R^2 , dia 9).

Assim, mediante os indicadores de avaliação dos erros e da capacidade preditiva do algoritmo, é possível considerar que o interpolador *IDW* foi codificado de forma correta, além de permitir analisar o seu desempenho em medidas de temperatura do ar.

A fim de ilustrar o resultado obtido pelo aplicativo *Aurora*, na Figura 7 são exibidos mapas de temperatura do ar (°C) criados a partir de valores de medidas de temperatura para os períodos matutino (6h00 às 11h59) e vespertino (12h00 às 17h59), no dia em que houve maior amplitude térmica durante a validação do algoritmo (dia 9).

Figura 7 – Mapas de temperatura do ar (°C) do dia 9, criados pelo aplicativo *Aurora* para os períodos matutino (A.) e vespertino (B.) em área experimental delimitada no galpão de aves de corte localizado na fazenda Edgardia, Botucatu/SP, Brasil

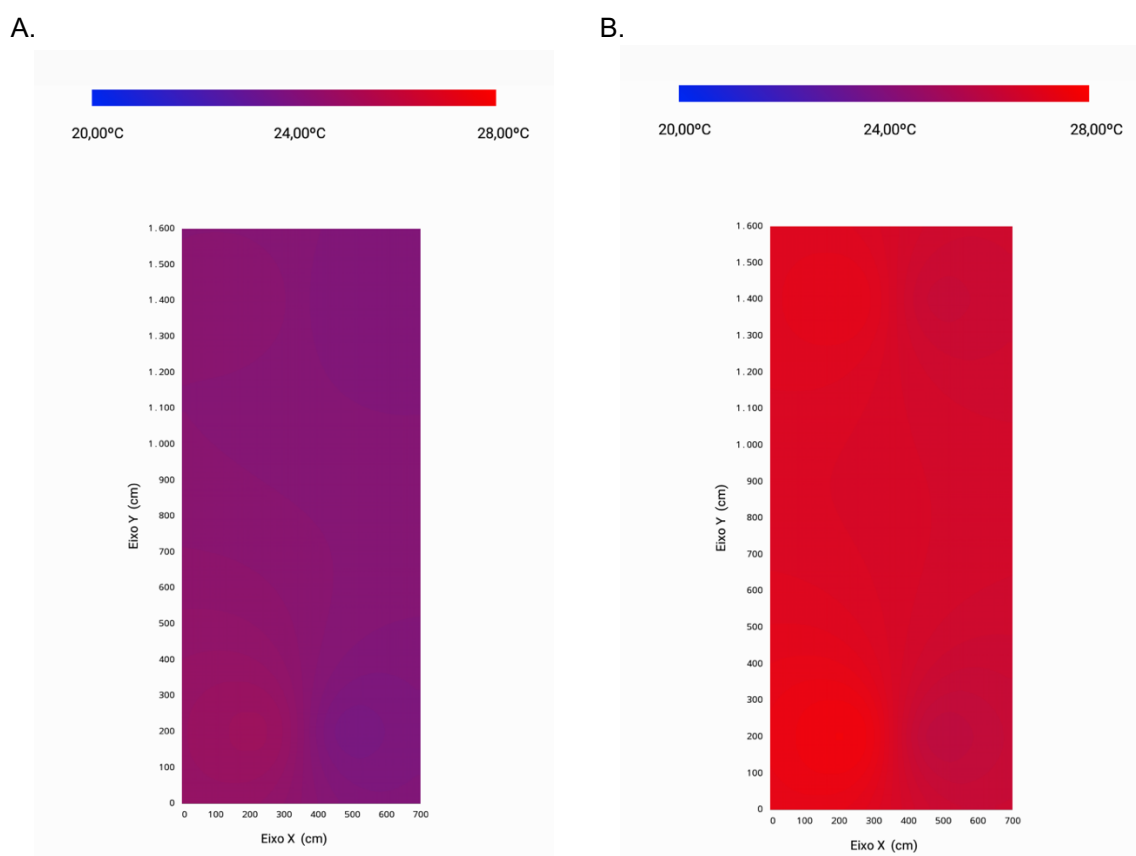


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2018

Para ilustração dos mapas utilizou-se uma área delimitada pelos limites estabelecidos entre os pontos fixos do dia 9 (1400 x 774 cm, *layout* 4, dia 9, Figura 4). Na criação dos mapas de temperatura da Figura 7, um tempo médio de 4min15s foi necessário desde o início da interpolação (criação das matrizes e cálculo do interpolador *IDW*) até a apresentação dos mapas. Conforme os requisitos de operação, os autores recomendam que, para o uso eficiente do aplicativo em caso de áreas grandes, o usuário realize uma fragmentação do ambiente, buscando criar mapas para pontos específicos dentro do galpão.

1.3.5 Mapas de índices de conforto térmico

Foram criados mapas de índices de conforto térmico para os mesmos períodos utilizados na ilustração do uso do aplicativo *Aurora*: matutino (6h00 às 11h59) e vespertino (12h00 às 17h59), a partir das medidas de temperatura do ar e umidade relativa. Para as condições dadas no período de validação, mapas de índices de conforto térmico de *ITU* (Eq. 8) foram criados considerando a suposta presença de aves de 1 e 3 semanas para os dois períodos do dia 9 (Figura 8).

Figura 8 – Mapas de índice de conforto térmico *ITU* criados pelo aplicativo *Aurora* para galpão de aves de corte da fazenda experimental Edgardia, Botucatu/SP, Brasil – Simulação da presença de aves de 1 semana no período matutino (A.) e aves de 3 semanas no período vespertino (B.)

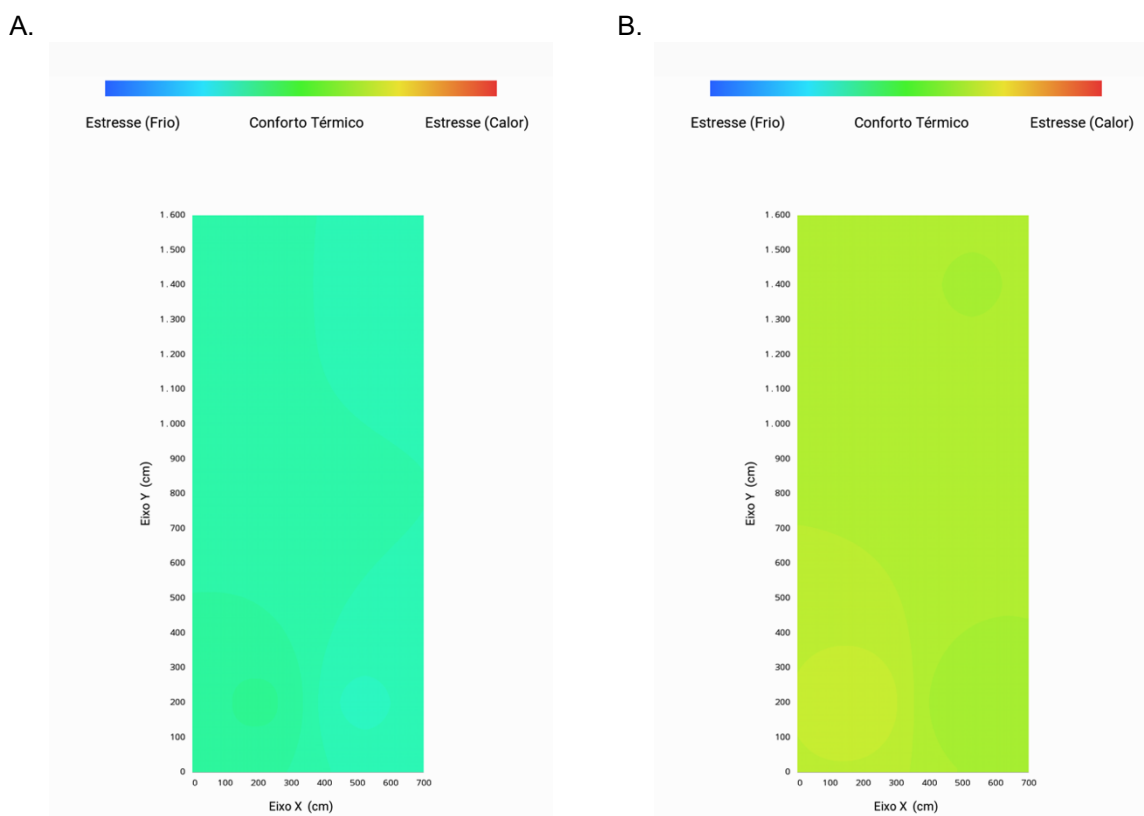


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2018

A partir dos mapas é possível observar uma homogeneidade no interior do galpão, tanto em relação às medidas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), presentes na Figura 9, como para o índice *ITU* de aves de corte. De acordo com a Figura 8, a suposta inserção de aves de uma semana de vida no período matutino do dia 9, lhes proporcionaria condições próximas de conforto térmico. Já tratando-se de aves de três semanas de vida, sua possível presença no período vespertino desse galpão lhes

proporcionariam condições próximas do estresse térmico, devido ao calor. Vale ressaltar que, o galpão especificado nas validações foi utilizado apenas para exemplificar o uso de sensores de temperatura e umidade relativa do ar para criação de mapas, mediante interpolação de dados por meio do aplicativo *Aurora*. Desse modo, nenhum dos recursos disponíveis para controle das condições do microclima presente no galpão foi empregado. Tendo em vista a ilustração de outros possíveis mapas de índices de conforto térmico para animais, diferentes *layouts*, medidas de temperatura do ar (°C), umidade relativa (%) e temperatura de globo negro (°C) foram simulados, conforme Tabela 6 e 7.

Tabela 7 – Medidas e dados utilizados de ambientes simulados para ilustração de mapas de índices de conforto térmico, a partir do aplicativo *Aurora*

Ambiente (cm)	Indivíduo	Método de interpolação	Índice	Número de sensores	Características do animal
600x2400	Aves ¹	IDW (PFA)	ITU	3	Aves de 4 semanas
400x1400	Aves ²	IDW (PFE)	ITGU	6	Aves de 2 semanas
1000x1000	Bovinos ¹	IDW (PFA)	ITU	6	-
500x500	Bovinos ²	IDW (PFA)	ITGU	2	-
250x500	Suíños ¹	IDW (PFE)	ITU	3	-
250x600	Suíños ²	IDW (PFA)	ITGU	5	-

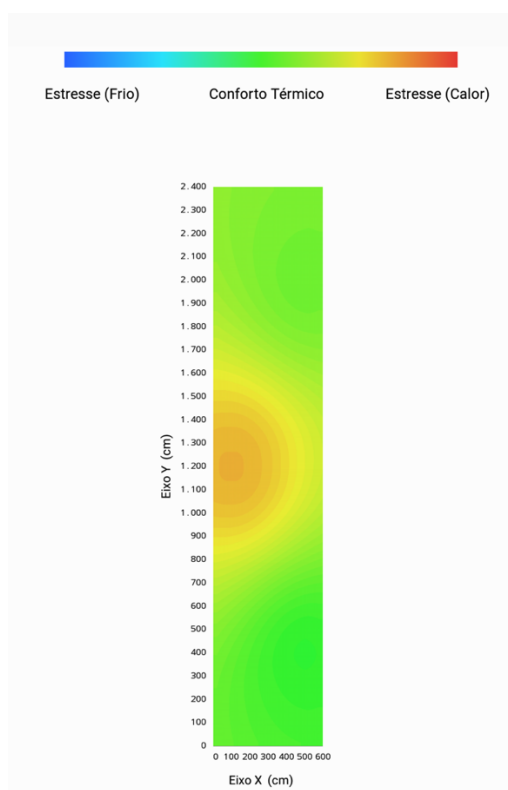
Tabela 8 – Medidas simuladas de Temperatura do ar (T_a , °C), Umidade relativa (U_r , %), Temperatura de globo negro (T_g , °C) e Temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C) utilizadas para criação de mapas de índices de conforto térmico pelo aplicativo *Aurora* para aves, bovinos e suínos

Ambiente	Sensores																	
	1			2			3			4			5			6		
	T_a	U_r	T_g	T_{bu}	T_a	U_r	T_g	T_{bu}	T_a	U_r	T_g	T_{bu}	T_a	U_r	T_g	T_{bu}	T_a	T_{bu}
Aves ¹	18,0	75,0	-	-	24,0	60,0	-	-	20,0	55,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Aves ²	25,0	70,0	26,0	-	27,0	68,0	27,5	-	29,0	60,0	29,2	-	30,0	58,0	31,0	-	30,5	30,7
Bovinos ¹	24,0	70,0	-	-	28,0	65,0	-	-	25,0	68,0	-	-	26,0	70,0	-	-	31,0	60,0
Bovinos ²	28,0	60,0	29,0	-	29,0	58,0	30,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suíños ¹	24,0	-	-	23,0	26,0	-	-	25,0	27,0	-	-	26,0	-	-	-	-	-	-
Suíños ²	25,0	88,0	27,0	-	25,0	80,0	25,0	-	30,0	80,-0	32,0	-	27,0	70,0	27,0	-	23,0	24,0

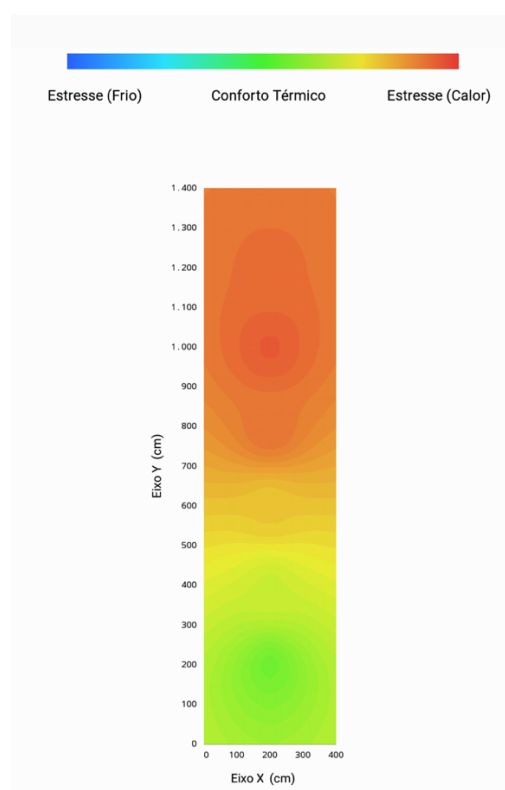
A partir das medidas simuladas apresentadas na Tabela 6 e de acordo com os diferentes *layouts* também simulados, segundo a Tabela 7, os mapas de índices de conforto térmico para animais foram criados e são apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Mapas de índices de conforto térmicos criados pelo aplicativo *Aurora*, mediante ambientes e dados das Tabelas 5 e 6, sendo: Aves¹, ITU, 4 semanas de vida (A.); Aves², ITGU, 2 semanas de vida (B.); Bovinos¹, ITU (C.), Bovinos², ITGU (D.); Suínos¹, ITU (E.) e Suínos², ITGU (F.)

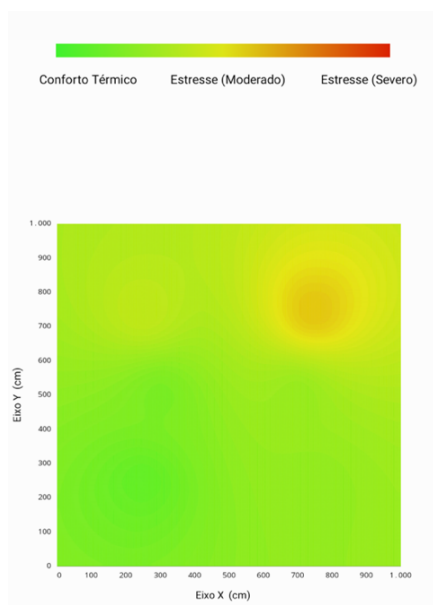
A.



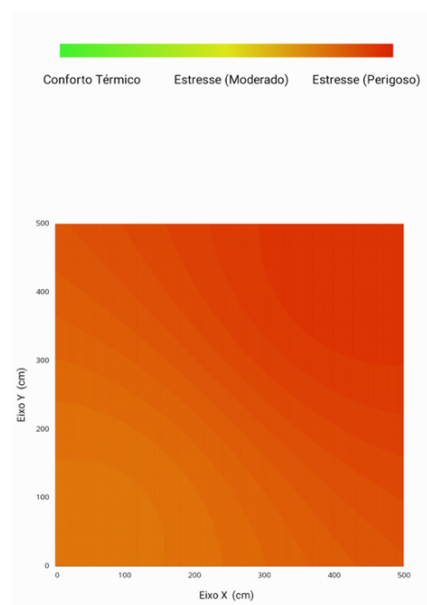
B.



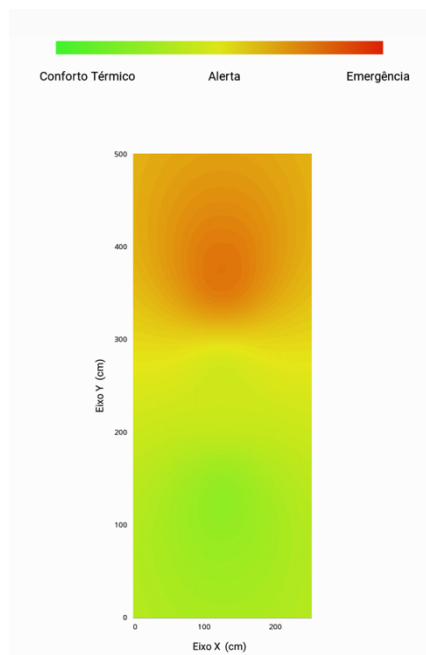
C.



D.



E.



F.

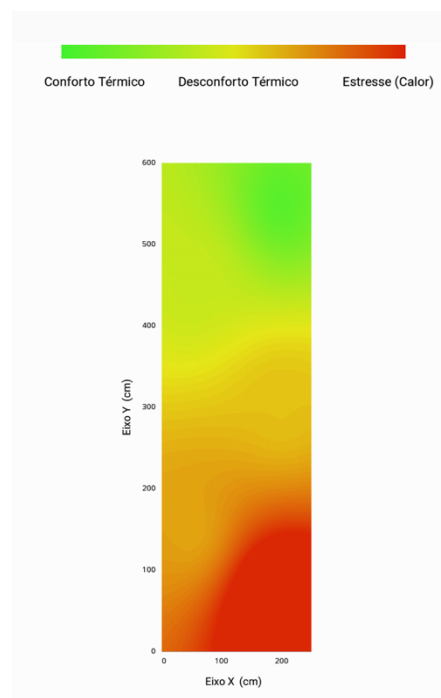


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2018

Em todos os processos de criação dos mapas, seja por PFE ou PFA, o usuário possui uma pré-visualização da distribuição dos pontos fixos, de acordo com as configurações de posição de cada ponto (número de sensores, linhas e colunas – PFE; valores de x e y – PFA), antes da inserção dos dados correspondentes ao índice de conforto térmico escolhido para ser calculado e interpolado. A pré-visualização do *layout* do ambiente é um recurso que garante a correta configuração dos pontos fixos realizada pelo usuário em relação ao ambiente real (objeto de estudo). Além das possibilidades de aplicação do interpolador *IDW* por PFE ou PFA, o aplicativo *Aurora* também oferece um recurso de criação de imagens do tipo GIF (*Graphics Interchange Format*) animadas. Nas configurações do aplicativo há uma opção de ativação do modo de criação de GIFs animadas, que ao habilitá-lo o usuário deve especificar a quantidade de imagens e a velocidade que deseja visualizar a troca das mesmas. É possível criar GIFs de 2, 4, 6, 8, 16 e 24 imagens, sendo suas velocidades de 2, 4, 8 ou 10 frames por segundo. A opção de criação das GIFs é habilitada anteriormente à configuração do ambiente a ser estudado, assim o usuário deve se ater a gerar imagens animadas para um mesmo animal, ambiente e de mesmas medidas. Por exemplo, criar uma GIF de temperatura do ar em três períodos do dia para uma instalação de bovinos, ou do índice *ITGU* para máximas e mínimas do dia em um

galpão de aves. As imagens do tipo GIF são produzidas a partir dos mapas de interpolação, o que permite ao usuário ter uma visualização das mudanças do ambiente em determinado período de uma forma mais dinâmica. Outro recurso presente no *Aurora* é a opção de salvamento das imagens do tipo GIF no dispositivo móvel e o compartilhamento com outros aplicativos que permitam o envio de arquivos com essa extensão. Um exemplo de criação de uma imagem do tipo GIF para medidas de temperatura do ar, é apresentada na Figura 10. É possível perceber, no ambiente simulado, a diminuição da temperatura no canto inferior direito que irradia para as demais áreas periféricas, ao longo do tempo.

Figura 10 – Imagem do tipo GIF criada para medidas de temperatura do ar, em ambiente simulado com dimensões 2 x 4 m.

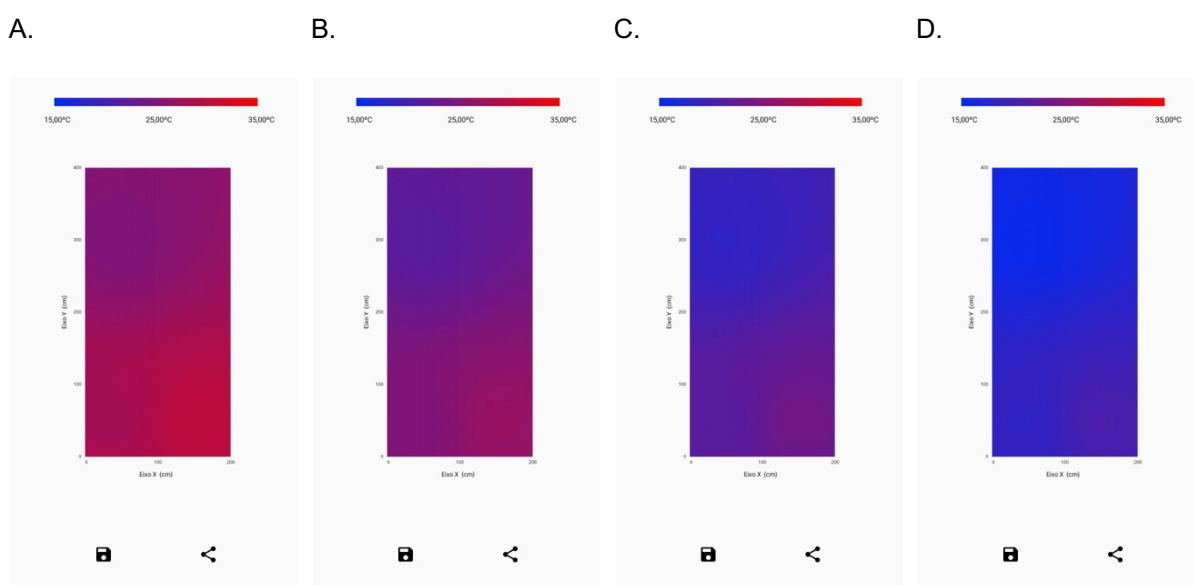


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

O aplicativo *Aurora* é uma ferramenta para auxiliar na obtenção do diagnóstico das condições do microclima de um ambiente. Os resultados mostraram que o uso do aplicativo para mapeamento de áreas extensas é uma de suas limitações, devido ao processo de plotagem dos dados interpolados em um gráfico, pode demandar elevado uso de memória. Todavia, ao considerar a usabilidade dos dispositivos para os quais o aplicativo foi desenvolvido (*smartphones*), tem-se que esse tipo de *software* não é apropriado para longas análises ou investigações de parâmetros meteorológicos e de conforto térmico de ambientes. O aplicativo deve ser considerado como um recurso auxiliar dos estudos de condições térmicas de animais (aves, bovinos e suínos), nos quais o objetivo seja a utilização dos índices de conforto térmico para caracterização

do microclima ou investigação das causas de estresse térmico em indivíduos. Trabalhos de modelagem do microclima de ambientes, como os de Gilkeson et al. (2016) e Fidaros et al. (2018), podem fazer uso do aplicativo para avaliações prévias das condições térmicas, por exemplo. Para estudos do comportamento de aves em condições de estresse térmico, como o de Li, Wu e Chen (2015), o aplicativo também pode ser utilizado a fim de compreender melhor as ações comportamentais das aves durante um período de estresse. Da mesma forma, o *Aurora* pode auxiliar em trabalhos de avaliação do conforto térmico de animais em diferentes configurações de ambientes, como os de Feizi et al. (2012). Por fim, o aplicativo *Aurora* é um recurso disponível para *smartphones* que pode amparar trabalhos de avaliação do conforto térmico de animais, que têm por objetivo a obtenção de uma visão geral dos efeitos das variações de medidas meteorológicas, por intermédio do mapeamento do ambiente térmico, como os apresentados por Coelho et al. (2015).

1.4 CONCLUSÃO

Um aplicativo *Android* foi desenvolvido para a criação de mapas de temperatura do ar e de índices de conforto térmico, utilizando o método interpolador *IDW*. O algoritmo desenvolvido apresentou correta implementação da equação do Inverso da Distância Ponderada (*IDW*), com $p = 2$.

A comparação entre valores de temperatura do ar medidos e valores interpolados pelo aplicativo, permitiu avaliar os erros e a capacidade preditiva do algoritmo. Quanto à avaliação dos erros, o maior valor de *MAE* e *MBE* foi de 0,3 °C, e *RMSE* de 0,37 °C. O algoritmo apresentou baixa dispersão dos dados e um agrupamento homogêneo das medidas de temperatura do ar, demonstrando precisão satisfatória no processo de interpolação. A semelhança entre os valores medidos e interpolados certificou boa acurácia, com coeficiente angular e de determinação próximos a 1.

O aplicativo permite criar mapas de temperatura do ar e de índices de conforto térmico de animais, visando avaliações iniciais do bem-estar de aves, bovinos e suínos.

REFERÊNCIAS

- ALDUCHOV, O. A.; ESKRIDGE, R. E. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteor.*, 35, 601–609, 1996.
- APAYDIN, H.; SONMEZ, F. K.; YILDIRIM, Y. E. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey, *Clim Res.* 28, 31-40, 2004.
- ARMSTRONG, M. Basic Linear Geostatistics, NewYork: Springer, 1998.
- ASHRAE Standard. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Third Public Review. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc., Tullie Circle NE, Atlanta, Georgia. 55 P, 2010.
- BARROS, J. S. G.; ROSSI, L. A.; SOUZA, Z. M. PID temperature controller in pig nursery: spatial characterization of thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 62, n. 5, p.773-781, 2017.
- BOHLOULI, M.; SHODJA, J.; ALIJANI S.; EGHBAL, A. The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. *Livestock Science.* 157 (2-3), 414-420, 2013.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort Eq. for dairy cows. *Trans. ASAE* 24, 711–714, 1981.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R.J.; CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans. ASAE* 26, 1798–1802, 1983.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. HC2S3-L: Temperature and Relative Humidity Probe. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com.br/hc2s3>>. Acesso em: 27 out. 2019.
- COELHO, D. J. R.; TINOCO, I. F. F.; VIEIRA, M. F. A., MENDES, M. A. S. A.; SOUSA, F. C.; FRANÇA, L. G. F. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19. 996-1004, 2015.
- FAR, S. T.; REZAEI-MOGHADDAM, K. Impacts of the precision agricultural technologies in Iran: An analysis experts' perception & their determinants. *Information Processing In Agriculture.* 5 (1), 173-184, 2018.
- DEITEL, P.; DEITEL, H. Java Como Programar. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 1104 p.
- FARIA, F. F.; MOURAI, D. J.; SOUZA, Z. M.; MATARAZZO, S. V. Climatic spatial variability of a dairy freestall barn. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 9, n. 38, p.2498-2505, dez. 2008.

FEIZI, A.; SHAHBAZI, M.; TAIFEBAGERLU, J.; HAGHIHAT, A. Effects of Heat Stress (HS) on Production of Hy-Line Layers. *Res. J. Biol. Sci.*, 7. 206-208, 2012.

FIDAROS, D.; BAXEVANOVA, C.; BARTZANASA, T.; KITTASB, C. Numerical study of mechanically ventilated broiler house equipped with evaporative pads. *Computers And Electronics In Agriculture*, 149. 101-109, 2018.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual of thermal comfort: architecture and urbanism, 7. ed. Studio Nobel, São Paulo, 2006.

GILKESON, C. A.; THOMPSON, H. M.; WILSON, M. C. T.; GASKELL, P. H. Quantifying passive ventilation within small livestock trailers using Computational Fluid Dynamics. *Computers And Electronics In Agriculture*, 124. 84-99, 2016.

GOOGLE. Android Studio. 2019. Disponível em: <<https://developer.android.com/studio>>. Acesso em: 27 out. 2019a.

GOOGLE. Support different pixel densities. Disponível em: <<https://developer.android.com/training/multiscreen/screendensities>>. Acesso em: 27 out. 2019b.

HIGASHIYAMA, Y.; HIGASHIYAMA, M.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. *Livestock Science*, v. 155, p.86- 91, feb. 2013.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 413, 1989.

JAHODA. MPAndroidChart. 2019. Disponível em: <<https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>>. Acesso em: 27 out. 2019.

KURTZMAN, D.; KADMON, R. Mapping of temperature variables in Israel: a comparison of different interpolation methods, *Clim Res.* 13, 33– 43, 1999.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air. *American Meteorological Society*, 225–233, 2005.

LI, M; WU, J; CHEN, Z. Effects of Heat Stress on the Daily Behavior of Wenchang Chickens. *Brazilian Journal Of Poultry Science*, 17. 559-566, 2015.

LIMA, K. A. O.; MOURA, D. J.; NAAS, I. A.; PERISSINOTTO, M. Heat waves influence on milk yield in São Paulo state. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering, Campinas*, v.1, p.70-81, 2007.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas. 2. Ed. rev. Brasília/DP. Embrapa Informação Tecnológica. 2010.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

MORGADO, M.; TALAIA, M.; TEIXEIRA, L. A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal Of Industrial Ergonomics*. 60, 3-13, 2017.

MUSASHI, J. P.; PRAMOEDYO, H.; FITRIANI, R. Comparison of Inverse Distance Weighted and Natural Neighbor Interpolation Method at Air Temperature Data in Malang Region. *Cauchy, Malang*, v. 5, n. 2, p.48-54, 2018.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; SANTOS, R. F. S. One day-old chicks transport: Assessment of thermal profile in a tropical region. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. 19 (7), 663-667, 2015.

NAWAB, A.; IBTISHAMA, F.; LIA, G.; KIESERB, B.; WUA, J.; LIUA, W.; ZHAOA, Y.; NAWABC, Y.; LID, K.; XIAOA, M.; ANA, L. Heat stress in poultry production; Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. *Journal Of Thermal Biology*. 78, 131-139, 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; DAL PAI, E.; RODRIGUES, B. T.; SOUZA, V. C. Aurora: Mobile application for analysis of spatial variability of thermal comfort indexes of animals and people, using IDW interpolation. *Computers And Electronics In Agriculture*, v. 157, p.98-101, fev. 2019.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; CRUZ, V. F.; VICENTIN, T. A.; GLAVINA, A. S. G. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers And Electronics In Agriculture*, v. 151, p.175-184, ago. 2018.

ONSET. HOBO Temperature/Relative Humidity/2 External Channel Data Logger. Disponível em: <<https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-013>>. Acesso em: 27 out. 2019.

PHAM, G. T.; HUYNH, V. C.; TRAN, T. P.; TRAN, T. M. C.; NGUYEN, T. D. Impact of power value in IDW interpolation method on accuracy of the soil organic matter (SOM) mapping. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GEOINFORMATICS FOR SPATIAL-INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN EARTH AND ALLIED SCIENCES (GIS-IDEAS)*, 8., 2016, Hanoi. Anais... . Hanoi: Hanoi University Of Mining And Geology, 2016. p. 1 - 6.

PONCIANO, P. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, G. A. E. S.; SCALON, J. D.; SCHIASSI, L. Spatial variability of air dry bulb temperature and black globe humidity index in a broiler house during the heating phase. *Eng. Agríc, Jaboticabal*, v. 3, n. 33, p.432-444, jun. 2013.

QUEIROZ, M. L. V.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; SALES, F. A. L.; LIMA, L. R.; DUARTE, L. M. Spatial variability in a broiler shed environment with fogging system. *Revista Ciência Agronômica*. 48 (4), 586-595, 2017.

SARAZ, J. A. O.; ROCHA, K. S. O.; DAMASCENO, F. A.; TINOCO, I. F. F.; OSORIO, R.; TOBÓN, J. C. A. A CFD approach to assess the effects of different opening

combinations in poultry houses. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. 21 (12), 852-857, 2017.

SCHÜLLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*. 81 (8), 1050-1057, 2014.

SILVA, E. T.; LEITE, D. G.; YURI, F. M.; NERY, F. S. G.; REGO, J. C. C.; ZANATTA, R. A.; SANTOS, S. A. E MOURA, V. V. Determination of the Temperature and Humidity Index (ITU) for the Birds Production in Metropolitan Mesoregion of Curitiba – PR. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, v.2, n.3, p. 47-60, jul./set. 2004.

SOARES, A. *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Portugal: Instituto Superior Técnico, 2000.

TAO, T.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Trans. ASAE* 46 (2), 491–497, 2003.

THOM, E. C. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57–59, 1959.

VICENTE-SERRANO, S. M.; SAZ-SÁNCHEZ, M. A.; CUADRAT, J. M. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, v. 24, n. 1, p.161-180, 2003.

VITALI, A.; SEGNALINI, M.; BERTOCCHI, L.; BERNABUCCI, U.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92 (8), 3781–3790, 2009.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *PHYS GEOGR* 2: 184–194, 1981.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Clim. Res.* 30, 79–82, 2005.

CAPÍTULO 2 – SISTEMA PARA MEDIÇÃO E ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR E DOS ÍNDICES *ITGU* E *ITU*, VISANDO O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL

RESUMO

Uma das formas de se otimizar ambientes de produção animal é mediante a compreensão dos fatores bioclimáticos que são prejudiciais aos animais, como por exemplo, temperaturas e umidades elevadas, ausência da movimentação do ar, ou até mesmo longas exposições à radiação solar. Dentre as técnicas aplicadas atualmente para se medir e analisar fatores bioclimáticos, a grande maioria exige dos produtores e pesquisadores conhecimentos técnicos elevados, além de não permitir que um determinado ambiente seja avaliado de forma rápida (e.g., no próprio local de coleta de dados). Deste modo, este trabalho foi conduzido com o objetivo de desenvolver um sistema capaz de coletar medidas de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa, de forma a interagir com o aplicativo móvel *Aurora*, possibilitando assim a criação de mapas de variabilidade espacial de temperatura do ar e de índices de conforto térmico animal. O sistema foi desenvolvido por meio da criação de seis dispositivos de transmissão de dados e um dispositivo de recepção, utilizando-se: i. sensores de temperatura do ar e de umidade relativa, do tipo AM2302; ii. transceptores de rádio frequência de 2,4 GHz (*nRF24L01*), para comunicação e envio de dados; iii. microcontroladores de código aberto Atmega328, *Arduino Nano*. O sistema foi validado perante análises da variabilidade espacial de medidas de temperatura do ar T_a e dos índices de conforto térmico *ITGU* e *ITU*, em galpão de aves de corte durante o período de seis semanas. Os resultados obtidos demonstraram que o sistema apresenta correto funcionamento e permite que análises preliminares de conforto térmico de animais sejam realizadas no próprio local de coleta de dados. Durante o período de validação foram criados 48 mapas, considerando os períodos de máxima e mínima, e as medidas de T_a , *ITGU* e *ITU*. Ao longo das medições os mapas possibilitaram a identificação de regiões com condições de conforto, desconforto e estresse térmico (pelo frio e pelo calor), com atenção especial para as duas últimas semanas das aves, na qual houve uma intensificação das condições de estresse térmico pelo calor em toda a área de coleta, segundo o índice *ITU*. A integração entre os dispositivos eletrônicos e o aplicativo móvel *Aurora* viabilizou o desenvolvimento de um sistema capaz de analisar as condições de conforto térmico animal *in loco*. Os mapas de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico permitem que produtores e pesquisadores tenham em mãos uma ferramenta para avaliações do bem-estar de aves, bovinos e suínos, de alta portabilidade, tornando assim o processo de otimização dos sistemas produtivos mais eficiente.

Palavras-chave: Bem-estar. Índices de conforto térmico. Mapas temáticos. Microcontroladores. Variabilidade espacial.

ABSTRACT

One of the ways to optimize animal production environments is through the comprehension of the bioclimatic factors that are harmful to the animals, for instance, elevated temperatures and humidity, absence of air circulation, or even prolonged exposure to solar radiation. Among the techniques currently applied for measuring and analyzing bioclimatic factors, the vast majority demands that the producers and researchers have high level technical skills. In addition to that, those techniques hinder the rapid evaluation of certain environments (e.g. in the data collection site). Thus, this work was conducted with the objective of to develop a system capable of collecting air temperature measurements, black globe temperature and relative humidity, in order to interact with a mobile app, enabling the in loco creation of maps with spatial variability of the air temperature and indexes of thermal animal comfort. The system was developed by means of the creation of six devices of data transmission and one reception device, using: i. sensors of air temperature and relative humidity, of the AM2302 kind; ii. 2,4 GHz radio frequency transceivers (nRF24L01), for communication and data transmission; iii. Open source microcontrollers Atmega328, Arduino Nano. The system was validated by analyzing the spatial variability in T_a air temperature measurements and the $ITGU$ and ITU thermal comfort indexes in broiler sheds, along six weeks. The results obtained demonstrated that the system presents correct operation and allows preliminary analysis of thermal animal comfort to be performed on site. During the validation period a total of 48 maps were created, considering the periods of maximum and minimum temperature, and the T_a , $ITGU$ and ITU measurements. Throughout the measurements the maps allowed the identification of regions with conditions of comfort, discomfort and thermal stress (both by heat and cold), paying close attention to the birds over the last two weeks, in which there was an intensification of the thermal stress conditions all over the collection area, according to the ITU index. The integration between the electronic devices and the app *Aurora* enabled the development of a system capable of analyzing the conditions of thermal comfort of animals in loco. The maps of air temperature and thermal comfort indexes allow the producers and researchers to have, at hand, a highly portable tool for evaluating the well-fare of birds, bovine and swine. Therefore, making the process of enhancement of production of production systems more efficient.

Keywords: Microcontrollers. Spatial variability. Thematic Maps. Thermal comfort indexes. Welfare.

2.1 INTRODUÇÃO

O comportamento animal e sua produtividade estão diretamente associados às condições climáticas de um ambiente (SCHÜLLER, BURFEIND e HEUWIESER, 2014; BOHLOULI et al., 2013; HIGASHIYAMA et al., 2013; BAÊTA E SOUZA, 2010; NIENABER E HAHN, 2004; GATES ET AL., 1991). Uma das formas de otimizar um sistema produtivo é compreender os fatores que são prejudiciais ao processo natural de produção animal, como por exemplo, temperatura e umidade relativa elevadas, ausência da movimentação do ar ambiente, ou até mesmo longas exposições à radiação solar. A compreensão e quantificação dos fatores bioclimáticos que reduzem a eficiência produtiva e são nocivos à saúde dos animais, permitem obter um desempenho produtivo de qualidade, além de prevenir problemas graves de saúde. Essa quantificação pode ser realizada mediante os mapas de variabilidade espacial. Porém, as técnicas e processos atuais para obtenção de análises da variabilidade espacial de dados meteorológicas ou de índices de conforto térmico, exigem longos períodos de coleta de dados e posterior organização das medidas coletadas em *softwares* específicos. Assim, faz-se necessário que o pesquisador ou produtor tenha conhecimentos suficientes para manipulação de todas as ferramentas que envolvem o processo, tanto a nível de *hardware*, como de *software*. Considerando o uso dos mapas para o propósito de avaliação exposto, sabe-se que os trabalhos atuais voltados ao estudo dos fatores bioclimáticos de instalações, ou mais especificamente das condições de bem-estar de animais, têm como fundamento o uso de técnicas de interpolação cujo processo baseia-se na hipótese de uma dependência espacial das variáveis (MOLIN, AMARAL E COLAÇO, 2015; ISAAKS E SRIVASTAVA, 1989). Ao longo dos anos, diferentes métodos de interpolação foram aplicados em procedimentos geoestatísticos para avaliar a distribuição espacial de medidas de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura de globo negro (APAYDIN, SONMEZ AND YILDIRIM, 2004).

Trabalhos como os de Saraz et al. (2017); Queiroz et al. (2017); Morgado, Talaia e Teixeira (2017); Coelho et al. (2015); Nazareno et al. (2015); Ponciano et al. (2013), demonstram que o processo de avaliação da variabilidade espacial dos índices de conforto e de medidas meteorológicas, em sua maioria, vem sendo realizado por meio do uso de sensores, dispositivos de armazenamento de dados (*data loggers*) e de *softwares* específicos para criação de mapas temáticos (e.g.,

Surfer, *Matlab*, *GS+*). Em suma, tem-se uma prévia configuração dos dispositivos de armazenamento e sensores (início de gravação, intervalos de leitura e medidas a serem coletadas), a instalação dos dispositivos no ambiente e a transferência dos dados para um computador pessoal. O sistema sugerido possibilita que pesquisadores e produtores consigam realizar pequenas análises das condições de bem-estar animal no próprio local de coleta de dados. Considerando que os dispositivos que compõem o sistema permitem uma integração com o aplicativo móvel *Aurora*, a portabilidade é uma das características que difere o sistema das demais ferramentas disponíveis para estudos semelhantes. Outro aspecto importante é a utilização de uma plataforma eletrônica de fácil uso, baixo custo e *open-source*.

Assim, esse trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um sistema baseado na integração com o aplicativo móvel *Aurora*, capaz de medir variáveis meteorológicas visando a criação de mapas de variabilidade espacial da temperatura do ar e de índices de conforto térmico animal.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Sistema de leitura e transmissão de dados

O sistema de leitura e transmissão de dados foi desenvolvido com o objetivo de oferecer a melhor usabilidade possível, tanto para pesquisadores, como para pequenos produtores. O sistema é dividido em três componentes, 1. dispositivos de transmissão; 2. módulo receptor e 3. aplicativo para sistemas *Android*. Os dispositivos de transmissão são componentes eletrônicos que possuem sensores de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa; esses dispositivos têm a função de realizar a medição de variáveis meteorológicas e de servirem como pontos conhecidos em uma malha imaginária determinada pelo operador. Essa malha imaginária nada mais é do que a configuração da distribuição espacial dos dispositivos, podendo ser de forma equidistante (todos espaçados igualmente) ou aleatória (cada dispositivo colocado em um local qualquer do ambiente). Os dispositivos de transmissão atuam de forma contínua no ambiente, realizando as medições a cada dois segundos. Outra função desses componentes é o envio dos dados para o módulo receptor, no mesmo intervalo programado para leitura das variáveis meteorológicas. Os dados são enviados de forma ordenada para o módulo receptor. A ordem de envio dos *bytes* que formam os valores decimais de T_a , T_g e UR

são fundamentais para que, posteriormente, o aplicativo *Aurora* consiga receber os dados e executar as funções específicas para construção dos mapas de distribuição espacial. Esses componentes, os dispositivos de transmissão, possuem um transceptor de 2,4 GHz de um único chip com um mecanismo embutido de protocolo *baseband* (*Enhanced ShockBurst™*), adequado para aplicações sem fio de baixa potência (NORDIC, 2007).

Durante o processo contínuo de leitura e envio dos dados meteorológicos pelo transmissor, o módulo receptor é o componente responsável por receber e reunir esses dados a fim de submetê-los ao aplicativo *Aurora*. Semelhantemente ao dispositivo de transmissão, o módulo receptor é um componente eletrônico que além de um transceptor possui também um módulo de comunicação *Bluetooth*, responsável pelo envio dos pacotes de *bytes* para o aplicativo. O módulo receptor também dispõe de um funções de execuções contínuas que envia os pacotes de dados a cada dois segundos. Para o funcionamento correto dos componentes, os dispositivos de transmissão necessitam de uma bateria de 5 V, de no mínimo 9600 mAh. Já o módulo receptor deve funcionar em uma fonte DC de 9 V. Em ambos os dispositivos há um microcontrolador de plataforma eletrônica *open-source*, baseado em *hardware* e *software* do tipo *easy-to-use* – Arduino. Nas Figuras 1 e 2 são exibidos os fluxogramas dos dispositivos de transmissão e do módulo receptor, respectivamente.

Figura 1 – Fluxograma do algoritmo dos dispositivos de transmissão

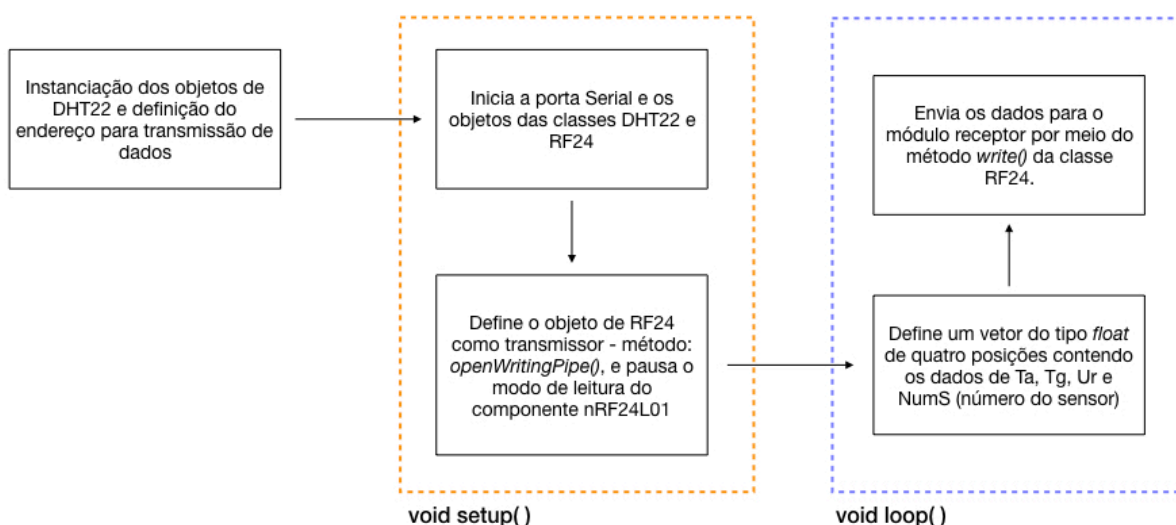
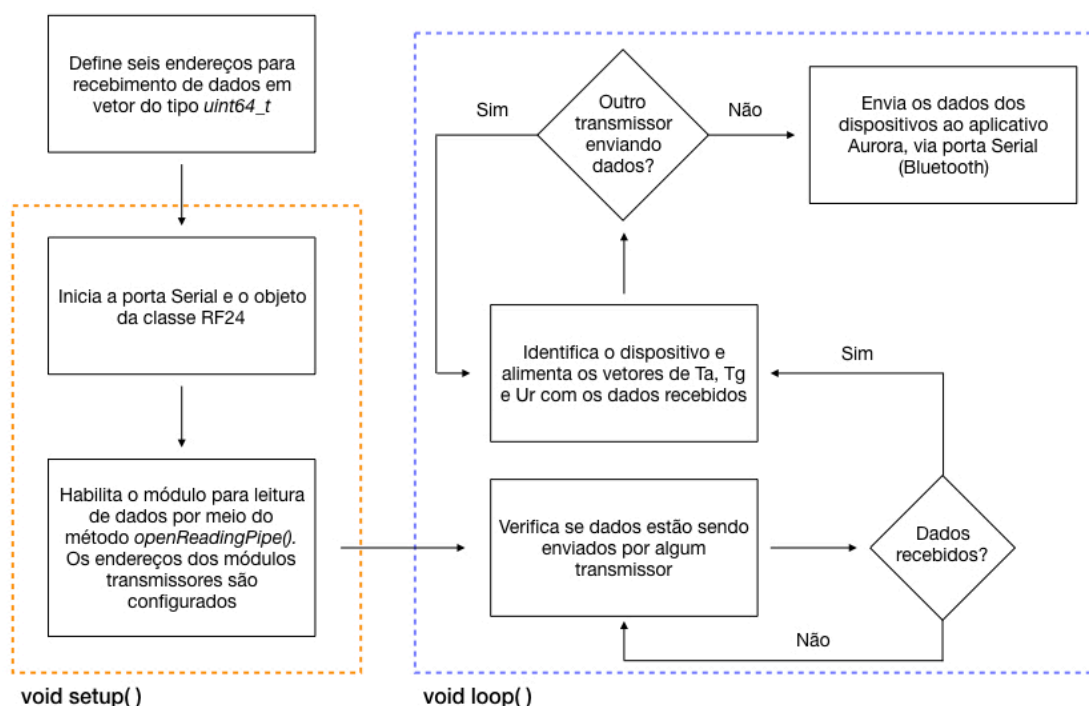


Figura 2 – Fluxograma do algoritmo do dispositivo de recepção



Fluxograma: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Por fim, o sistema é constituído por seis dispositivos de transmissão e um módulo receptor, além do aplicativo *Aurora* para dispositivos móveis *Android*. O número de transmissores foi adotado tendo como base o custo/benefício que essa quantidade de pontos pode oferecer ao pesquisador ou pequeno produtor. Em estudos de monitoramento da variabilidade espacial de T_a , UR e índices de conforto térmico de animais, como os de Thom (1959), Buffington et al. (1981), Buffington et al. (1983) e Tao e Xin (2003), encontram-se variados números de sensores para diferentes métodos geoestatísticos de interpolação, compreendendo que quanto maior o número de pontos conhecidos melhor é a aproximação do mapa interpolado com os dados reais do ambiente. No trabalho de validação do aplicativo *Aurora* de Oliveira Júnior et al. (2019) é possível observar um bom desempenho do método *IDW* em diferentes distâncias entre pontos conhecidos para três e quatro sensores em um galpão de aves de corte de 45,5 m x 7,75 m. Assim, entende-se que seis dispositivos são suficientes para configurar diferentes *layouts* em ambientes com dimensões semelhantes. Outro fator determinante do número de dispositivos de transmissão (pontos conhecidos) do sistema foi a capacidade de recebimento simultâneo de dados pelo componente de transmissão nRF24L01, limitado ao recebimento simultâneo de até 6 módulos.

2.2.2 Dispositivo de transmissão

Os dispositivos de transmissão foram desenvolvidos a partir do microcontrolador Arduino Nano V3.0 Atmega328, que trabalha com uma tensão de operação de 5 V e tensão de entrada de 7 – 12 V, 32 KB de memória flash (sendo 2 KB utilizados pelo *bootloader*), velocidade de *clock* de 16 MHz, 8 portas analógicas de entrada, 22 portas digitais de entrada (sendo 6 de PWM), EEPROM de 1 KB e consumo de energia de 19 mA (ARDUINO, 2019). O microcontrolador é o componente principal dos dispositivos, responsável pela alimentação e programação dos demais periféricos que compõem os transmissores.

Além do microcontrolador, os dispositivos de transmissão contêm três sensores, sendo eles de: temperatura do ar (T_a , °C), temperatura de globo negro (T_g , °C) e umidade relativa do ar (UR , %). Para tais medidas foi utilizado o sensor AM2302, ou também conhecido como DHT22 (AOSONG, 2019), que possui um termistor do tipo NTC para medições de T_a e um elemento capacitivo para medições de UR . Apresenta resolução de $\pm 0,5$ °C (máxima de $\pm 1,0$ °C), sob escala de operação entre -40 °C e 80 °C. Resolução de $\pm 2 - 5$ % para UR , com escala de operação de 0 – 100 %. Opera sob tensão DC de 3,3 – 5,5 V (recomendo: 5 V), com um consumo de energia médio de 300 μ A.

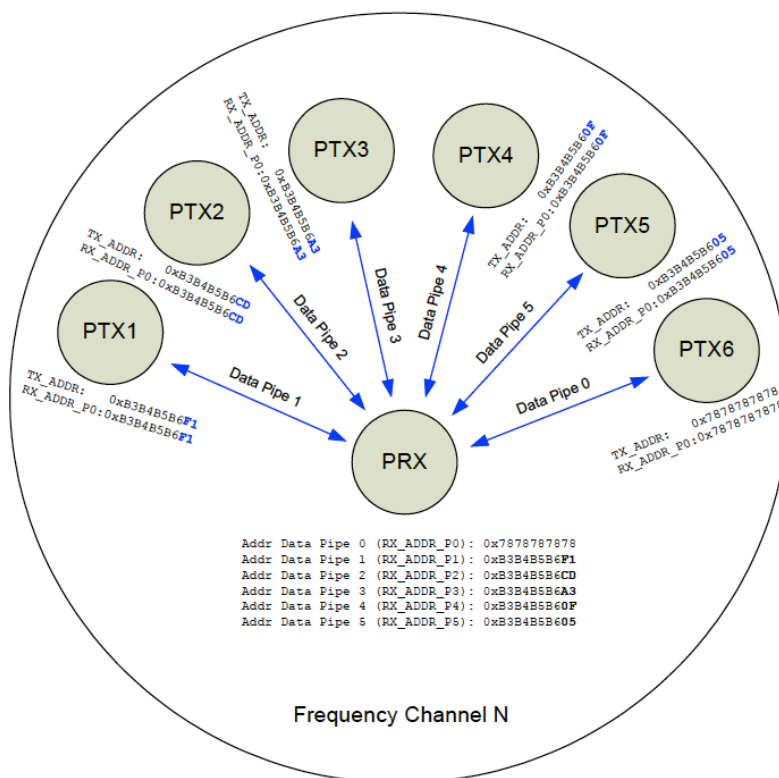
O sensor AM2302 apresenta 4 pinos de conexão, sendo: 1. VDD (3,3 – 5,5 V); 2. SDA (dados seriais – porta bidirecional); 3. NC (nulo) e 4. GND. Para a medida de temperatura de globo negro (T_g , °C), um segundo sensor do tipo AM2302 foi inserido no interior de uma esfera oca de cloreto de polivinila pintada de preto fosco, conforme Souza et al. (2002). A esfera possui diâmetro de 36 mm e espessura de 0,5 mm.

Enfim, o terceiro componente eletrônico utilizado no dispositivo de transmissão foi o módulo nRF24L01 (NORDIC, 2007). Este é um transceptor de rádio frequência de 2,4 GHz de um único chip, com um mecanismo embutido de protocolo *baseband* (*Enhanced ShockBurst™*), adequado para aplicações sem fio de baixa potência. Opera sob tensão de 3 – 3,3 V e em modos RX (receptor) e TX (transmissor). Possui alcance máximo de envio de dados de até 10 m em ambiente interno e 100 m em campo aberto. Os modos RX e TX permitem que o componente atue tanto como transmissor, como receptor; nesse caso, para os dispositivos de transmissão, o módulo foi programado para somente enviar dados. Dessa forma, cada dispositivo foi

programado com um endereço exclusivo de transmissão de pacotes de dados, do tipo `uint64_t` (tipo de variável inteira de 8 bytes, ou 64 bits), o qual lhe permite submeter dados de forma simultânea aos outros transmissores preservando a integridade dos dados. O protocolo de transmissão utilizado pelo nRF24L01 é o SPI – *Serial Peripheral Interface*; este é um protocolo *full-duplex* de comunicação síncrona, com modos de operação *master* (mestre) e *slave* (escravo). Tanto no modo *master*, como no *slave*, a comunicação pode ser realizada com velocidade de até 3 Mbit/s (CALCUTT, COWAN e PARCHIZADEH, 2003). Este tipo de interface de comunicação possui quatro pinos: SPICLK, MOSI, MISO e SS; sendo assim, os dados são enviados do *master* ao *slave* através do pino MOSI (*master out slave in*), e do *slave* ao *master* pelo pino MISO (*master in slave out*).

Os endereços utilizados nos canais de dados dos dispositivos de transmissão foram, respectivamente: 0x7878787878, 0xB3B4B5B6F1, 0xB3B4B5B6CD, 0xB3B4B5B6A3, 0xB3B4B5B60F e 0xB3B4B5B605. Na Figura 3 é apresentada uma ilustração do padrão de configuração entre os dispositivos transmissores e um módulo receptor, utilizando o nRF24L01.

Figura 3 – Padrão de configuração e esquema de comunicação, utilizando os módulos nRF24L01, sendo: PTX (transmissores) e PRX (receptor)



2.2.3 Módulo receptor

O módulo receptor é fundamental para a correta execução do processo de comunicação entre os dispositivos de transmissão e o aplicativo *Aurora*. Este componente foi desenvolvido a fim de criar uma ponte de envio e recebimento de dados, nesse caso, entre os dispositivos de transmissão e o *Aurora*.

O módulo receptor, semelhantemente aos dispositivos de transmissão, foi desenvolvido mediante um microcontrolador Arduino Nano V3.0 Atmega328, um transceptor de rádio frequência de 2,4 GHz de um único chip – módulo nRF24L01, e um módulo *Bluetooth* BC 417 HC-05 (AOSONG, 2019). O BC 417 HC-05 opera sob tensão de 3,3 V com um alcance máximo de 10 m, possui 5 pinos de conexão, sendo: 1. VCC (5 V); 2. GND; 3. TXD (pino de envio de sinal serial *Bluetooth*); 4. RXD (pino de recebimento de sinal serial *Bluetooth*) e 5. KEY (opção de troca de entrada). A medida em que os dados são recebidos pelo módulo receptor, o mesmo os envia em intervalos de seis segundos ao aplicativo *Aurora*.

2.2.4 Calibração dos sensores AM2302

Os sensores AM2302 foram previamente calibrados por meio do método linear $y = A + Bx$, para A como coeficiente linear e B coeficiente angular, utilizando-se como referência o sensor de temperatura e umidade relativa do ar HC2S3-L (CAMPBELL, 2020). Os *data loggers* HOBO U12-013 e o sensor de referência HC2S3-L foram colocados em condições de bancada em ambiente interno, similar as condições experimentais. Foram calibrados doze sensores AM2302 a partir do sensor referência em condições semelhantes às experimentais, durante um intervalo de treze dias de coleta. Por fim, aproximadamente 2800 dados de T_a e UR foram utilizados para geração dos fatores de calibração. A verificação da eficácia dos fatores de calibração se deu pela aplicação das funções nas medidas de T_a e UR dos últimos três dias de coleta, permitindo uma visualização das correções em relação ao sensor referência.

2.2.5 Validação do sistema

O processo de validação do sistema foi realizado por meio da análise da variabilidade espacial das medidas de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico *ITGU* e *ITU*, em um galpão de aves de corte localizado em uma fazenda da

região de Pardinho/SP, Brasil, no período de inverno do ano de 2019. O local está próximo ao município de Botucatu/SP, cujo o verão é longo, morno, abafado, com precipitação e de céu quase encoberto; o inverno é curto, ameno e de céu quase sem nuvens (WEATHERSPARK, 2020). O galpão possui orientação Leste-Oeste, com processo construtivo em pilares de concreto; vedação em alvenaria com tijolo maciço (sem reboco); piso em concreto; fechamento do aviário em tela metálica (com peitoril de 0,40 m), tipo alambrado e cortina plástica. Para a cobertura, foi utilizado estrutura em madeira e telha de fibrocimento com 15% de inclinação. Durante o experimento foi utilizado forro plástico com pé-direito de 2,80 m. O galpão de aves de corte é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Galpão de aves de corte localizado em uma fazenda da região de Pardinho/SP; Interior do galpão contendo aves em sua primeira semana (A. e B.), região de expansão do galpão, conforme crescimento das aves (C.) e vista externa do galpão (D.)

A.



B.



C.



D.



O processo de medição foi realizado mediante a disposição de seis módulos de transmissão em duas regiões do galpão, consideradas áreas críticas devido a maior variação e/ou amplitude de temperatura do ar e de globo negro, e umidade relativa, ocasionada pela proximidade com o forno de aquecimento e vias de

ventilação momentânea (porta de entrada). Essas regiões foram chamadas de Área 1 e Área 2 (Figura 5), nas quais as coletas foram realizadas de forma subsequente. Os transmissores foram inseridos primeiramente na Área 1, e após o tempo de medição e envio dos dados para o módulo receptor, movidos para a Área 2. Para o recebimento dos dados o módulo receptor permaneceu próximo aos transmissores, respeitando os seus parâmetros de distância para efetivo recebimento de dados.

Figura 5 – Área de aplicação dos dispositivos de transmissão de dados com referência geográfica aproximada, contendo em cada área seis dispositivos (T_{R1} a T_{R6})

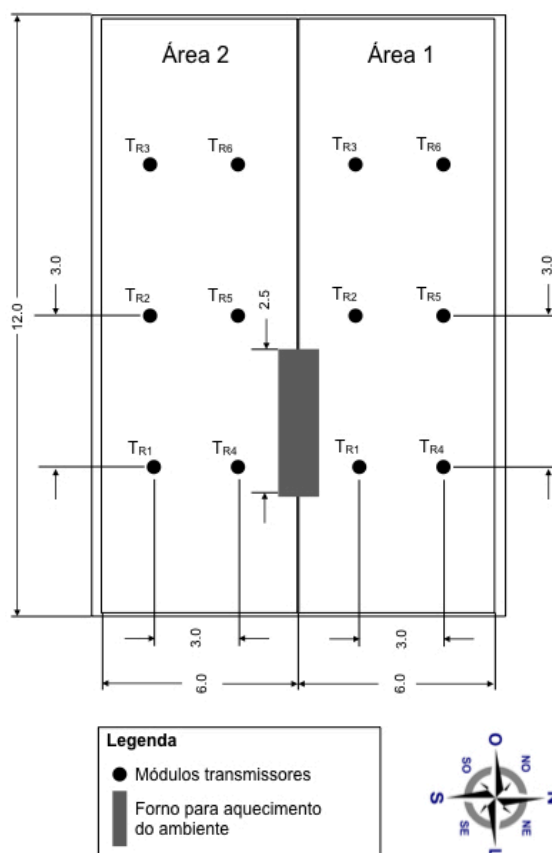


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Previamente à coleta dos dados, ao inserir os transmissores contendo os sensores de temperatura do ar (T_a), temperatura de globo negro (T_g) e umidade relativa (UR) nos locais de medição, os mesmos permaneceram, para fins de estabilidade, por aproximadamente cinco minutos nas áreas de leitura. Para cada área o aplicativo *Aurora* foi configurado para receber um volume de dados correspondente a um minuto, ou dez pacotes de dados contendo T_a , T_g e UR . A partir desses dados foram criados mapas de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico *ITGU* e *ITU*.

Os dados foram coletados durante um período total de seis semanas, sendo realizada a medição em um dia específico de cada semana. Desta forma, para a primeira semana, por exemplo, um dia da semana foi escolhido para instalação dos módulos de transmissão e coleta dos dados nas áreas críticas do galpão. Para o dia escolhido, dois momentos foram definidos para medição, sendo o de temperatura mínima e máxima do dia. Considerou-se a mínima do dia o horário entre 7h20 e 7h40 e máxima o das 15h20 a 15h40.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Dispositivos de transmissão e módulo receptor

A partir das especificações dos sensores e dos componentes eletrônicos necessários para o funcionamento das funções de medição e transmissão das variáveis meteorológicas, os dispositivos de transmissão foram construídos utilizando-se placa dupla face de fibra de vidro cobreada, na qual todos os componentes foram inseridos. Na Figura 6 é apresentado o esquema elétrico dos dispositivos de transmissão, com as devidas especificações de conexão e estrutura de montagem dos componentes.

Figura 6 – Esquema elétrico dos dispositivos de transmissão

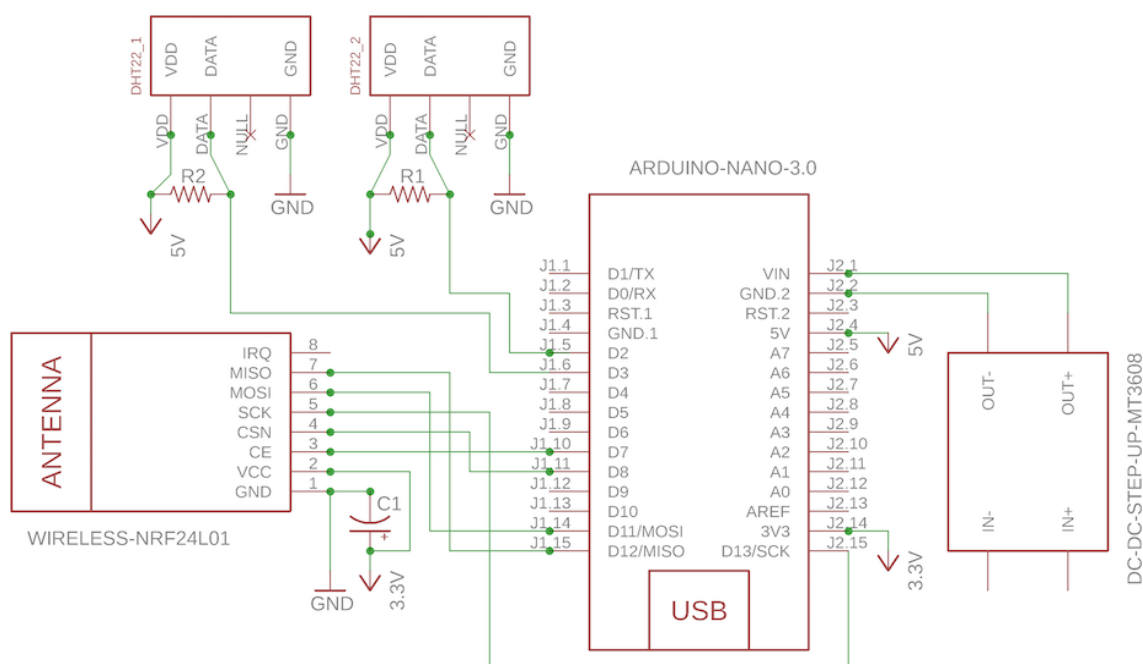
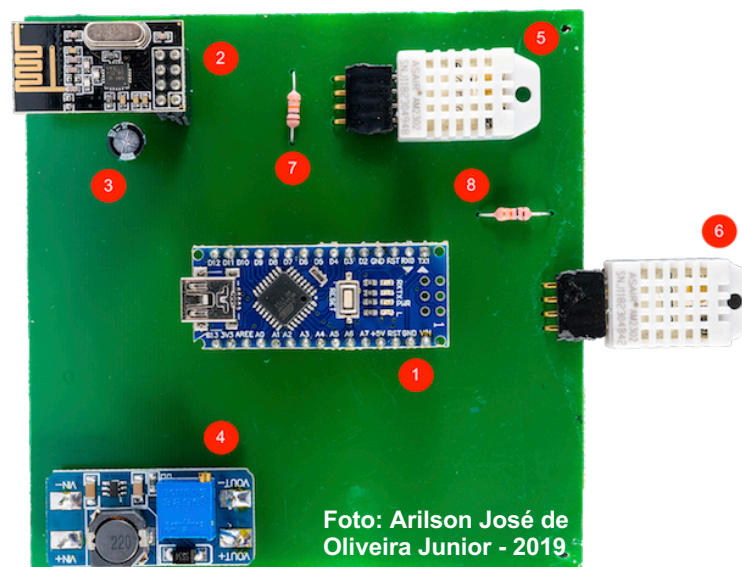


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Os dispositivos foram desenvolvidos baseados em uma estrutura modular, conforme Figura 7. Dessa forma, os componentes podem ser substituídos a qualquer momento sem qualquer tipo de trabalho de ajuste das conexões eletrônicas, que por sua vez, permitem a correta comunicação e funcionamento do componente em relação ao microcontrolador.

Figura 7 – Módulo transmissor em visão superior: (1) Arduino Nano 5V, (2) nRF24L01, (3) Capacitor 100 μ F, (4) Regulador de tensão ajustável MT3608 auto boost Step Up, (5, 6) Sensor de temperatura e umidade relativa AM2302 e (7, 8) Resistor de 10 K Ω (*pull up*)



O módulo receptor também foi desenvolvido utilizando-se placa dupla face de fibra de vidro cobreada. Na Figura 8 é apresentado o esquema elétrico do módulo.

Figura 8 – Esquema elétrico do módulo receptor

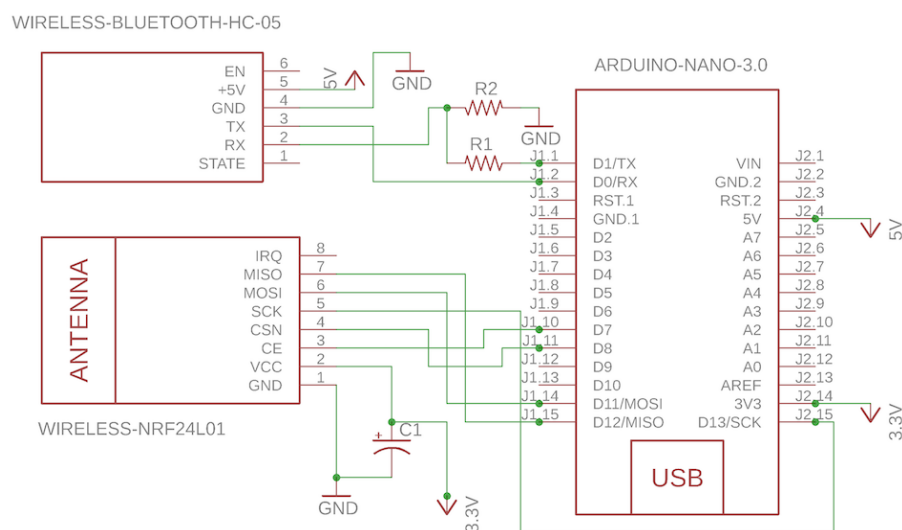
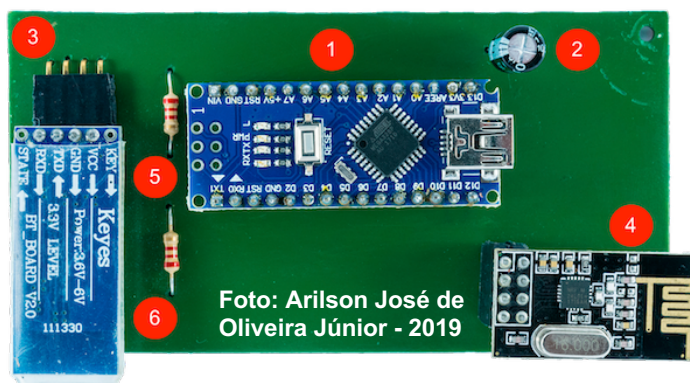


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Semelhantemente aos dispositivos de transmissão, o módulo receptor foi criado baseados em uma estrutura modular, conforme Figura 9.

Figura 9 – Módulo receptor em visão superior: (1) Arduino Nano 5 V, (2) Capacitor 100 μ F, (3) Bluetooth HC-06, (4) nRF24L01 e (5, 6) Resistor 2,2 K Ω (divisor de tensão)



Os circuitos impressos dos dispositivos de transmissão e do módulo receptor foram inseridos em uma estrutura termoplástica, construída a partir de filamento ABS *premium* branco polar, com densidade de 1,06 g/cm³, diâmetro de 1,75 ± 0,05 mm e temperatura de transição vítrea de 107 °C, impressa em impressora 3D. A estrutura foi criada a fim de oferecer maior usabilidade dos dispositivos durante a instalação dos mesmos em ambientes de coleta de dados.

2.3.2 Calibração dos sensores AM2302

A partir da disposição dos sensores de temperatura do ar e umidade relativa AM2302 em condições de bancada, utilizando-se como referência o sensor de temperatura do ar e umidade relativa HC2S3-L. Conforme mostram as Figuras 10 e 11, foram medidos aproximadamente 3700 dados de T_a e UR .

Figura 10 – Medidas de temperatura do ar do sensor HC2S3-L e dos sensores AM2302

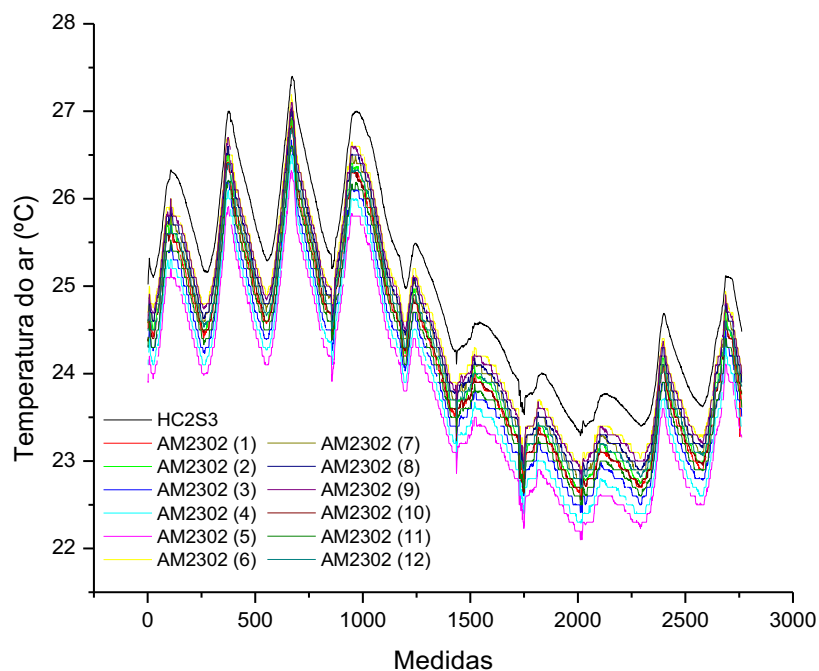


Gráfico: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Figura 11 – Medidas de umidade relativa do sensor HC2S3-L e dos sensores AM2302

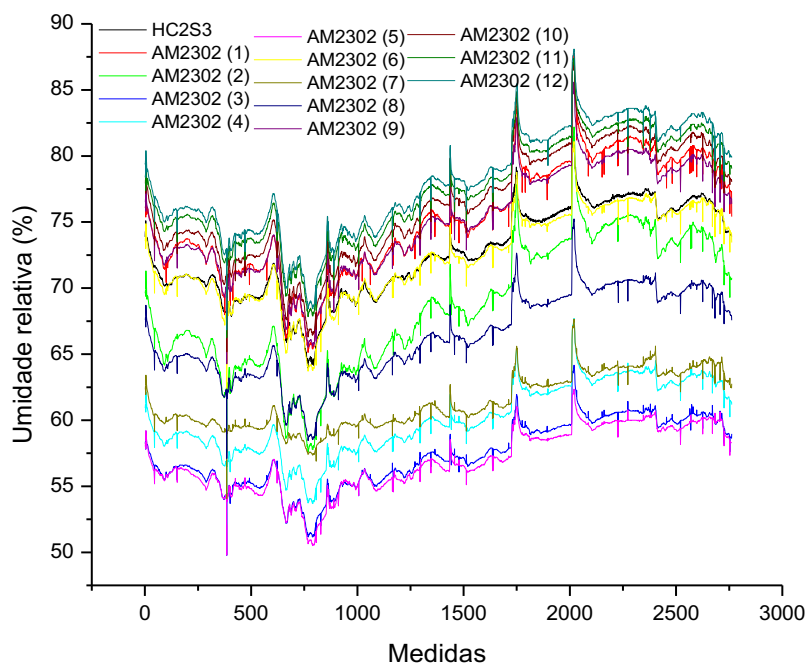


Gráfico: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Na Tabela 1 são exibidos os fatores de calibração obtidos pelo método de regressão linear baseado na função $y = A + Bx$, sendo y = sensor referência HC2S3-L.

Tabela 1 – Fatores de calibração para medidas de temperatura do ar (T_a , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) dos sensores AM2302, para $y = A + Bx$, sendo y = sensor referência HC2S3-L

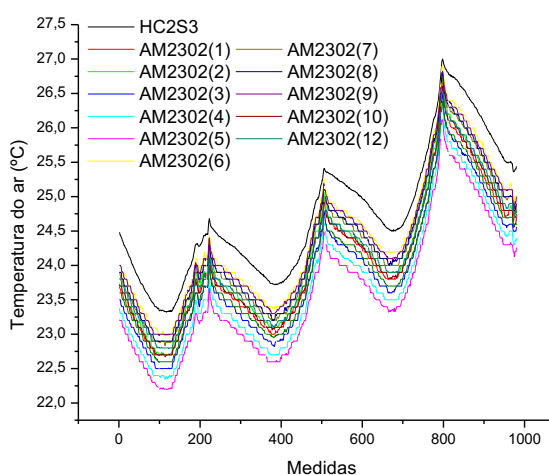
Sensores													
	AM_1	AM_2	AM_3	AM_4	AM_5	AM_6	AM_7	AM_8	AM_9	AM_{10}	AM_{11}	AM_{12}	
Temperatura do ar (°C)	A	0,717	0,549	0,494	1,187	0,946	0,333	0,507	0,487	0,323	0,662	0,293	0,049
	B	0,998	1,004	1,016	0,992	1,009	1,001	1,001	1,000	1,004	1,001	1,021	1,023
	R	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,999	0,999
	SD	0,089	0,084	0,081	0,075	0,066	0,067	0,068	0,067	0,063	0,064	0,049	0,047
Umidade Relativa (%)	A	12,729	24,314	-6,120	-4,613	-8,228	-0,551	-27,974	2,266	7,997	10,857	5,743	6,340
	B	0,795	0,703	1,372	1,284	1,419	1,011	1,639	1,060	0,861	0,808	0,864	0,848
	R	0,994	0,995	0,993	0,994	0,986	0,996	0,973	0,996	0,996	0,996	0,997	0,997
	SD	0,379	0,350	0,393	0,373	0,576	0,322	0,795	0,290	0,287	0,294	0,266	0,261

A: coeficiente linear, *B*: coeficiente angular, *R*: coeficiente de correlação e *SD*: desvio padrão.

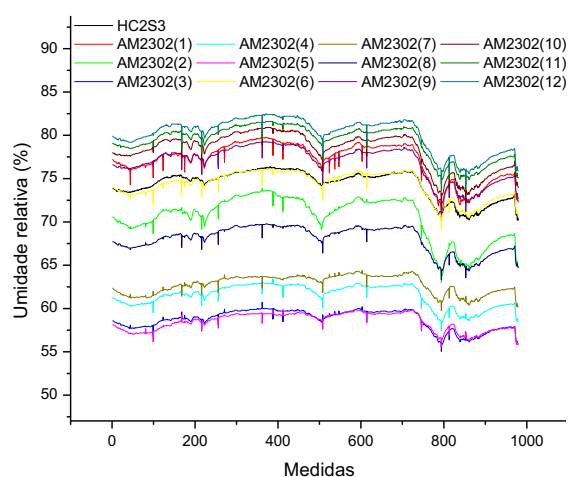
Observou-se que, para as medidas de temperatura do ar, os sensores AM2302 apresentaram uma subestimativa durante as medições. Já para as medidas de umidade relativa, alguns sensores realizaram subestimativas, enquanto que outros superestimaram os valores. Todavia, os valores superestimados e subestimados estavam de acordo com as especificações de variação do fabricante (T_a : máxima de $\pm 1,0\text{ }^\circ\text{C}$ e UR , entre 2 – 5%). Nas Figuras 12 (A. e B.), são apresentadas as medições realizadas nos últimos três dias de coleta e, nas Figuras 12 (C. e D.), as medidas após a aplicação dos fatores de calibração.

Figura 12 – Medidas de T_a (A.) e Medidas de UR do sensor referência HC2S3-L e dos sensores AM2302 (B.), sem aplicação da função de calibração; Medidas de T_a (C.) e Medidas de UR com aplicação das funções de calibração (D.)

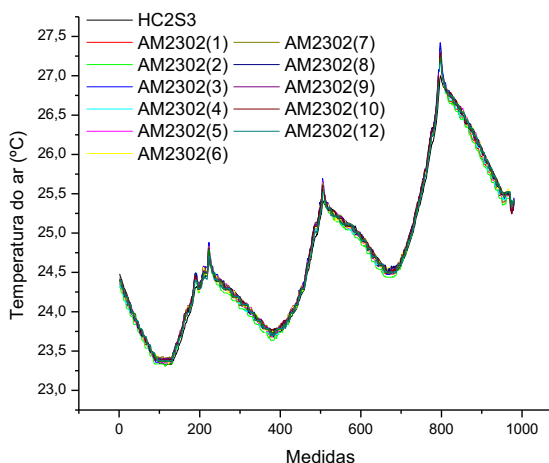
A.



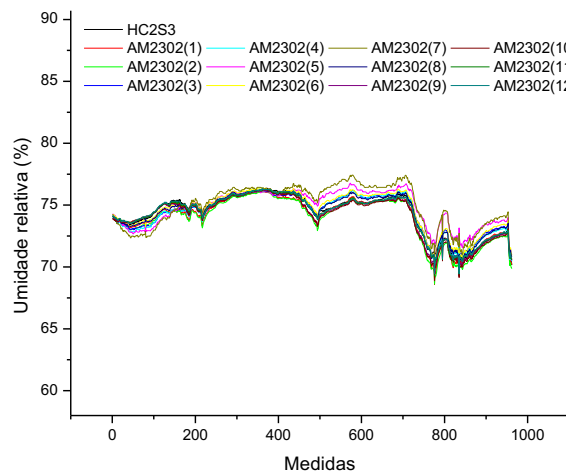
B.



C.



D.



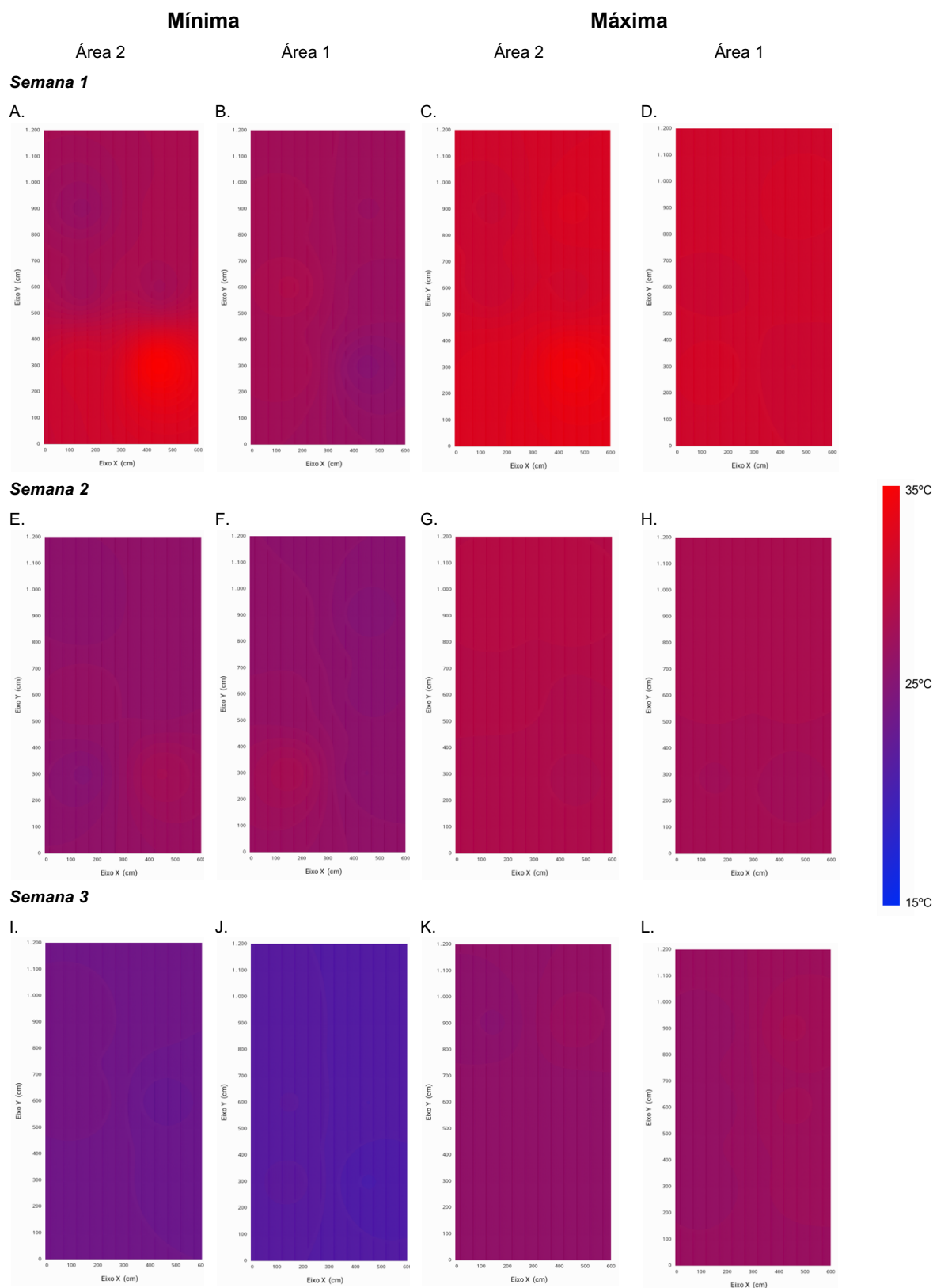
2.3.3 Variabilidade espacial de T_a , $ITGU$ e ITU em galpão de aves de corte

Tendo em vista o processo de validação do sistema desenvolvido, visando a análise do conforto térmico de animais mediante interpolação de dados, a primeira etapa de verificação do correto funcionamento dos dispositivos eletrônicos, juntamente com o aplicativo *Aurora*, foi realizada na medição da temperatura do ar durante o período de seis semanas. Segundo os parâmetros metodológicos, duas áreas (6 x 12 m) do galpão foram utilizadas para leitura dos dados em dois períodos do dia (mínima e máxima do dia). Verificou-se as condições térmicas de aproximadamente 16 mil aves de corte durante esse período, no qual pode-se avaliar as condições de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico $ITGU$ e ITU .

Na Figura 13, são apresentados os mapas de temperatura do ar das semanas 1, 2 e 3. Durante o período de mínima da primeira semana (Figura 13 A e B) as temperaturas se mantiveram por volta dos 28 °C, no qual vale destacar a região próxima ao transmissor 4 da área 2 (canto inferior direito), que obteve temperaturas próximas aos 34 °C, devido à proximidade com o forno de aquecimento do ambiente. Pode-se observar que nessa região a densidade dos animais era muito baixa. Para a segunda semana, houve uma discreta diminuição da temperatura, para aproximadamente 25 °C em ambas as áreas (Figura 13 E e F), havendo maior homogeneidade nessa região, além de estar de acordo com a temperatura recomendada para as aves dessa idade. Ainda no período de mínima, a terceira semana apresentou temperaturas mais inferiores, próximas aos 22 °C (Figura 13 I e J). Houve uma pequena abertura na cortina do lado direito da área 1, para ventilação do galpão. Pode-se notar uma temperatura levemente mais alta na área 2, devido à não abertura da cortina nessa área.

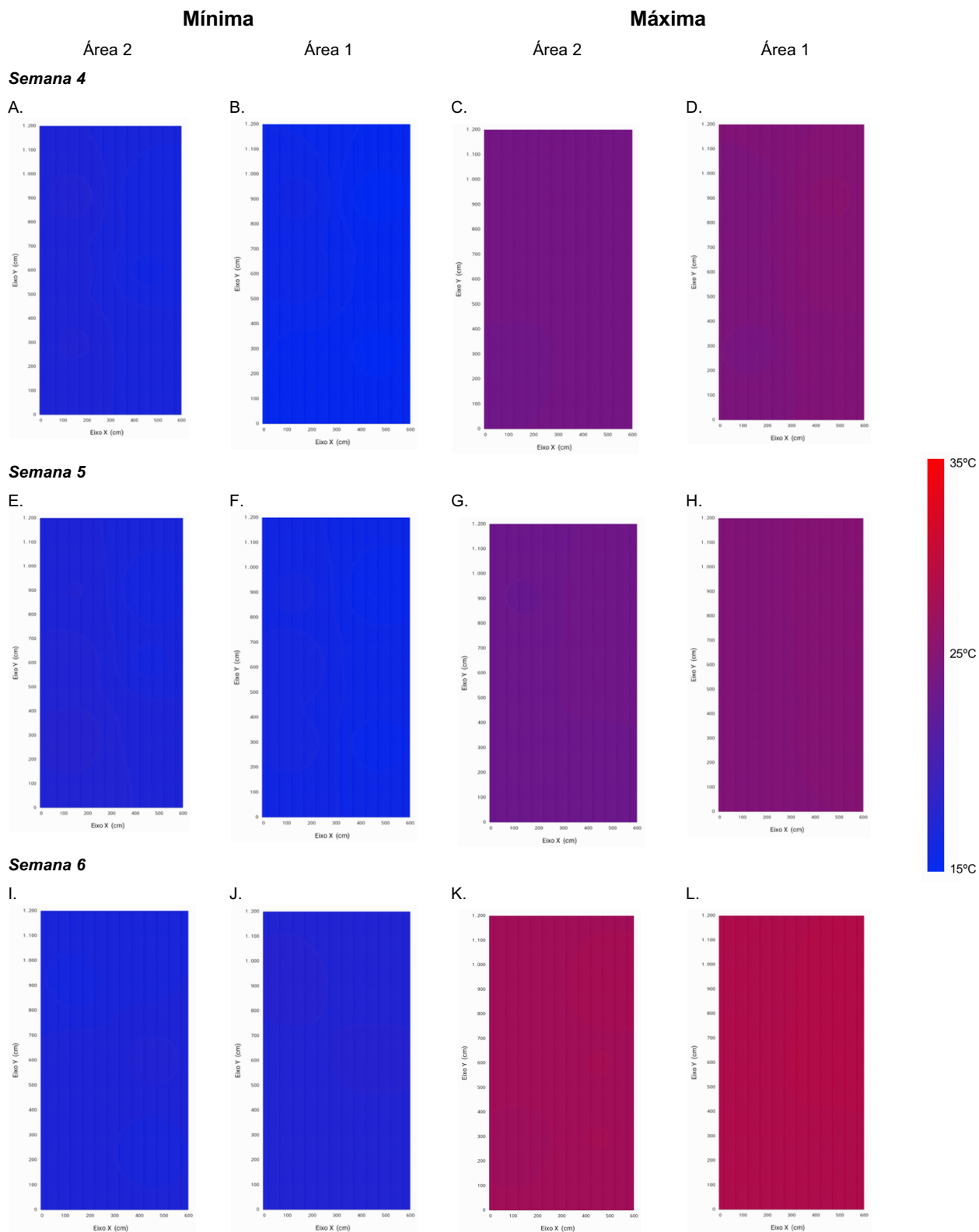
No período de máxima, o galpão apresentou medidas mais homogêneas, tornando o ambiente mais agradável devido à baixa amplitude térmica. Para a primeira semana as temperaturas se mantiveram próximas aos 31 °C (Figura 13 C e D). Já na segunda e terceira semana os valores foram de 27 e 28 °C (Figura 13 G, H, K e L). É possível observar uma pequena diferença nos sensores do lado direito da área 1 na terceira semana, devido a maior incidência solar nessa região.

Figura 13 – Mapas de temperatura do ar gerados pelo aplicativo *Aurora* dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 1, 2 e 3



Para as semanas seguintes (4, 5 e 6) a Figura 14 também exibe os mapas de temperatura do ar dos períodos de mínima e máxima para ambas as áreas.

Figura 14 – Mapas de temperatura do ar gerados pelos aplicativo *Aurora* dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 4, 5 e 6



A partir da quarta semana, as áreas apresentaram medidas de temperatura mais homogêneas, tanto no período de mínima como no de máxima. Durante a semana 4, em específico, houve uma queda na temperatura ambiente, resultando em uma temperatura no interior do galpão próxima aos 16 °C (área 1) e 18 °C (área 2) no período de mínima (Figura 14 A e B). Nessas condições, a ventilação do galpão foi reduzida, tendo em vista o controle da temperatura ideal para a idade das aves. No período de máxima a temperatura já obteve uma elevação significativa, com medidas de 25 °C em ambas as áreas (Figura 14 C e D). Na quinta semana as temperaturas ainda se mantiveram no mesmo padrão, com valores próximos a 17 °C (área 1 e 2, mínima) e 24 °C (área 1 e 2, máxima), com diferenças menores entre as áreas 1 e 2 (Figura 14 E, F, G e H). Na sexta semana a temperatura externa da região apresentou, em relação à quinta semana, elevação média de, aproximadamente, 3 °C para ambos os períodos (WEATHER, 2020). Para essas condições as cortinas do galpão permaneceram abertas e o uso dos ventiladores foi contínuo. Conforme apresenta a Figura 14 I e J, a temperatura no período de mínima foi de 18 °C, para o período de máxima os valores foram de 28 °C (área 1) e 27,5 °C (área 2) – Figura 14 K e L. Com valores mais elevados no canto superior direito da área 1 (sensor 6), devido à incidência solar nessa região.

Para as medições de temperatura do ar os dispositivos transmissores atuaram de forma eficaz em todo o processo de medição e envio dos dados para o aplicativo *Aurora*, permitindo assim que os mapas fossem criados em menos de dois minutos (considerando a pré-configuração do tamanho do ambiente e a disposição dos transmissores). A criação dos mapas de temperatura no próprio local de coleta permitiu que fossem observados alguns comportamentos das aves, como por exemplo, sua baixa densidade em determinadas regiões devido ao aumento da temperatura ou incidência solar – o que era possível visualizar de forma clara através do aplicativo *Aurora* (ex.: Figura 13 A). Da mesma maneira, durante as primeiras semanas foi possível observar onde as aves permaneciam mais aglomeradas, pois essas eram regiões mais aquecidas no mapa.

Tendo em vista a validação do sistema, foram avaliadas as condições de conforto térmico das aves, segundo os índices *ITGU* e *ITU*. Com isso, as aves de até três semanas de idade foram analisadas pelo índice *ITGU*, a partir das medidas de temperatura do ar, temperatura de globo negro e umidade relativa (Figura 15).

Figura 15 – Mapas de *ITGU* gerados pelo aplicativo *Aurora* dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 1, 2 e 3

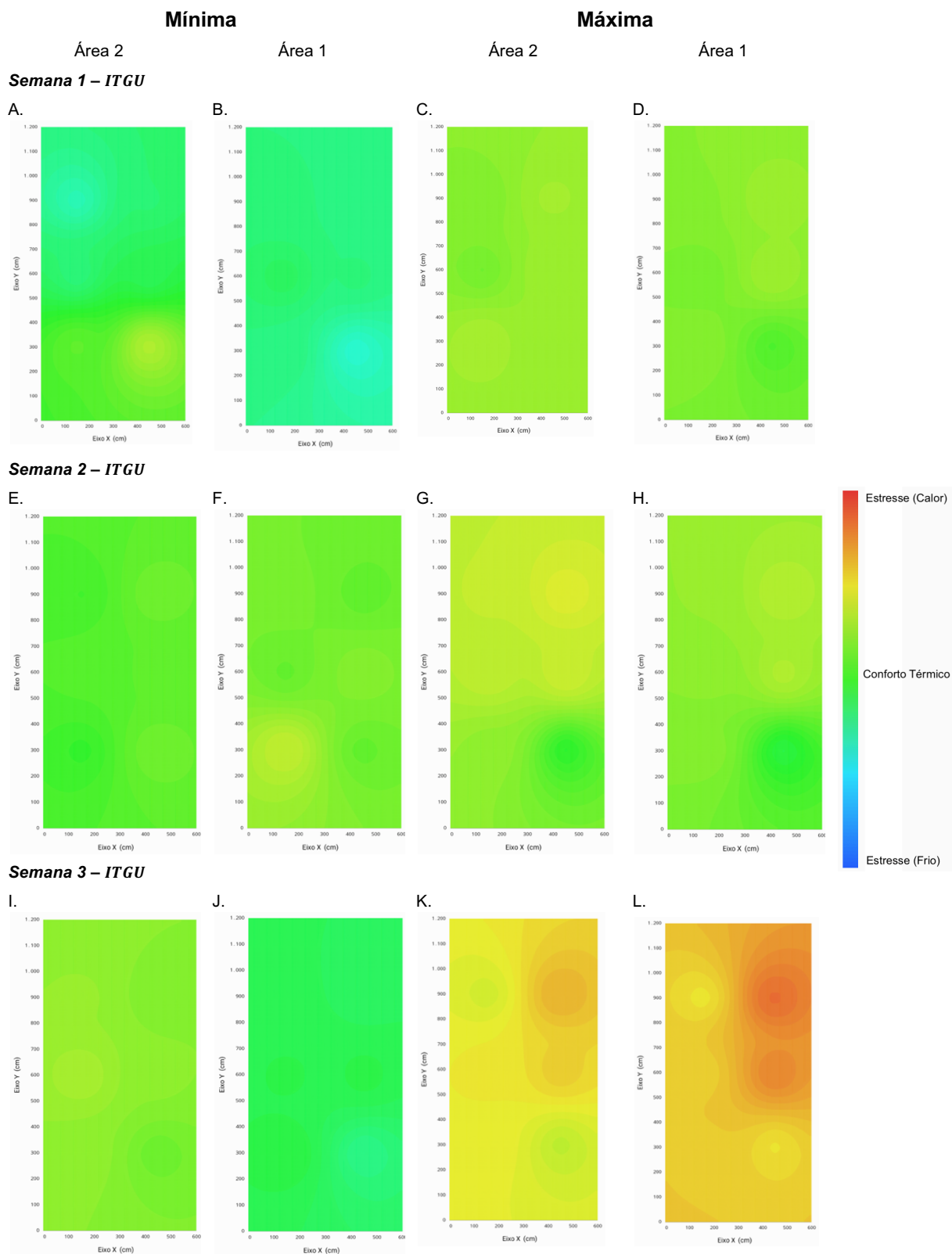
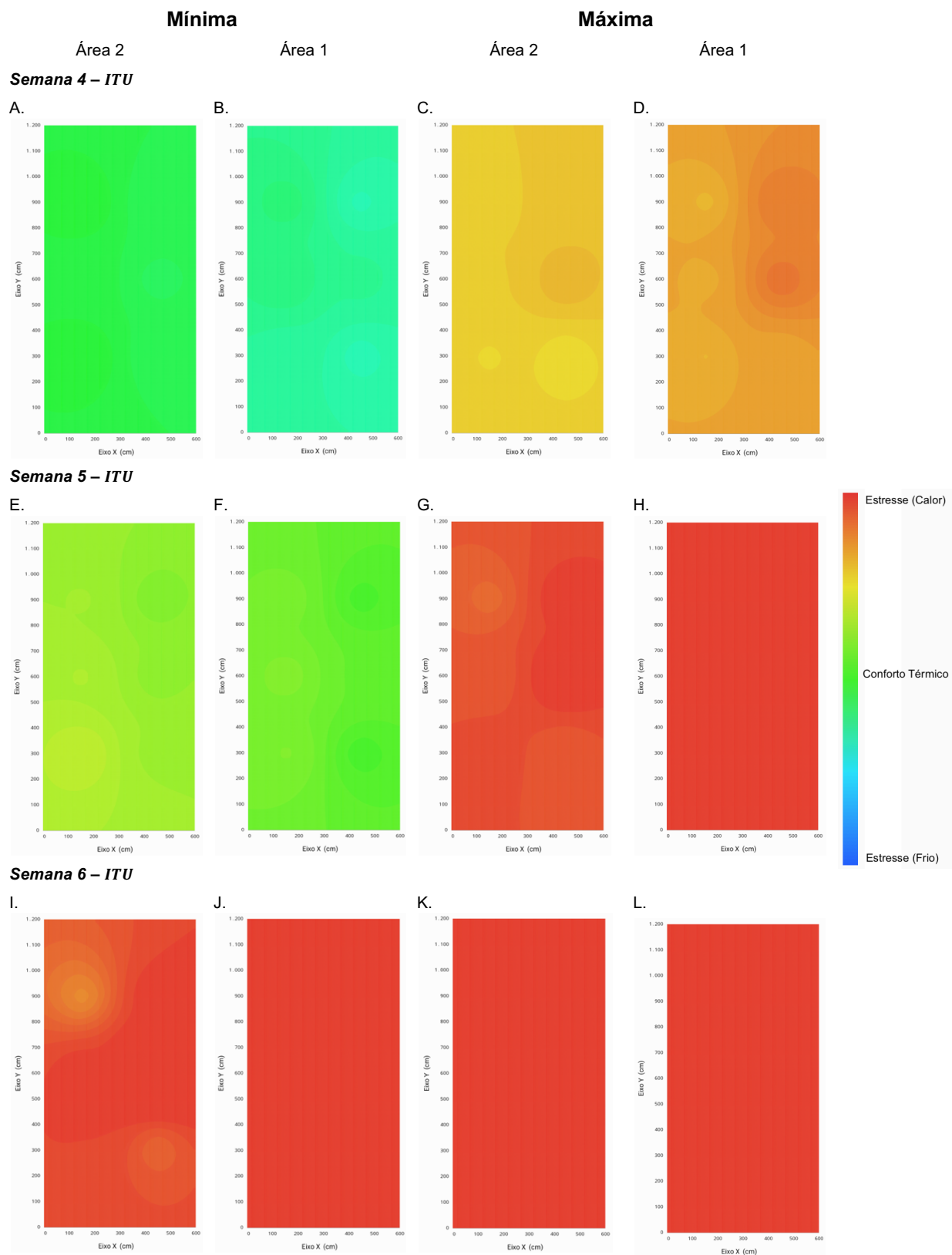


Figura: Arilson José de Oliveira Júnior - 2019

Os mapas de conforto térmico apresentam uma visão mais precisa do bem-estar das aves, permitindo ao produtor tomar decisões mais assertivas de manejo dentro do galpão. Pode-se observar que na primeira semana o canto inferior direito da área 1 (transmissor 4), apresentou condições de leve desconforto térmico pelo frio no período de mínima, pois esta era uma área próxima à porta de entrada do galpão – úmida e de temperatura mais amena (Figura 15 B). Já na área 2, o canto inferior direito apresentou condições de desconforto térmico pelo calor no mesmo período, pois o mesmo estava muito próximo ao forno de aquecimento – elevada temperatura do ar e de globo negro, e baixa umidade relativa (Figura 15 A). Para as áreas 1 e 2, no período de máxima (Figura 15 C e D), as condições foram de conforto térmico em toda a área. Na segunda semana, houve um pequeno ponto de desconforto térmico pelo calor na área 1 do período de mínima (transmissor 3, Figura 15 F), pois o forno ainda permanecia ligado, causando uma pequena amplitude térmica nessa região. Já na área 2 as condições foram de conforto térmico em todo o local (Figura 15 E). No período de máxima da mesma semana, o canto inferior direito (transmissor 4) da área 2 apresentou melhores condições de conforto térmico, devido à baixa umidade observada nesse ponto (Figura 15 G). Durante a terceira semana, houve conforto térmico em praticamente ambas as áreas do período de mínima (Figura 15 I e J), sendo observado pequenos pontos de desconforto térmico pelo calor na região lateral esquerda da área 2 (Figura 15 I), devido à menor circulação de ar nessa área por conta do fechamento da cortina lateral. Já no período de máxima da terceira semana, foi possível observar uma maior dificuldade em manter as condições climáticas homogêneas, tanto na área 1 como na área 2. Nesse período, nota-se que toda a área 1 apresentou condições de desconforto térmico pelo calor, com temperaturas do ar de globo negro próximas aos 27 °C e umidade relativa de 48 % (Figura 15 L). Nos sensores pertencentes aos transmissores 5 e 6 observa-se que as condições se mostraram próximas ao estresse térmico pelo calor, pois nessa região houve maior incidência de radiação solar. Para a área 2 (Figura 15 K), onde não houve regiões com incidência solar, esta apresentou condições um pouco mais confortáveis em relação à área 1.

Os mapas de conforto térmico das semanas 4, 5 e 6 são apresentados na Figura 16, a partir do índice *ITU*.

Figura 16 – Mapas de *ITU* gerados pelo aplicativo *Aurora* dos períodos de mínima e máxima, durante as semanas 4, 5 e 6



A partir da quarta semana, as condições térmicas do galpão começaram a apresentar maiores regiões de desconforto e estresse térmico pelo calor, que apesar do constante funcionamento dos atuadores (ventiladores e nebulizadores), o índice *ITU* considerou os parâmetros não apropriados para uma condição de conforto térmico, segundo a idade das aves. Para as primeiras medições da quarta semana (Figura 16 A e B) o ambiente demonstrou condições de conforto térmico durante o período de mínima, entretanto, no período de máxima (Figura 16 C e D), as regiões de desconforto e estresse térmico pelo calor começaram a aparecer em ambas as áreas. Na área 1, onde grande parte da região possui incidência solar nesse período, em todo o ambiente as condições foram de estresse térmico. Porém, na área 2 pode-se observar uma leve diminuição das temperaturas e menor estresse térmico, mas ainda com condições de desconforto térmico pelo calor. Durante a quinta semana, as condições foram semelhantes à da semana anterior no período de mínima (Figura 16 E e F), de conforto térmico em praticamente todas as regiões. Já no período de máxima o galpão começou a apresentar uma homogeneidade de estresse térmico pelo calor, conforme a Figura 16 G e H. Na área 2, ainda pode-se observar algumas regiões mais amenas, como nos transmissores 2, 3 e 4. Para a sexta semana, já no período de mínima, todo o ambiente estava em condições de estresse térmico (Figura 16 I e J). Novamente, somente alguns pontos apresentaram índices menores, como nos transmissores 3 e 4 da área 2 (Figura 16 I). Por fim, no período de máxima da sexta semana todo o galpão permaneceu em estresse térmico pelo calor, considerando o índice *ITU* e a idade das aves. Conforme os mapas de temperatura, apesar dos atuadores, as medidas atingiram os 29 °C, com umidade relativa de aproximadamente 50 %. As últimas semanas das aves (em específico, a quinta e sexta) foram as que apresentaram maiores condições de estresse térmico pelo calor. Apesar do uso constante dos ventiladores e nebulizadores, não foi possível manter o ambiente nas condições adequadas para a idade das aves, em termos de variáveis meteorológicas.

Ao avaliar o funcionamento dos dispositivos eletrônicos, considerando a operação dos transmissores no processo de leitura das variáveis meteorológicas e envio dos dados ao módulo receptor, e posterior conexão e envio do conjunto de dados ao aplicativo *Aurora* (através de tecnologia *wireless Bluetooth*), foi possível observar o funcionamento de todos os componentes que integram o sistema móvel desenvolvido. A princípio, os módulos transmissores foram os primeiros componentes

a serem observados, considerando serem estes os principais dispositivos do sistema, pois são responsáveis por manter o correto funcionamento dos sensores, além de garantir o envio dos dados de acordo com o algoritmo implementado em cada transmissor. Dessa forma, observou-se que o módulo nRF24L01 (transceptor de rádio frequência) apresenta uma limitação quanto ao alcance máximo de envio de dados, quando utilizado juntamente com outros módulos transceptores. Apesar da documentação do componente de transmissão prescrever um alcance máximo de envio de dados de até 10 metros em ambiente interno e de até 100 metros em ambiente aberto, ao trabalhar com o limite de módulos capazes de se comunicarem simultaneamente com um mesmo nRF24L01 em modo de recepção de dados, seu alcance é reduzido. Durante o processo de coleta de dados os transmissores apresentam sinais estáveis de comunicação com o módulo receptor para uma distância de até 16 metros. Assim, para um correto funcionamento do sistema móvel, deve-se manter o receptor não mais que 16 metros dos transmissores. O módulo receptor não apresentou quaisquer problemas de recebimento de dados ou conexão via *Bluetooth* com o aplicativo. Desde que mantidas as distâncias limites entre transmissores e receptor, os dispositivos realizam a leitura dos dados e se comunicam sem eventuais problemas de perda de pacotes de dados ou de reconhecimento entre o módulo transmissor e o receptor. Considerando os padrões definidos para disposição dos transmissores e dos intervalos de medidas para avaliar as condições de conforto térmico no galpão de aves, a criação dos mapas de temperatura do ar e dos índices de conforto térmico levou, em média, dois minutos para ser executada no aplicativo *Aurora*. Devido à necessidade de configuração da posição de cada sensor (transmissor) no ambiente, a criação do primeiro mapa necessita de um tempo de aproximadamente cinco minutos para ser realizada, entretanto na criação dos demais mapas para a mesma disposição dos transmissores a primeira média apresentada é suficiente (dois minutos).

Os resultados demonstraram que o sistema móvel desenvolvido permite criar mapas de temperatura do ar e de índices de conforto térmico de animais, como aves, bovinos e suínos, no próprio ambiente de coleta de dados e em um curto período de tempo. O uso de um aplicativo *Android* desenvolvido para uma completa integração com componentes eletrônicos de código aberto, demonstrou ser um diferencial da tecnologia apresentada. A ferramenta facilitou o processo de visualização das condições do ambiente e auxiliou em uma prévia atuação, visando o bem-estar dos

animais, mediante observação das condições do ambiente através da variabilidade espacial da temperatura do ar ou dos índices de conforto térmico. Trabalhos de avaliação do bem-estar animal em diferentes tipos de ambientes, como os apresentados por Barros, Rossi e Souza (2017), Nazareno et. al. (2015) e Ponciano et al. (2013), podem ser apoiados pelo sistema móvel desenvolvido, sendo esta uma ferramenta de fácil uso e instalação. Enfim, outra característica significativa dos componentes eletrônicos é o esquema de montagem modular, presente tanto no módulo receptor, como nos transmissores. Essa estrutura permite que manutenções sejam feitas facilmente nos principais componentes dos dispositivos (sensores e microcontroladores). Assim, aos usuários é permitido modificar os dispositivos de forma a substituir os sensores e microcontroladores com problemas aparentes, além de possibilitar eventuais atualizações futuras de *hardware* ou de *software* para o sistema móvel.

2.3.4 Custo

O investimento necessário para o desenvolvimento de todo o sistema, considerando o uso de componentes eletrônicos de baixo custo, foi de aproximadamente US\$ 250,00. Os componentes de maiores representatividades de investimento, foram: microcontrolador Arduino Nano (US\$ 11,99), módulo *Bluetooth* BC 417 HC-05 (US\$ 9,99) e sensor de temperatura e umidade relativa AM2302 (US\$ 9,95).

2.4 CONCLUSÃO

Um novo sistema foi desenvolvido para medição e análise da variabilidade espacial da temperatura do ar e dos índices de conforto térmico *ITGU* e *ITU*, objetivando o conforto térmico de animais.

A integração entre módulo transmissor, receptor e o aplicativo *Aurora*, permitiu que análises de conforto térmico de animais, como por exemplo aves, bovinos e suínos, sejam realizadas no próprio local de coleta de dados (*in loco*).

Com o uso do sistema foi possível identificar regiões de temperaturas elevadas em um galpão de aves de corte, bem como condições de estresse térmico pelo calor em determinados períodos do dia, considerando a idade das aves.

Por fim, conclui-se que o sistema pode ser utilizado como uma ferramenta para avaliações preliminares das condições de conforto térmico de aves, bovinos e suínos, mediante mapas de variabilidade espacial de índices de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

- AOSONG. AM2302. Disponível em: < <http://www.aosong.com/en/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- APAYDIN, H.; SONMEZ, F. K.; YILDIRIM, Y. E. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey, *Clim Res.* 28, 31-40, 2004.
- ARDUINO. ARDUINO NANO. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Universidade federal de Viçosa, 2010.
- BARROS, J. S. G.; ROSSI, L. A.; SOUZA, Z. M. PID temperature controller in pig nursery: spatial characterization of thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 62, n. 5, p.773-781, 2017.
- BOHLOULI, M.; SHODJA, J.; ALIJANI S.; EGHBAL, A. The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. *Livestock Science.* 157 (2-3), 414-420, 2013.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of the A.S.A.E.*, v.24, p.711-714, 1981.
- BUFFINGTON, D. E., COLLIER, R.J., CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of the A.S.A.E*, no 26, pp. 1798-1802, 1983.
- CAMPBELL. Sensor de temperatura e umidade relativa do ar, HC2S3-L. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com.br/hc2s3>>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- COELHO, D. J. R.; TINOCO, I. F. F.; VIEIRA, M. F. A., MENDES, M. A. S. A.; SOUSA, F. C.; FRANÇA, L. G. F. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19. 996-1004, 2015.
- GATES, R.S.; USRY, J.L.; NIENABER, L.A.; TUNER, L.W.; BRIDGES, T.C. An optimal misting method for cooling housing. **Transactions of the ASAE**, 34(5)2199-2206, 1991.
- HIGASHIYAMA, Y.; HIGASHIYAMA, M.; IKEDA, K.; KOMATSU, T.; FUKASAWA, M. Welfare of lactating Holstein cows under outdoor grazing and indoor housing in relation to temperature and humidity in summer in Japan. *Livestock Science*, v. 155, p.86- 91, feb. 2013.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 413, 1989.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

MORGADO, M.; TALAIA, M.; TEIXEIRA, L. A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal Of Industrial Ergonomics*. 60, 3-13, 2017.

NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; SANTOS, R. F. S. One day-old chicks transport: Assessment of thermal profile in a tropical region. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. 19 (7), 663-667, 2015.

NORDIC. NRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver: Product Specification. Trondheim: Nordic, 2007. 74 p.

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 ANIMALS BUILDING, 1., 2004, Evora. Proceedings... Evora, Portugal: GIGR, 2004. p.1-18.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. R. L.; DAL PAI, E.; RODRIGUES, B. T.; SOUZA, V. C. *Aurora*: Mobile application for analysis of spatial variability of thermal comfort indexes of animals and people, using IDW interpolation. *Computers and Electronics In Agriculture*, v. 157, p.98-101, fev. 2019.

PONCIANO, P. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, G. A. E. S.; SCALON, J. D.; SCHIASSI, L. Spatial variability of air dry bulb temperature and black globe humidity index in a broiler house during the heating phase. *Eng. Agríc, Jaboticabal*, v. 3, n. 33, p.432-444, jun. 2013.

QUEIROZ, M. L. V.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; SALES, F. A. L.; LIMA, L. R.; DUARTE, L. M. Spatial variability in a broiler shed environment with fogging system. *Revista Ciência Agronômica*. 48 (4), 586-595, 2017.

SARAZ, J. A. O.; ROCHA, K. S. O.; DAMASCENO, F. A.; TINOCO, I. F. F.; OSORIO, R.; TOBÓN, J. C. A. A CFD approach to assess the effects of different opening combinations in poultry houses. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*. 21 (12), 852-857, 2017.

SCHÜLLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*. 81 (8), 1050-1057. 2014.

SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p.157-164, fev. 2002.

TAO, T.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. **Transactions of the ASAE**, 46(2), 491, 497, 2003.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57- 59, 1959.

WEATHER. Botucatu, São Paulo, Brazil Monthly Weather. <https://weather.com/weather/monthly/l/54f6ef131f1faeb7df7e493726eee4a6dbd6a55a23ad6c976b84174a2c552ad3>. Acesso em: 15 jan. 2020.

WEATHERSPARK. Condições meteorológicas médias de Botucatu. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30073/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Botucatu-Brasil-durante-o-ano#Sections-Summary>. Acesso em: 15 jan. 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme as discussões desse trabalho, compreende-se que uma das formas de avaliar o bem-estar de animais é mediante a criação de mapas de variabilidade espacial de variáveis meteorológicas. Entretanto, há de se considerar que o método atual apresentado não é adequado para avaliações instantânea, além de exigir capacitação dos profissionais para efetivar tal análise, a qual está associada a conhecimentos técnico-científicos.

O sistema desenvolvido é uma alternativa aos pesquisadores e produtores que desempenham seus trabalhos baseados no bem-estar animal. Visando a criação de uma ferramenta de fácil uso e de alta portabilidade, é possível considerar que a tecnologia desenvolvida no âmbito do sistema vem colaborar diretamente em variadas pesquisas envolvendo o conforto térmico de animais, sobretudo no trabalho diário de pequenos produtores na produção animal. Sendo assim, uma forma de se obter análises de conforto térmico *in loco*, em pouco minutos.

Ainda que não se discuta nesse trabalho o uso específico do aplicativo móvel *Aurora* na interpolação de outros tipos de dados, o algoritmo desenvolvido é apto para ser utilizado para a criação de mapas de qualquer medida que apresente dependência espacial.

Portanto, espera-se que este estudo traga significativas contribuições para a área de produção e bem-estar animal, visto sua inovação tecnológica apresentada.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P.; MORRIL, W. B. B. Investimento em climatização na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p.1337-1344, 2010.
- ALVES, S. P.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5, p.1388-1394, 2007.
- ARDUINO. Arduino UNO. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc; 2010.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais – conforto animal*. Universidade federal de Viçosa, 2010.
- BIANCA, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195:251–252.
- BOHLOULI, M.; SHODJA, J.; ALIJANI, S.; EGHBAL, A. The relationship between temperature-humidity index and test-day milk yield of Iranian Holstein dairy cattle using random regression model. *Livestock Science*, v. 157, p.414-420, set. 2013.
- BRÜGEMANN, K.; GERNAND, E.; VON BORSTEL, U. U.; KÖNIG, S. Application of random regression models to infer the genetic background and phenotypic trajectory of binary conception rate by alterations of temperature x humidity indices. *Livestock Science*, v. 157, p.389-396, ago. 2013.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of the A.S.A.E.*, v.24, p.711-714, 1981.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R.J.; CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Trans. ASAE* 26, 1798–1802. 1983.
- BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Publisher Oxford, 1986. 193 p.
- CALCUTT, D.; COWAN, F.; PARCHIZADEH, H. *8051 Microcontroller: An Applications Based Introduction*. Elsevier, 2003. 416 p.
- CARVALHO, C. C. S.; SANTOS, T. C.; SILVA, G. C.; SANTOS, L. V.; MOREIRA, S. J. M.; BOTELHO, L. F. R. *Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos*

de corte no semiárido mineiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 7, p.769-773, 2014.

CEZAR, M. F.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H.; PIMENTA FILHO, E. C.; TAVARES, G. P.; MEDEIROS, G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 3, p.614-620, jun. 2004.

CORDEIRO, M. B.; TINÔCO, I. F. F.; OLIVEIRA, P. A. V.; MENEGALI, I.; GUIMARÃES, M. C. C.; BAÊTA, F. C.; SILVA, J. N. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 5, p.1597-1602, 2007.

DAMASCENO, F. A.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; GOMES, R. C. C.; MORAES, S. R. P. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 4, p.1031-1038, ago. 2010.

DEVARAJU, J. T.; SUHAS, K. R.; MOHANA, H. K.; PATIL, V. A. Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station. *Measurement*, Amsterdam, v. 76, p.189-200, dez. 2015.

DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal Of Dairy Science*, New York, v. 92, n. 1, p.109-116, jan. 2009.

DIN, M. F. M.; LEE, Y. Y.; PONRAJ, M.; OSSEN, D. R.; IWAO, K.; CHELLIAPAN, S. Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. *Journal Of Thermal Biology*, v. 41, p.6-15, 4 fev. 2014.

DOMINGOS, F. C.; MAIA, J. M.; MAIA, O. M. A.; SCHNEIDER, F. K. Microcontroller based Control System for Ultrasound NDT in Wood. *Physics Procedia*, Amsterdam, v. 70, p.428-432, 2015.

FATEHNIA, M.; PARAN, S.; KISH, S.; TAWFIQ, K. Automating double ring in filterometer with an Arduino microcontroller. *Geoderma*, Amsterdam, v. 262, p.133-139, jan. 2016.

FERNANDES, H. C.; MOREIRA, R. F.; LONGUI, F. C.; RINALDI, P. C.; SIQUEIRA, W. C. Efeito do aquecimento e resfriamento de pisos no desempenho de matrizes e leitões. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 6, p.701-706, dez. 2011.

FERNANDO, N.; LOKE, S. W.; RAHAYU, W. Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, Amsterdam, v. 29, n. 1, p.84-106, jan. 2013.

FIORELLI, J.; FONSECA, R.; MORCELI, J. A. B.; DIAS, A. A. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p.986-992, set./out. 2010.

FURTADO, D. A.; DANTAS, R. T.; NASCIMENTO, J. W. B. SANTOS, J. T.; COSTA, F. G. P. Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento ambiente sobre o

desempenho produtivo de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.484-489, 2006.

GOMES, R. C. C.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R. R.; YANAGI, S. N. M.; CARVALHO, V. F.; DAMASCENO, F. A. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 9, p.1645-1651, set. 2011.

HERMUCHE, P.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR, O. A.; GOMES, R. A. T.; PAIVA, S. R.; McMANUS, C. M. Environmental factors that affect sheep production in Brazil. *Applied Geography*, Oxford, v. 44, p.172-181, 2013.

HORWOOD, S.; ANGLIM, J. Problematic smartphone usage and subjective and psychological well-being. *Computers In Human Behavior*, v. 97, p.44-50, ago. 2019. Elsevier BV.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 1989, 413 p.

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*, Campina Grande, v. 11, n. 5, p.527-531, 2007.

KIM, I.; KIM, R.; KIM, H.; KIM, D.; HAN, K.; LEE, P. H.; MARK, G.; LEE, U. Understanding smartphone usage in college classrooms: A long-term measurement study. *Computers & Education*, v. 141, p.103611-103627, nov. 2019.

KHAN, N. A.; HABIB, M. A.; JAMAL, S. Effects of smartphone application usage on mobility choices. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 132, p.932-947, fev. 2020. Elsevier BV.

KRALIKOVA, R.; SOKOLOVA, H.; WESSELY, E. Thermal environment evaluation according to indices in industrial workplaces. *Procedia Engineering*, v. 69, p.158-167, 2014.

LI, L.; WANG, C.; XIE, G. A general CPG network and its implementation on the microcontroller. *Neurocomputing*, Amsterdam, v. 167, p.299-305, nov. 2015.

LIMA, K. R. S.; ALVES, J. A. K.; ARAÚJO, C. V.; MANNO, M. C.; JESUS, M. L. C.; FERNANDES, D. L.; TAVARES, F. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frango de corte com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Belém, v. 51, n. 1, p.37-50, jun. 2009.

LIN, Y.; CHANG, C.; LI, M.; WU, Y.; WANG, Y. High-temperature indices associated with mortality and outpatient visits: Characterizing the association with elevated temperature. *Science Of The Total Environment*, Amsterdam, v. 428, p.41-49, 2012.

LUOA, M.; CAO, B.; ZHOU, X.; LI, M.; ZHANG, J.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. Can personal control influence human thermal comfort? A field study in residential buildings in China in winter. *Energy And Buildings*, v. 72, p.411-418, dez. 2013.

MALAMA, E.; BOLLWEIN, H.; TAITZOGLU, I. A.; THEODOSIOU, T.; BOSCOS, C. M.; KIOSSIS, E. Chromatin integrity of ram spermatozoa. Relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. *Theriogenology*, Philadelphia, p.533-541, 2013.

MATOS, A. C. de O. C. Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul. 2005. 355 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MATOS, J. L. de. Fundamentos de informação geográfica. 2. ed. Lisboa: Lidel edições técnicas, 2001.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 13, n. 4, p.277-286, dez. 2005.

MELLADO, M.; ROMERO, P.; GARCÍA, J. E.; VÉLIZ, F. G.; ARÉVALO, J. R. The effects of ambient temperature and humidity on pregnancy rate in Beefmaster cows in a subtropical environment of Mexico. *Livestock Science*, v. 131, p.149-154, mar. 2010.

MENEGALI, I.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; CORDEIRO, M. B.; GUIMARÃES, M. C. C. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 18, n. 6, p.461- 471, dez. 2010.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

NÄÄS, I. A. Princípios de bem-estar animal e sua aplicação na cadeia avícola. *Biológico*. v. 70, n. 2, p.105-106, 2008.

NASCIMENTO, G. V.; CARDOSO, E. A.; BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B.; CAMBUÍ, G. B. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. v. 9, n. 4, p. 28-36, out – dez , 2013.

NAVARIN, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça Nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p.508-517, dez. 2009.

NEMATCHOUA, M. K.; TCHINDA, R.; OROSA, J. A. Thermal comfort and energy consumption in modern versus traditional buildings in Cameroon: A questionnaire-based statistical study. *Applied Energy*, v. 114, p.687-699, 12 nov. 2013.

NRC. 1971. A Guide to Environmental Research on Animals. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.

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

PAGBRASIL. Brazil is the 5th Country in Smartphone Usage. Disponível em: <<https://www.pagbrasil.com/insights/smartphone-usage-in-brazil/>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

PANDIARAJ, M.; BENJAMIN, A. R.; MADASAMY, T.; VAIRAMANI, K.; ARYA, A.; SETHY, N. K.; BHARGAVA, K.; KARUNAKARAN, C. A cost-effective volume miniaturized and microcontroller based cytochrome c assay. *Sensors And Actuators A: Physical*, Amsterdam, v. 220, p.290-297, dez. 2014.

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestão, alojadas em baias individuais e coletivas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n. 3, p.326-332, 2008.

PASSINI, R.; FERREIRA, F. A.; BORGATTI, L. M. O.; TERÊNCIO, P. H.; SOUZA, R. T. Y. B.; RODRIGUES, P. H. M. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. *Acta Scientiarum: Animal Science*, Maringá, v. 31, n. 3, p.303-309, 2009.

RAISH, J. Thermal Comfort: Designing for People. Disponível em: <https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/urban_ecosystems/urban_ecosystems/09_03_fa_ferguson_raish_ml.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

RENATO, A. S. Programando microcontroladores PIC: Linguagem “C”. 2. ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2006. 181 p.

SAMPAIO, C. A. P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J. A.; BOFF, C. E.; OLIVEIRA, M. A. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 3, p.785-790, jun. 2004.

SANTOS, F. C. B.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; CÉZAR, M. F.; PIMENTA FILHO, E. C.; ACOSTA, A. A. A.; SANTOS, J. R. S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do nordeste brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 1, p.142-149, fev. 2005.

SANTOS, P. A.; YANAGI JUNIOR, T. Y.; TEIXEIRA, V. H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.575-584, dez. 2005.

SAKOI, T.; MOCHIDA, T. Concept of the equivalent wet bulb globe temperature index for indicating safe thermal occupational environments. *Building and Environment*, Oxford, v. 67, p.167-178, 2013.

SARUBBI, J.; ROSSI, L. A.; MOURA, D. J.; OLIVEIRA, R. A.; MAIA, A. P. A. Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p.1034-1040, 2012.

SCHÜLLER, L. K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature– humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology*, v. 81, p.1050-1057, jan. 2014.

SILVA, G. A.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; SILVA, E. M. N.; AZEVEDO, S. A.; AZEVEDO NETO, J.; SILVA, R. M. N. Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 4, p.903-909, 2006.

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 36, n. 4, p.1192-1198, 2007.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. I. S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H. N.; SOUZA, L. S. B. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 8, p.863-870, 2010.

TAO, T.; XIN, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Trans. ASAE* 46 (2), 491–497. 2003.

TEWARI, V. K.; KUMAR, A. A.; NARE, B.; PRAKASH, S.; TYAGI, A. Microcontroller based roller contact type herbicide applicator for weed control under row crops. *Computers And Electronics In Agriculture*, Amsterdam, v. 104, p.40-45, jun. 2014.

THOM, E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, p.57- 59, 1959.

WYRWOŁ, B.; HRYNKIEWICZ, E. Implementation of the FITA Fuzzy Inference System on the specific microcontroller platform. *Ifac-papersonline*, Laxenburg, v. 48, n. 4, p.165- 169, 2015.