

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

ZOOTEMPO: sistema de baixo custo de alerta de eventos extremos de temperatura para animais de produção utilizando internet das coisas

Daniel Sá Freire Lamarca

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2022

Daniel Sá Freire Lamarca
Bacharel em Administração com ênfase em Agronegócios

**ZOOTEMPO: sistema de baixo custo de alerta de eventos extremos de temperatura
para animais de produção utilizando internet das coisas**
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **KÉSIA OLIVEIRA DA SILVA MIRANDA**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Lamarca, Daniel Sá Freire

ZOOTEMPO: sistema de baixo custo de alerta de eventos extremos de temperatura para animais de produção utilizando internet das coisas / versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Daniel Sá Freire Lamarca - - Piracicaba, 2022.

79 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Anomalia climática 2. Onda de calor 3. Onda de frio 4. Produção animal 5. Zootecnia de precisão I. Título

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha mãe
Selma Sá Freire, a qual sempre
demonstrou gestos e sentimentos de
amor e carinho para com os seus
filhos.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, pelo dom divino da vida, pela saúde e força de vontade para seguir em busca dos meus sonhos.

A minha mãe Selma Sá Freire, sendo a pessoa mais importante em todas as fases da minha vida, estando sempre presente e me apoiando.

Ao meu irmão Thiago Sá Freire Lamarca que participou e colaborou de maneira fundamental na minha formação pessoal e profissional.

Ao meu pai Humberto Lamarca pelas excessivas orientações e compartilhamento de experiências de vida.

A minha namorada Thaís Briguenti por todo o apoio e compreensão durante esta importante fase da minha vida.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Késia Oliveira da Silva Miranda que colaborou fortemente na minha formação profissional e que tive a grande oportunidade de trabalhar em conjunto para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Vasco Manuel Fitas da Cruz pela coorientação no desenvolvimento deste trabalho. Ao Prof. Dr. Danilo Florentino Pereira pelas orientações realizadas para a minha formação acadêmica.

Aos grandes amigos da UNESP, Prof. Dr. Sergio Silva Braga Junior e Prof. Dr. Marcelo Marques de Magalhães que além das diversas orientações realizadas desde minha graduação em fase de Iniciação Científica, sempre participaram da minha formação, não somente profissional, mas também pessoal.

Aos professores da ESALQ/USP, Prof. Dr. Jarbas Honório de Miranda, Prof. Dr. Sérgio Nascimento Duarte e Prof.^a Dr.^a Sônia Maria de Stefano Piedade pelas contribuições à minha formação profissional e a construção desta pesquisa.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP). Ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas (PPGESA). Ao Grupo de Pesquisa em Bem-Estar, Ambiente e Zootecnia de Precisão (GBAZP).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ambos por concessão de bolsa de Doutorado. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento parcial desta pesquisa.

Aos familiares Jaqueline Escobar Lamarca, Isabela Lamarca, Juliana Lamarca, Mara Lamarca, Miriam Lamarca, Bruna Lamarca, Pamela Lamarca, Lilian Sá Freire, Luciana Sá Freire, Ana Lúcia Sá Freire, Rosa Sá Freire, Francisco Sá Freire e aqueles que ao longo da vida também passei a considerar como família, Cássia Briguenti, Claudinei Briguenti, Gabriela Briguenti, Lucas Briguenti e Mara Iglesias.

Aos amigos (irmãos) Gustavo Iglesias e Thiago Iglesias, que estiveram presentes em muitos momentos importantes da minha vida.

E por fim, as importantes amizades realizadas durante o período de doutoramento, especialmente aos colegas que tive a oportunidade de coorientar durante este período: Mayara Pardi Ikeda, Felipe Ramires Terrazas, Tássio Martins e Thiago Brito Conceição.

EPÍGRAFE

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”

(Frases atribuídas para Albert Einstein)

“Para chegar nessa terra, vim arriscando a sorte

...

***Eu vim trazendo coragem, esperança e sangue forte
A minha pobre bagagem, eu mesmo fiz o transporte***

***Para entrar na batalha, saí da minha trincheira
Com pingos do meu suor fui apagando a poeira
Com fibra e resistência, igual cerne de aroeira
Eu sempre segui avante, atravessando barreira
E no mastro da vitória hastei minha bandeira***

***Chorei muito no passado, para sorrir no presente
Estou colhendo o fruto onde plantei a semente
A minha mão calejada, é minha grande patente
E tudo que hoje tenho, agradeço à Deus somente
Porque na luta da vida eu venci honestamente***

***Gente que me vê na sombra, tem inveja do que sou
Mas não sabe que o sol muitas vezes me queimou
Nos caminhos que passei, muita gente não passou
Nas lutas que eu venci, eu vi gente que tombou
Precisa ter fé em Deus para chegar onde estou”***

***Cerne de Aroeira
Tião Carreiro***

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA	11
Referências	17
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo geral	21
2.2. Objetivos específicos	21
3. ONDA DE CALOR E DE FRIO PARA ANIMAIS DE PRODUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	23
Resumo	23
Introdução	23
Material e Métodos.....	24
Resultados.....	27
Discussão.....	34
Conclusão	36
Agradecimentos	36
Referências	36
4. DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS NUMÉRICOS PARA CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ONDAS DE CALOR E FRIO APLICADO À ANIMAIS DE PRODUÇÃO	43
Resumo	46
Introdução	43
Material e Métodos.....	45
Resultados e Discussão	46
Mapeamento dos estudos científicos sobre ondas de calor e de frio em animais de produção.....	46
Variáveis para caracterização de ondas de calor e ondas de frio aplicado à animais de produção	47
Definindo o limiar de temperatura para caracterização de ondas de calor e de ondas de frio para animais de produção.....	47
Definindo o limiar de temperatura a partir da região.....	48
Definindo o limiar de temperatura a partir do animal.....	49
Proposta para caracterização de onda de calor e de onda de frio aplicado à animais de produção	52

Conclusão	54
Agradecimentos	55
Referências.....	55
Apêndice	61
5. SISTEMA DE BAIXO CUSTO DE ALERTA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA PARA ANIMAIS DE PRODUÇÃO.....	65
Resumo	65
Introdução	65
Material e Métodos.....	66
Parâmetros para caracterização e classificação de Ondas de Calor e Ondas de Frio.....	67
Características do Sistema.....	69
Componentes Eletrônicos.....	70
Processo de Validação.....	71
Resultados e Discussão.....	72
Conclusão	75
Agradecimentos	76
Referências.....	76

RESUMO

ZOOTEMPO: sistema de baixo custo de alerta de eventos extremos de temperatura para animais de produção utilizando internet das coisas

As mudanças do clima observadas no planeta nas últimas décadas, vêm gerando impactos diretos e indiretos nos seres humanos e nos sistemas de produção agropecuária, principalmente a partir das variações de pluviosidade e temperatura. No contexto das mudanças climáticas estão presentes os eventos extremos climáticos, responsáveis por gerarem impactos catastróficos nos locais em que ocorrem. Sistemas de alerta de eventos extremos climáticos têm surgido nos últimos anos como medida para neutralizar ou minimizar os possíveis impactos. Dentre esses eventos extremos, estão as ondas de calor e as ondas de frio. Em especial, as ondas de calor têm gerado fortes impactos nos sistemas de produção animal nos últimos anos, justificado pelo fato dos animais serem suscetíveis a variações bruscas de temperatura. Em outra vertente, o desenvolvimento de sistemas utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) tem sido apresentado como uma alternativa de baixo custo para a mensuração de variáveis ambientais como a temperatura. Diante do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo para alerta de eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) destinado aos sistemas de produção animal de maior relevância econômica (aves, bovinos e suínos) utilizando o conceito de Internet das Coisas. A presente tese foi desenvolvida em quatro etapas. Em um primeiro momento, situou-se o contexto e a justificativa para a realização do estudo. Em seguida, apresentou-se uma revisão sistemática, a qual mapeou os estudos envolvendo ondas de calor e ondas de frio na produção animal. O foco desta revisão foi identificar os parâmetros numéricos utilizados para se caracterizar os eventos. Os resultados da revisão mostraram uma grande dispersão nos parâmetros utilizados pela literatura. Considerando os resultados encontrados, foi elaborado na terceira etapa um estudo para o desenvolvimento de uma nova proposta de caracterização e classificação de ondas de calor e de frio para animais de produção. O estudo foi realizado com base na literatura de ambiência animal. Os resultados apresentaram uma nova proposta para aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos. Na última etapa deste trabalho, foi apresentado um sistema de baixo custo de alerta de eventos extremos de temperatura (ondas de calor e de frio) para aves, bovinos e suínos. Os parâmetros utilizados para o desenvolvimento (programação) do sistema foram advindos dos resultados definidos na etapa anterior. O sistema possui diferentes fases de processamento e fontes de entrada. Dentre as entradas, estão bases de dados climáticas, as quais fornecem dados históricos e dados de previsão de temperatura em função de uma coordenada geográfica informada. Outra fonte do sistema é um dispositivo construído baseado no conceito de Internet das Coisas (IoT), o qual tem como finalidade mensurar a temperatura local da propriedade rural. O sistema pode ser utilizado por pequenos e grandes produtores, em função do seu baixo custo. Por fim, tem-se que o sistema proposto neste trabalho, poderá auxiliar na tomada de decisão do produtor, na mitigação dos impactos de ondas de calor e de frio em seu rebanho animal.

Palavras-chave: Anomalia climática, Onda de calor, Onda de frio, Produção animal, Zootecnia de precisão

ABSTRACT

ZOOTEMPO: low-cost system for alerting farm animals to extreme temperature events using the internet of things

The climate changes observed on the planet in recent decades have generated direct and indirect impacts on humans and agricultural production systems, mainly from variations in rainfall and temperature. In the context of climate change, extreme weather events are present, responsible for generating catastrophic impacts in the places where they occur. Warning systems for extreme weather events have emerged in recent years as a measure to neutralize or minimize possible impacts. Among these extreme events are heat waves and cold waves. In particular, heat waves have generated strong impacts on animal production systems in recent years, justified by the fact that animals are susceptible to sudden variations in temperature. In another aspect, the development of systems using the Internet of Things (IoT) concept has been presented as a low-cost alternative for the measurement of environmental variables such as temperature. Given the context presented, the objective of this work was to develop a low-cost system for warning of extreme temperature events (heat waves and cold waves) for the most economically relevant animal production systems (poultry, cattle and swine) using the concept of the Internet of Things. This thesis was developed in four stages. At first, the context and justification for carrying out the study were located. Then, a systematic review was presented, which mapped the studies involving heat waves and cold waves in animal production. The focus of this review was to identify the numerical parameters used to characterize the events. The results of the review showed a great dispersion in the parameters used in the literature. Considering the results found in the second stage, in the third stage a study was prepared for the development of a new proposal for the characterization and classification of heat and cold waves for production animals. The study was carried out based on the animal environment literature. The results presented a proposal for poultry (beef and posture), cattle (beef and milk) and swine. In the last stage of this work, a low-cost system for warning of extreme temperature events (heat and cold waves) for poultry, cattle and swine was presented. The parameters used for the development (programming) of the system were derived from the results defined in the previous step. The system has different processing phases and input sources. Among the entries are climatic databases, which provide historical temperature forecast data as a function of an informed geographic coordinate. Another source of the system is a device built based on the Internet of Things (IoT) concept, which aims to measure the local temperature of the rural property. The system can be used by small and large producers, due to its low cost. Finally, the system proposed in this work can help in the decision-making of the producer, in the mitigation of the impacts of heat waves and cold in his animal herd.

Keywords: Climatic anomaly, Heat wave, Cold wave, Animal production, Precision animal science

1. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA

As mudanças do clima observadas no planeta nas últimas décadas, vêm gerando impactos diretos e indiretos nos seres humanos e nos sistemas de produção agropecuários, a partir das oscilações de pluviosidade e temperatura (IPCC, 2022). Ainda, conforme aponta o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), até o final deste século deve haver um aumento da temperatura da superfície do planeta (Figura 1), tanto para o cenário pessimista (SSP5-8.5), quanto para o cenário otimista (SSP1-1.9).

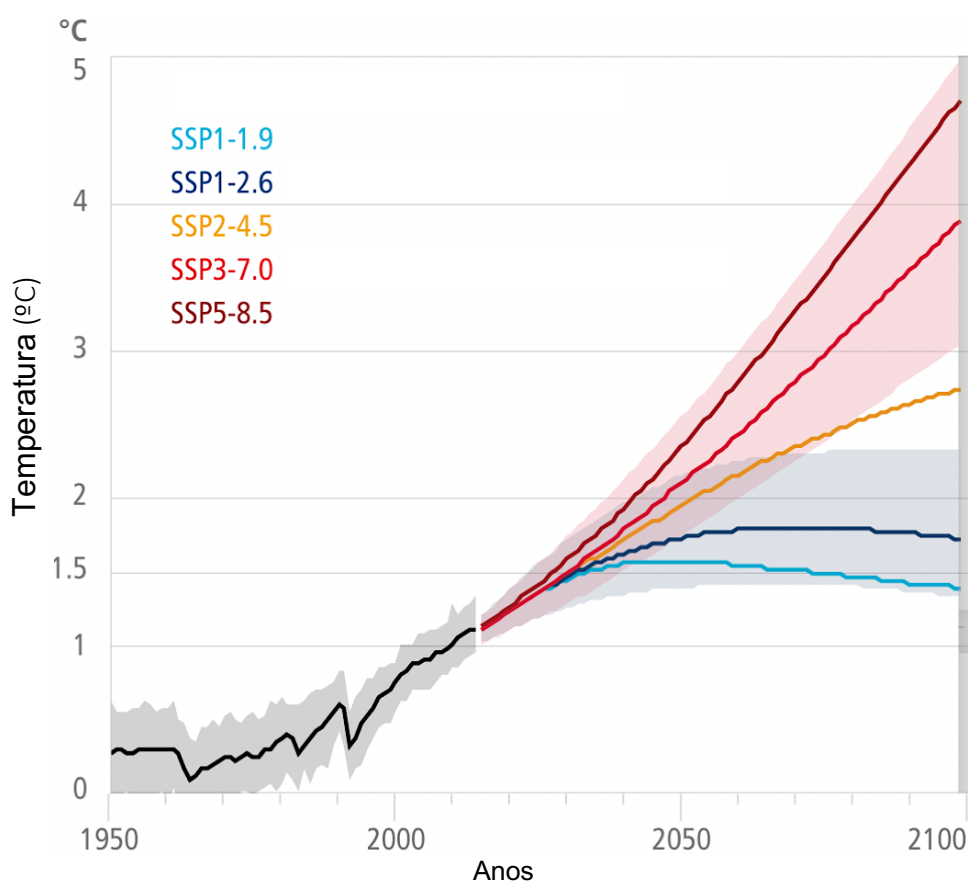


Figura 1. Projeção para diferentes cenários de temperatura média da superfície do planeta

Fonte: Adaptado de IPCC (2022).

Entretanto, ainda mais preocupante que o aumento constante da temperatura ao longo dos anos, é a presença de eventos extremos climáticos. Estes, são eventos naturais (variáveis climáticas) com características fortemente acentuadas (positivas ou negativas), como, por exemplo: ciclones, furacões, tornados, tufões, tempestades, secas, geadas, ondas de calor, ondas de frio, entre outros. Para o trabalho que está sendo proposto nesta tese, a discussão será em função de ondas de calor e ondas de frio.

Os eventos extremos climáticos, entre eles as ondas de calor e as ondas de frio, agravados pelas mudanças do clima que os acometem, estão impactando e poderão impactar ainda mais a oferta de alimentos em todo o planeta nos próximos anos. Em outra vertente, tem-se o crescimento considerável da população mundial, afetando diretamente na demanda por alimentos. No ano de 2015, a população do planeta contava com cerca de 7,4 bilhões

de pessoas. Para 2050, estima-se com 95% de confiança que o planeta tenha entre 9,36 e 10,21 bilhões de pessoas, de acordo com a Divisão de População das Nações Unidas (UNPD, 2017). Portanto, a agropecuária global está sendo pressionada de um lado, pelo impacto gerado na oferta de alimentos (dada pelos eventos extremos e as mudanças do clima) e, por outro lado, no aumento da demanda de alimentos com o crescimento da população mundial.

Na agropecuária brasileira, os sistemas de produção animal possuem papel de destaque. Em termos de produção de carnes no ano de 2021, o Brasil foi o maior exportador mundial de carne de frango e o quarto maior exportador mundial de carne suína (ABPA, 2022). Em relação à carne bovina, o país é o segundo maior produtor mundial (FAO, 2020). Já na produção de leite, o Brasil é o quarto maior produtor mundial, com uma produção de 34,8 bilhões de litros/ano (EMBRAPA, 2021). Por fim, na produção de ovos de poedeiras, o país exportou em 2021, um total de 11.346 toneladas para mais de 60 países (ABPA, 2022). Além dos números expressivos apresentados para a produção animal, tem-se que uma parte considerável das produções de milho e soja no país, são destinadas para a produção de ração dos respectivos animais mencionados. Descrito de outro modo, tem-se que boa parte dos sistemas de produção animal são “consumidores” importantes dos principais sistemas de produção vegetal nacional.

Considerando o aumento da população mundial para as próximas décadas, estima-se que a produção brasileira de proteína animal e vegetal deve aumentar para os próximos anos. Para 2030, por exemplo, de acordo com dados estimados e apresentados no relatório “Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31”, elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a produção de carne bovina deve aumentar em 2,3%, de carne de frango em 2,6% e de suínos em 3% (valores ao ano). Ainda de acordo com dados estimados e apresentados no relatório, a produção de leite deve crescer nesse período entre uma taxa de 1,9% e 3,1% ao ano (MAPA, 2021). No entanto, o volume de produção atual e o crescimento projetado, podem ser afetados de maneira significativa pelo clima, em especial pelos eventos extremos de temperatura.

No que tange a temperatura, segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO), o período entre 2015 e 2019 foi classificado como os cinco anos mais quente já registrados, havendo neste mesmo período uma maior frequência de eventos meteorológicos extremos. De acordo com esta mesma organização, as ondas de calor neste período foram classificadas como o perigo mais mortal, dentre os eventos extremos climáticos e foram registradas em todos os continentes do planeta, gerando diversos recordes de temperatura (WMO, 2019).

Para os próximos anos, considerando os apontamentos feitos pelo Grupo de Trabalho 2 (GT-II) do IPCC (responsável pelos estudos na área de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade) sobre ondas de calor e ondas de frio, verifica-se uma tendência do aumento de ondas de calor e uma possibilidade do aumento de ondas de frio (IPCC, 2022). Na Figura 2, verifica-se uma projeção proposta pelo IPCC da distribuição da frequência de temperaturas para os próximos anos “com” e “sem” a presença de mudanças climáticas. É importante observar que em todos os três cenários, o IPCC aponta para o aumento de calor extremo e em um dos cenários para o aumento de frio extremo.

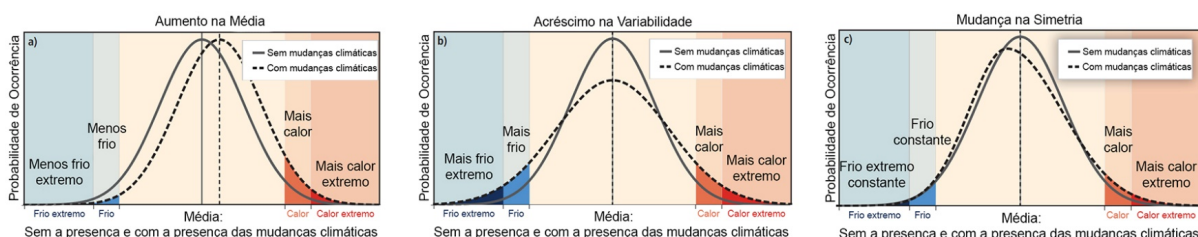


Figura 2. Efeito das mudanças climáticas na distribuição de temperatura

Fonte: IPCC (2012)

As ondas de calor devem aumentar em sua intensidade, duração e frequência (IPCC, 2022; Pesquisa FAPESP, 2017). Observando-se as últimas décadas, as ondas de calor têm causado fortes impactos em diferentes regiões do planeta. Dentre os principais, é possível mencionar: Europa em 2003 com a morte de 35 mil pessoas (UOL, 2003; García-Herrera, 2010); Paquistão em 2015 com a morte de 800 pessoas (GLOBO, 2015) e; na França em 2019 com a morte de 1500 pessoas (EXAME, 2019).

Na produção animal, são vários os eventos de ondas de calor e de frio, na qual geraram impactos negativos. Em Bastos, interior de São Paulo, no ano de 2012, houve uma onda de calor, a qual gerou a mortalidade de mais de 500 mil aves (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2012) e novamente em 2020, outra onda de calor, gerou a mortalidade de 1 milhão de aves poedeiras (GLOBO RURAL, 2020). Em agosto de 2020, no Estado do Mato Grosso, uma onda de frio gerou a mortalidade ao menos de 100 bovinos (CANAL RURAL, 2020). Na Coréia do Sul, em 2012, houve uma onda de calor que gerou a morte de 830 mil aves, dentre elas: frangos, patos, codornas (GLOBO RURAL, 2012). No Uruguai, em 2019, 80 mil frangos morreram em virtude de uma onda de calor (AVINEWS, 2019) e, em janeiro de 2022, novamente no Uruguai, cerca de 400 mil aves morreram devido a ocorrência de outro evento de onda de calor (AVISITE, 2022). Nos Estados Unidos, no Estado do Kansas, em junho de 2022, houve a mortalidade de aproximadamente 10 mil bovinos de corte, em função de uma onda de calor de mais de 40 graus (CANAL RURAL, 2022).

Na década de 1990, altas temperaturas no estado de Nebraska (Estados Unidos), gerou perdas para produtores de gado de cerca de 20 milhões de dólares. Em 2006, ainda nos Estados Unidos, no estado da Califórnia, estima-se que produtores de leite tiveram prejuízos de mais de 1 bilhão de dólares devido a altas temperaturas. Em julho de 1995, entre os dias 11 e 12, uma combinação de temperatura e umidade com baixo vento gerou a morte de mais de 3700 bovinos em treze diferentes países (Collier e Zimbelman, 2007; Nardone et al. 2010).

Além dos impactos mencionados, verifica-se que em anos recentes, estão havendo uma série de eventos extremos de temperaturas (calor e frio) em diferentes regiões do Brasil e do mundo, no qual estão batendo recordes de temperatura. Como exemplo de fatos recentes, é possível mencionar: Campo Grande no Mato Grosso do Sul, em outubro de 2020, registrou recorde de temperatura de 41°C (TERRA, 2020); Uruguaiana no Rio Grande do Sul, em janeiro de 2022, registrou temperatura recorde de 42,1°C (PORTAL INMET, 2022); Argentina com onda de calor de 45°C em janeiro de 2022 (EXAME, 2022); na Índia e no Paquistão em maio de 2022, foram registradas temperatura de quase 50°C (VEJA, 2022); no ano de 2021 em Cuiabá uma onda de frio de 5,9°C bate recorde histórico de temperatura mínima (GLOBO, 2021); também no ano de 2021, em Santa Catarina há registro de temperatura de -7,8°C, sendo recorde histórico para o mês de julho na região (FOLHA DE SÃO PAULO, 2021).

No Brasil, ainda há um fator agravante nos sistemas de produção animal quando comparado com alguns países, pois as culturas de produção animal realizadas no país com maior relevância econômica (aves, bovinos e suínos), tendo como exceção a produção de aves de corte, são realizadas em instalações abertas. Tal ponto, significa que a temperatura externa influencia diretamente no microclima da instalação e, portanto, na criação dos animais.

A ocorrência de eventos extremos como ondas de calor e ondas de frio podem acarretar diferentes tipos de impactos. Nos sistemas de produção animal, tais eventos podem gerar impactos diretos no bem-estar dos animais e no desempenho produtivo do sistema. Além disso, o impacto direto no desempenho produtivo, gerado em função da mortalidade ou queda de produção dos animais, pode se desdobrar em impactos financeiros ao empreendimento e em impactos econômicos regionais (considerando a diminuição de oferta do produto de origem animal no mercado). A seguir, na Figura 3, é demonstrado os canais de impactos destes eventos nos sistemas de produção animal.

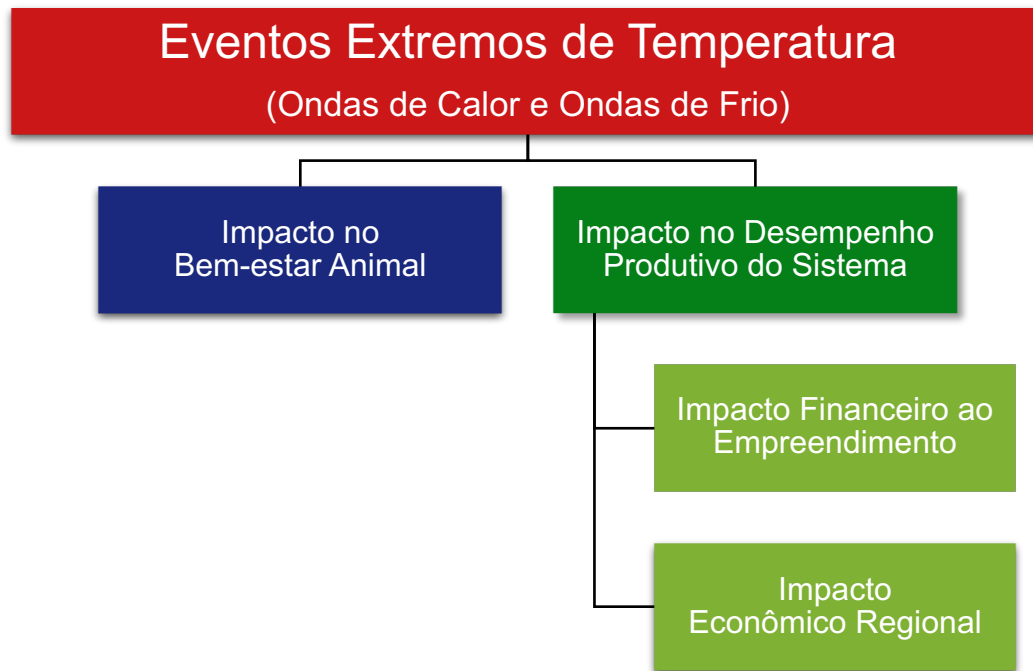


Figura 3. Canais de impacto de eventos extremos de temperatura na produção animal

Fonte: Autoria própria

Como uma das medidas para neutralizar ou minimizar o impacto de eventos extremos climáticos em todo o planeta, diversos institutos de diferentes partes do mundo, como, por exemplo o IPCC, NOAA e FAO, apontam o desenvolvimento de sistemas de alertas de eventos extremos, como um caminho importante a ser trilhado. Muitas cidades e países nos últimos anos, tem desenvolvido sistemas de alerta de eventos extremos de temperatura (HEO et al. 2019). Ademais, considerando os apontamentos feitos pelo IPCC, espera-se um aumento de calor extremo para os próximos anos e, portanto, sistemas de alerta podem ser uma solução paliativa.

Os eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) podem variar quanto a sua intensidade (temperatura) e duração (quantidade de dias). Entretanto, ao visitar a literatura científica sobre eventos extremos climáticos e produção animal, tem-se como resultado uma quantidade consideravelmente grande de trabalhos utilizando diferentes tipos de parâmetros numéricos para caracterizar eventos extremos de temperatura (ABAURREA et al. 2006; VALE et al. 2010). Ainda segundo os autores, os parâmetros encontrados na literatura podem variar em função do local de ocorrência. No trabalho de Riquena et al. (2019), por exemplo, ao analisar o efeito de ondas de calor na mortalidade de aves poedeiras, os autores utilizam quatro diferentes tipos de parâmetros numéricos para caracterizar uma onda de calor. A partir desse fato utilizado como exemplo, mostra-se uma real necessidade da padronização de parâmetros para eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio).

Para melhor entender o conceito/definição de ondas de calor e de ondas de frio, foi consultado o Relatório Especial sobre Eventos Extremos Climáticos publicado em 2012 (último relatório específico sobre eventos extremos climáticos publicado pelo IPCC). Nesse relatório, o IPCC define/conceitua o evento “onda de calor” como: “um período anormalmente quente”, assim como o evento “onda de frio”, como: “um período anormalmente frio”. Contudo, nesse processo de definição/conceituação de onda de calor e onda de frio, o IPCC não apresenta parâmetros numéricos em seus relatórios para caracterizar o que de fato pode ser considerado como um evento extremo de temperatura. Isso faz com que em termos de parâmetros numéricos, seja algo subjetivo.

Dentre os parâmetros mais utilizados no Brasil para se definir numericamente uma onda de calor, está o parâmetro utilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual se baseia nos valores adotados pelo The Weather Channel e, define mais objetivamente uma onda de calor como sendo: uma situação em que por no mínimo dois dias a temperatura máxima alcance 32°C e sendo no mínimo 5°C acima da temperatura média da região (INMET, 2022a).

No entanto, os parâmetros utilizados pelo INMET não são os mais adequados para se caracterizar uma onda de calor, quando se trata de animais de produção. Isso ocorre, pois cada tipo de animal (aves, bovinos, suínos, entre outros) em sua respectiva fase de produção, possui faixas de conforto e desconforto térmico diferentes entre si (Figura 4). Descrito de outro modo, um parâmetro fixo de onda de calor, como utilizado pelo INMET, não é apropriado para animais de produção, pois o que pode ser considerado “quente” (onda de calor) para um animal ou fase de produção, não necessariamente pode ser considerado para outro e vice-versa. A mesma consideração realizada em relação aos parâmetros para uma onda de calor, deve ser considerada para uma onda de frio. Portanto, entende-se que deve haver um parâmetro de onda de calor e de onda de frio em função do animal e da respectiva fase de produção que está sendo analisada.

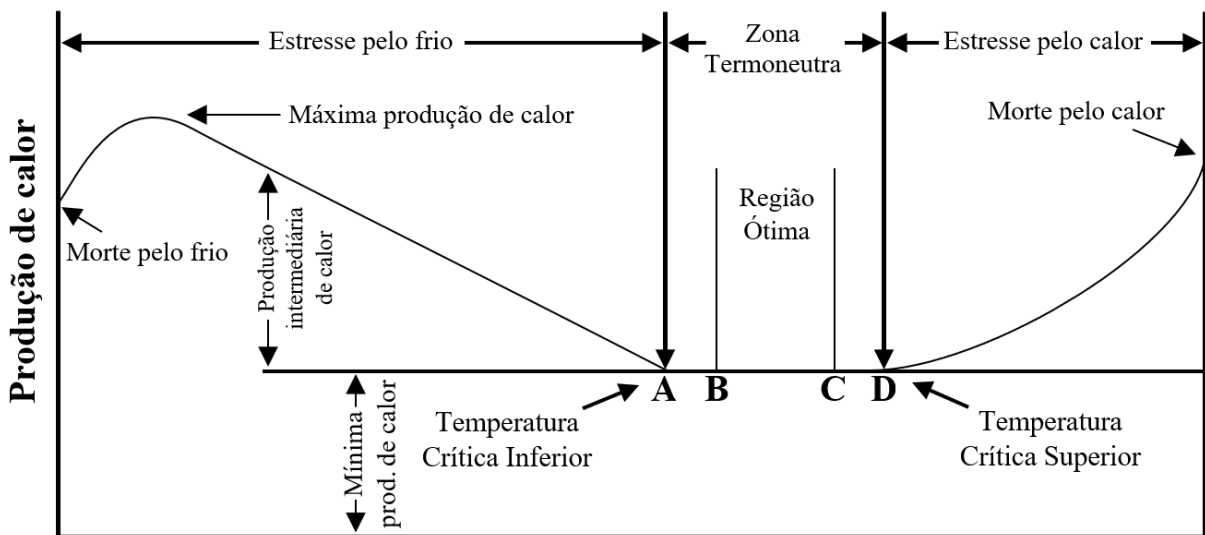


Figura 4. Efeito da temperatura ambiente na produção de calor de um animal

Fonte: Adaptado de Freeman (1988)

Na Figura 4, ilustra-se o efeito da temperatura do ambiente na temperatura corporal e produção de calor de um animal. Para cada tipo de animal (aves, bovinos, suínos, entre outros) e suas respectivas fases de produção, estão presentes faixas de temperatura do ambiente que apresentam melhores respostas produtivas dos animais (Região Ótima) e faixas de temperatura que podem gerar condições de estresse (calor ou frio). Os pontos de estresse, são marcados a partir do ponto de Temperatura Crítica Superior (TCS), para estresse por calor e a partir do ponto de Temperatura Crítica Inferior (TCI), para estresse por frio. Esse fato ocorre devido a esses animais serem homeotérmicos e necessitarem manter sua temperatura corporal constante. Desse modo, quando a temperatura do ambiente em que o animal está inserido aumenta ou diminui, o mesmo aciona mecanismos de termorregulação para conseguir manter sua temperatura interna (corporal) constante (PEREIRA, 2005).

Ao longo dos anos, na área de ambiência animal, diferentes pesquisadores elaboraram índices compostos, os quais além da temperatura, levam em consideração outras variáveis do ambiente, como, por exemplo, a umidade

relativa do ar e a velocidade do vento, para indicar se o animal está em uma situação de conforto ou desconforto térmico. Entre os principais índices, pode-se citar: ITU – Índice de Temperatura e Umidade (THOM, 1959); ITGU – Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (BUFFINGTON et al. 1981); CTR – Carga Térmica Radiante (ESMAY, 1982); Entalpia (ALBRIGHT, 1990); Índice de Temperatura, Umidade e Velocidade do Ar - ITUV (TAO e XIN, 2003) e Índice Fuzzy (FREITAS et al. 2017).

Nessa vertente, observando-se a área de ambiência e mais especificamente o clima das instalações, estão surgindo nos últimos anos, diferentes ferramentas tecnológicas para auxiliar na gestão (manejo) dos sistemas de produção animal. O INMET, por exemplo, fornece diferentes instrumentos que podem ser utilizados pelo produtor rural para ficar atualizado e/ou se preparar mediante as adversidades climáticas. Dentre esses instrumentos, destacam-se: I) “Boletim Agroclimatológico Mensal” (INMET, 2022b), o qual apresenta um relatório com a análise mensal do clima e um prognóstico dos próximos meses; II) “ALERT-AS” (ALERT-AS, 2022), o qual é um sistema on-line responsável por alertar em todas as regiões do Brasil, acerca de eventos meteorológicos severos e; III) “SISDAGRO” (SISDAGRO, 2022), com foco específico na bovinocultura de corte, trata-se de um sistema on-line que aponta o valor do ITU de bovinos em todo o território brasileiro.

Há poucos anos, com o surgimento do conceito de “Internet das Coisas”, conhecida também como IoT (Internet of Things), começou-se a tornar possível a implementação dessas ferramentas com um baixo custo. Em 2018, Oliveira Júnior et al. (2018), desenvolveram um aplicativo para o sistema operacional Android, denominado “Orvalho”. Este aplicativo pode ser utilizado para o cálculo de índices de conforto térmico de diferentes animais de produção (aves, bovinos e suínos). O aplicativo permite a entrada de dados de forma manual, na qual o próprio usuário (produtor) digita os dados de temperatura e umidade ou ainda, de forma automática, via comunicação Bluetooth com uma placa Arduino Mega conectada com um sensor DHT 22 (AM2302), o qual mensura a temperatura e umidade do ambiente.

Um pouco mais adiante, Pereira et al. (2020), desenvolveram algo similar utilizando este mesmo conceito de IoT. Os autores elaboraram um aplicativo com características específicas para a avicultura de corte. Além da mensuração de temperatura e umidade, foram utilizados sensores para mensurar as variáveis de iluminação e gás de amônia, as quais são variáveis importantes no ambiente de produção de aves. Neste trabalho, além do sensor DHT 22 (AM2302) para mensuração de temperatura e umidade do aviário, os autores fizeram uso de um sensor de LDR para iluminação dada em lux e de um sensor de gás de amônia (MQ137). Castro Junior et al. (2021), apresentam um trabalho na mesma linha de pesquisa para aves (corte e postura), bovinos de leite e suínos.

A aplicação do conceito de IoT têm crescido em diferentes áreas do conhecimento nos últimos anos. Os trabalhos mencionados anteriormente, apresentam uma tendência da utilização do conceito de IoT nos sistemas de produção animal. Dentre os fatores que corroboram para a utilização desse tipo de ferramenta, está o seu baixo custo de aquisição, o que permite a implantação para diferentes escalas de produtores, podendo ser utilizado desde um pequeno agricultor familiar até um produtor de grande escala. Diante do contexto apresentado até este momento, entende-se como adequado o uso do conceito de IoT aplicado para o desenvolvimento de um sistema de alerta de eventos extremos de temperatura voltado aos sistemas de produção animal.

Portanto, após apontado que: I) As mudanças climáticas, poderão impactar fortemente o setor agropecuário, afetando a oferta de alimentos mundial; II) A população do planeta está expandindo com previsão de aumento para os próximos anos, aumentando a demanda mundial por alimentos; III) Os sistemas de produção animal possuem grande importância econômica no contexto do agronegócio brasileiro; IV) Os eventos extremos de temperatura estão gerando fortes impactos na produção animal; V) Nos próximos anos, segundo o IPCC, haverá um

aumento da incidência de eventos extremos de temperatura, com destaque para as ondas de calor; VI) Sistemas de alerta de eventos extremos climáticos têm surgido nos últimos anos como uma das medidas para mitigar os possíveis impactos desses eventos e; VII) O desenvolvimento de sistemas utilizando o conceito de Internet das Coisas têm sido apresentado como uma alternativa de baixo custo para a mensuração de variáveis ambientais como a temperatura; faz-se a justificativa para a proposta do desenvolvimento de um sistema de baixo custo para alerta de eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) utilizando o conceito de Internet das Coisas, com o intuito de mitigar os impactos desses eventos na produção animal.

A presente tese foi dividida em três capítulos, sendo cada capítulo no formato de artigo científico. O primeiro capítulo foi responsável por apresentar um mapeamento, por meio de uma revisão sistemática, das definições (parâmetros numéricos) de ondas de calor e ondas de frio utilizados em estudos envolvendo animais de produção. No segundo capítulo, foi proposto o desenvolvimento de uma nova definição (parâmetros numéricos) de onda de calor e onda de frio para os sistemas de produção animal de maior relevância econômica no Brasil (aves, bovinos e suínos) em suas diferentes fases de produção. Por fim, no terceiro e último capítulo, foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de alerta de evento extremo de temperatura (onda de calor e onda de frio) para aves, bovinos e suínos, utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT), baseando-se nos parâmetros numéricos definidos no capítulo anterior.

Referências

- ABAURREA, J.; ASIN, J.; CEBRIAN, A. C.; CENTELLES, A. On the need of a changing threshold in heat wave definition. *Geophysical Research Abstract*, v. 8, p. 762-775, 2006.
- ABPA. Relatório Anual 2022. Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2022.
- ALBRIGHT, L. D. Environment control for animals and plants. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers – ASAE - Michigan. 453p. 1990.
- ALERT-AS. Centro Virtual para Avisos de Eventos Meteorológicos Severos para o Sul da América do Sul. 2022. Disponível em: <<https://alertas2.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- AVICULTURA INDUSTRIAL. Onda de calor mata meio milhão de galinhas na ‘capital do ovo’. 2012. Disponível em: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/onda-de-calor-mata-meio-milhao-de-galinhas-na-capital-do-ovo/20121129-083535-Y241>>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- AVINEWS. Onda de calor leva 80 mil frangos à morte no Uruguai. 2019. Disponível em: <<https://avinews.com/pt-br/onda-de-calor-leva-80-mil-frangos-a-morte-no-uruguai/>>. Acessado em: 21 dez. 2021.
- AVISITE. No Uruguai, quase 400 mil aves morreram devido a onda de calor. 2022. Disponível em: <<https://www.avisite.com.br/no-uruguai-quase-400-mil-aves-morreram-devido-a-uma-onda-de-calor/>>. Acessado em: 22 jun. 2022.
- BUFFINGTON, D. E.; CANTON, G. H.; PITT, D. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows. *Trans. ASAE*, v. 24, p. 711-714, 1981.
- CANAL RURAL. Tristeza: frio surpreende pecuaristas e causa morte de gado em Mato Grosso. 2020. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/pecuaria/tristeza-frio-surpreende-pecuaristas-e-causa-morte-de-gado-em-mato-grosso/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

- CANAL RURAL. Vídeo: centenas de bois morrem em onda de calor extremo. 2022. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/pecuaria/centenas-de-bois-morrem-em-onda-de-calor-de-mais-de-40-c-veja-video/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- CASTRO JUNIOR, S. L., BALTHAZAR, G. R., SILVA, I. J. O. 2021. Development and validation of a mobile APP for the diagnosis of heat stress in livestock animals. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*. 6, 209-222.
- COLLIER, R. J., ZIMBELMAN, R. B. Heat stress effects on cattle: what we know and what we don't know. *Proc. of the Southwest Nutrition and Management Conference, The University of Arizona, Tucson, February 23rd. 2007.*
- EMBRAPA. Anuário Leite 2021. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1132875/anuario-leite-2021-saude-unica-e-total>>. Acesso em: 15 mai 2022.
- ESMAY, M.L. Principles of animal environment. Westport: Avi, 1982. 325p.
- EXAME. Verão Francês registra 1500 mortes relacionadas ao forte calor. EXAME. 2019. Disponível em: <<https://exame.com/mundo/verao-frances-registra-1500-mortes-relacionadas-ao-forte-calor/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- EXAME. 2022. Não é só no Brasil: onda de calor 45 ° atinge Argentina e Uruguai. Disponível em: <<https://exame.com/agro/nao-e-so-no-brasil-onda-de-calor-de-45o-atinge-argentina-e-uruguai/>>. Acessado em: 20 jun. 2022.
- FAO. Livestock Primary. FAO STAT. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>>. Acesso em: 15 fev 2020.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Em onda extrema de frio no país, temperatura chega a -7,8°C em SC. 2021. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2021/07/em-onda-extrema-de-frio-no-pais-temperatura-chega-a-78oc-em-sc.shtml>>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- FREEMAN, B. M. The domestic fowl in biomedical research: physiological effects of the environment. *World's Poultry Science Journal*, v.44, 44-60p., 1988.
- FREITAS, L. C. S. R.; CAMPOS, A. T.; CHIASSI, L.; YANAGI-JUNIOR, T.; CECCHIN, D. Fuzzy index for swine thermal comfort at nursery stage based on behavior. *DYNA*, v. 84, pp. 201-207, 2017.
- GARCÍA-HERRERA R.; DÍAZ J.; TRIGO R.M.; LUTERBACHER J.; FISCHER E.M. A Review of the European Summer Heat Wave of 2003. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.40, p. 267-306, 2010.
- GLOBO. Número de mortos por onda de calor no Paquistão chega a 800. GLOBO. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/06/numero-de-mortos-por-onda-de-calor-no-paquistao-chega-a-800.html>>. Acesso em: 27 fev. 2020.
- GLOBO RURAL. Onda de Calor na Coreia do Sul mata 830 mil frangos, além de outras aves. 2012. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2012/08/onda-de-calor-mna-coreia-do-sul-mata-830-frangos-alem-de-outras-aves.html>>. Acessado em: 20 dez. 2021.
- GLOBO RURAL. Onda de calor matou mais de um milhão de aves em Bastos (SP), estima Sindicato Rural. 2020. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Criacao/Aves/noticia/2020/10/onda-de-calor-matou-mais-de-um-milhao-de-aves-em-bastos-sp-estima-sindicato-rural.html>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

- HEO, S.; NORI-SARMA, A.; LEE, K.; BENMARHNI, T.; DOMINICI, F.; BELL, M. L. The use of a quasi-experimental study on the mortality effect of a heat wave warning system in Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, 2019.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Glossário. 2022a. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Boletins Agroclimatológicos. 2022b. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Glossary of terms. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. 2012. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: 2022. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Projeções do Agronegócio 2020-21 a 2030-31*. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031.pdf/view>
- NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, v. 130, 2010.
- 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, 2018.
- PEREIRA, D. F. Metodologia para estimativa de bem-estar de matrizes de frango de corte utilizando monitoramento digital e construção de modelos de simulação. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas. 149p. 2005.
- PEREIRA, W. F.; FONSECA, L. S.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C.; NAVES, L. P. Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 170, 2020.
- PESQUISA FAPESP. Ondas de calor: Mais intensas, longas e frequentes. 2017. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/ondas-de-calor-mais-intensas-longas-e-frequentes/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- PORTAL INMET. Onda de Calor persiste no Rio Grande do Sul: Uruguaina-RS registrou 42,1°C, a maior temperatura no RS, desde 1963. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/onda-de-calor-atinge-seu-auge-e-máximas-passam-dos-40-c-no-rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- RIQUENA, R. S.; PEREIRA, D. F.; VALE, M. M.; SALGADO, D. D. Mortality prediction of laying hens due to heat waves. *Revista de Ciência Agronômica*. v. 50, n. 1, p. 18-26. 2019.
- SISDAGRO – Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária. *Conforto Térmico Bovino*. 2022. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/confortoTermico>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- TAO, X.; XIN, H. Temperature-humidity-velocity: index for market-size broilers. In: *ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING*, Las Vegas, 2003. Proceedings. Las Vegas: ASAE, 2003. ASAE Annual International Meeting. Paper n. 034037.

- TERRA. Campo Grande (MS) quebra recorde histórico de calor mais uma vez. 2020. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/climatempo/campo-grande-ms-quebra-recorde-historico-de-calor-mais-uma-vez,25de0e3091cdba2785b46d2ccd8a7d3c88pjb7t.html>>. Acesso em: 21 dez. 2021.
- THOM, E.C. The discomfort index. Weatherwise, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.
- UNITED NATIONS POPULATION DIVISION - UNPD. World Urbanization Prospects: The 2017. 2017. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Probabilistic/Population/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.
- UOL. Onda de calor varre Europa e provoca mais de 35 mil mortes. UOL. 2003. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/ultimas-noticias/redacao/2010/12/09/2003-onda-de-calor-varre-a-europa-e-provoca-mais-de-35-mil-mortes.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- VALE, M.M.; MOURA, D. J. D.; NÄÄS, I. D. A.; PEREIRA, D. F. Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age. Brazilian Journal of Poultry Science. v. 12, n. 4, p. 279-285. 2010.
- VEJA. Onda de calor leva temperaturas de quase 50°C para Índia e Paquistão. 2022. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/mundo/onda-de-calor-leva-temperaturas-de-quase-50c-para-india-e-paquistao/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- WMO – World Meteorological Organization. Global Climate in 2015-2019: Climate Change Accelerates. 2019. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates#:~:text=The%20WMO%20report%20on%20The,C%20compared%20to%202011%2D2015>. Acessado em: 10 jan 2021.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho possui como objetivo geral: desenvolver um sistema de baixo custo para alerta de eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) destinado aos sistemas de produção animal de maior relevância econômica (aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos) utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT – Internet of Things).

2.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral proposto, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- i) Definir os parâmetros numéricos de ondas de calor e de ondas de frio para as diferentes fases de produção de aves de corte;
- ii) Definir os parâmetros numéricos de ondas de calor e de ondas de frio para as diferentes fases de produção de aves poedeiras;
- iii) Definir os parâmetros numéricos de ondas de calor e de ondas de frio para as diferentes fases de produção de bovinos de corte;
- iv) Definir os parâmetros numéricos de ondas de calor e de ondas de frio para as diferentes fases de produção de bovinos de leite;
- v) Definir os parâmetros numéricos de ondas de calor e de ondas de frio para as diferentes fases de produção de suínos;
- vi) Desenvolver um sistema de baixo custo para alerta de eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) utilizando o conceito de Internet das Coisas, a partir dos parâmetros definidos anteriormente para cada sistema produtivo animal.

3. ONDA DE CALOR E DE FRIO PARA ANIMAIS DE PRODUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Resumo: Este estudo apresenta como objetivo identificar a partir de uma revisão sistemática, os parâmetros utilizados para definir (caracterizar) eventos extremos climáticos de onda de calor e de onda de frio em artigos científicos que analisam o impacto/efeito destes eventos em animais de produção. O presente trabalho trata-se de uma revisão sistemática e foi desenvolvido em seis etapas. A primeira etapa foi responsável por definir os animais e as bases científicas para aplicação da pesquisa. Na sequência, foi definido e aplicado as “strings” de busca nas bases selecionadas anteriormente, a partir da determinação das palavras-chave e idiomas utilizados para a pesquisa. Em um terceiro momento, realizou-se o processo de identificação dos estudos nas bases científicas. Após a identificação, foi feito um processo de triagem, excluindo-se os trabalhos duplicados, estudos que não se tratava de artigos científicos e estudos que não faziam parte do contexto da pesquisa (observados a partir da leitura título e do resumo). Na quinta etapa, foi feita a elegibilidade dos trabalhos que foram incluídos para a análise e, portanto, nesta etapa excluiu-se os estudos que não estivessem relacionados com onda de calor e/ou de onda de frio no contexto de produção animal. Por fim, na última etapa foram analisados os resultados, identificando os parâmetros numéricos utilizados em cada estudo para se caracterizar uma onda de calor e/ou uma onda de frio. Nos resultados desta revisão são apresentados os artigos encontrados nas bases, bem como os parâmetros utilizados em cada artigo para se definir uma onda de calor e de frio. Como principal conclusão, o presente estudo averiguou que não existe um padrão nos parâmetros numéricos utilizados para se caracterizar os eventos de onda de calor e onda de frio nos trabalhos envolvendo animais de produção, sendo utilizado diferentes critérios para se caracterizar esses eventos.

Palavras-Chave: Anomalias Climáticas; Estresse Térmico; Eventos Extremos de Temperatura; Mudanças Climáticas; Temperatura Crítica; Produção Animal.

Introdução

Os impactos das mudanças do clima vêm se intensificando nos últimos anos. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO) entre 2015 e 2019 foi o período de cinco anos mais quente já registrado e neste mesmo período houve um aumento da presença de condições meteorológicas extremas (WMO, 2019). Dentre essas condições meteorológicas extremas, destacam-se a ocorrência de eventos extremos de temperatura, como as ondas de calor e as ondas de frio. Ainda, segundo a WMO (2019), as ondas de calor no período entre 2015 e 2019 foram classificadas como o perigo mais mortal dentre os eventos climáticos e afetaram todos os continentes do planeta, onde foram responsáveis por diversos recordes de temperatura. No entanto, conforme apontam López-Bueno et al. (2020), em algumas regiões do planeta, existe maior risco de impacto para a população em função de ondas de frio do que devido as ondas de calor. Tais fatos, demonstram que nos últimos anos, tanto ondas de calor, quanto ondas de frio podem ser prejudiciais aos seres vivos e, merecem cenário de destaque mediante as mudanças climáticas.

No contexto do sistemas de produção animal, nas últimas décadas, ocorreram vários eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) em lugares como: Canadá (Bishop-Williams et al. 2015); Bélgica (Cox et al. 2016); Brasil (Avicultura Industrial, 2012; Nascimento et al. 2014; Riquena et al. 2019; Globo Rural; 2020); França (Morignat et al. 2014; Morignat et al. 2018); Itália (Vitali et al. 2009; Crescio et al. 2010; Vitali et al. 2015); Uruguai (Saravia et al. 2011), dentre outros países. Esses eventos geraram quedas de produtividade e/ou a mortalidade de parte dos rebanhos. Esses eventos geram impacto no bem-estar e desempenho produtivo dos animais (Brown-Brandl et al. 2005; Lees et al 2019; Renaudeau, 2020), geram prejuízos financeiros aos produtores e podem causar desequilíbrios econômicos regionais (CEPEA, 2020), em função da diminuição da oferta de produtos de origem animal no mercado.

Em algumas regiões, as ondas de calor já vêm ocorrendo com maior frequência, duração e intensidade (Meehl e Tebaldi, 2004; Li e Zha, 2020; IPCC, 2022). Além dos impactos gerados pelas ondas de calor e ondas

de frio nos últimos anos em diferentes locais do planeta e em diferentes setores, estima-se para os próximos anos, segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), um aumento da presença de ondas de calor e um possível aumento da presença de ondas de frio (IPCC, 2012). Caso os apontamentos feitos pelo IPCC estejam corretos, será necessário que os produtores rurais estejam preparados para buscar mitigar os riscos advindos dos impactos desses eventos (Bishop-Williams et al. 2015).

Para isso, entender o conceito de onda de calor e de onda de frio, torna-se importante. Na literatura mundial, a definição abstrata desses eventos é bem difundida, entendendo-se uma onda de calor como um “um período de clima quente anormal e desconfortável” (IPCC, 2022) ou “um período de tempo anormal e desconfortavelmente quente” (NOAA, 2022) e uma onda de frio como um “período de muito frio” ou “queda rápida na temperatura em 24 horas” (AMS, 2022). No entanto, ao tratar-se de uma definição mais concreta, contendo parâmetros numéricos para a caracterização desses eventos, observa-se na literatura de diferentes áreas que não há um padrão definido (You et al. 2017). Em geral, os parâmetros utilizados nos trabalhos científicos variam em função do local de ocorrência (Robinson, 2001; Abaurrea et al. 2006; Vale et al. 2010; Perkins e Alexander, 2013). Na literatura mundial, uma onda de calor (ou de frio), em geral, é caracterizada principalmente pela sua intensidade (temperatura) e duração (dias) (Nori-Sarma et al. 2019). Em algumas situações, leva-se em consideração a temperatura acima (ou abaixo) da média regional para se caracterizar os eventos de onda de calor e onda de frio, respectivamente. Na produção animal, utiliza-se ainda, em alguns casos (Saravia et al. 2011; Nascimento et al. 2014; Riquena et al. 2019; Brito et al. 2020), os valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para caracterizar tais eventos.

Considerando, a dispersão presente na literatura sobre os parâmetros numéricos utilizados para definir esses eventos (You et al. 2017), alguns trabalhos científicos, têm apresentado propostas para o desenvolvimento de novas definições (‘parâmetros numéricos’) para eventos extremos de temperatura, tais, como onda de calor (Robinson, 2001; Radinovic e Curié, 2012; McCarthy, Armstrong e Armstrong, 2019; Kent et al. 2014). Na área de produção animal, ainda não foi apresentada a proposta de uma definição concreta acerca destes eventos. Tal fato faz com que alguns estudos envolvendo os sistemas de produção animal, como, por exemplo, Riquena et al. (2019), Saravia et al. (2011) e Nienaber et al (2007), utilizem mais de um critério para caracterizar e, posteriormente, analisar o impacto de um evento extremo de temperatura.

Portanto, torna-se relevante mapear quais são os parâmetros numéricos que estão sendo utilizados nos estudos científicos para se caracterizar uma onda de calor (ou de frio) nos sistemas de produção animal. Estudos bibliométricos e de revisão sistemática, mostram-se adequados para este modelo de pesquisa, pois fornecem ferramentas metodológicas capazes de realizar este tipo de mapeamento. Diante do apresentado, este estudo tem como objetivo identificar, a partir de uma revisão sistemática, os parâmetros numéricos utilizados para definir eventos extremos climáticos de onda de calor e de onda de frio em artigos científicos que analisam o impacto/efeito destes eventos em animais de produção.

Material e Métodos

O presente trabalho trata-se de uma revisão sistemática e foi desenvolvido em seis etapas. A primeira etapa foi responsável por definir os animais e as bases científicas para aplicação da pesquisa. Na sequência, foi definido e aplicado as “strings” de busca nas bases selecionadas anteriormente, a partir da determinação das palavras-chave e idiomas utilizados para a pesquisa. Em um terceiro momento, realizou-se o processo de

identificação dos estudos nas bases científicas. Após a identificação, foi feito um processo de triagem, excluindo-se os trabalhos duplicados, estudos que não se tratava de artigos científicos e estudos que não faziam parte do contexto da pesquisa (observados a partir da leitura título e do resumo). Na quinta etapa, foi feita a elegibilidade dos trabalhos que foram incluídos para a análise e, portanto, nesta etapa excluiu-se os estudos que não estivessem relacionados com onda de calor e/ou de onda de frio no contexto de produção animal. Por fim, na última etapa foram analisados os resultados, identificando os parâmetros numéricos utilizados em cada estudo para se caracterizar uma onda de calor e/ou uma onda de frio.

A pesquisa buscou mapear artigos científicos que envolvessem os eventos climáticos de onda de calor e/ou onda de frio e os principais animais de produção terrestres (aves de corte, aves de postura, bovinos de corte, bovinos de leite, bubalinos, caprinos, codornas, equinos, ovinos, patos, perus e suínos). A revisão sistemática foi realizada, a partir de consultas nas bases científicas Web of Science, Science Direct e Scopus. Determinou-se as palavras-chave para os animais e para os eventos mencionados em três idiomas: inglês, português e espanhol. Após este processo, elaborou-se as *strings* de busca utilizando os conectores “AND”; “OR”; “()” e “*”. A seguir, nos Quadros 1 e 2, é possível observar as *strings* de busca utilizadas para onda de calor e onda de frio, respectivamente.

Animal	String
Ave de Corte	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("av* de corte*" OR "frango*") OR ("chick*" OR "poultry" OR "pullet" OR "broiler*") OR ("pollo* de engorde" OR "pollo* de corte"))))
Ave de Postura	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("ave* poedeira*" OR "galinha* poedeira*" OR "avicult* de postura") OR ("laying hen*" OR "lay* chicken*") OR ("gallina* ponedora*" OR "galina* huevo*"))))
Bovino de Corte	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("bovin*" OR "touro*" OR "pecu*ria" OR "bezerro*") OR ("cattle*" OR "bovine*" OR "beef herd" OR "livestock" OR "bull*") OR ("ganado* de corte" OR "ganado vacuno" OR "toro*"))))
Bovino de Leite	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("vaca*" OR "bovin*" OR "leite") OR ("bovine*" OR "cow*" OR "dairy" OR "milk") OR ("vaca* lechera*" OR "gado de leche" OR "ganado de leche"))))
Suíno	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("su?no" OR "porco*" OR "matriz*" OR "cacha?o*") OR ("swine" OR "pig*" OR "sows" OR "breeding herd*") OR ("cerd?" OR "porcin*" OR "verraco*" OR "lech?n" OR "cochin*" OR "chanch*" OR "puerc*"))))
Bubalino	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("bubalin*" OR "b?fal*") OR ("buffalo*" OR ("b?bal*" OR "b?falo* de ?gua"))))
Caprino	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("caprino*" OR "bode*" OR "cabr*") OR ("goat*" OR "caprine*") OR ("chiv*"))))
Codorna	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "ola* de calor") AND ((("codorn*") OR ("quail*") OR ("codorni*"))))
Equino	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("equin*" OR "cavalo*" OR "égua*" OR "égua*" OR "potro*" OR "ganh?o") OR ("equine*" OR "horse" OR "nag" OR "foal" OR "stallion") OR ("caballo" OR "yegua" OR "semental" OR "capón*" OR "poni" OR "potranc*" OR "corcel"))))
Ovino	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("ovin*" OR "ovelha*" OR "cordeir*" OR "carneiro*") OR ("sheep*" OR "lamb*") OR ("corder*" OR "ovej*" OR "camero*" OR "borreg*"))))
Pato	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("pato*" OR "pata*" OR "marreco*") OR ("duck*" OR "drake") OR ("pato dom?stico"))))
Peru	((("onda* de calor" OR "heat wave*" OR "heatwave*" OR "ola* de calor") AND ((("peru*") OR ("turkey*") OR ("pavo" OR "guajolote*" OR "pisco*"))))

Quadro 1. Strings de busca para ondas de calor

Animal	String
Ave de Corte	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("ave* de corte*" OR "frango*") OR ("chick*" OR "poultry" OR "pullet" OR "broiler*")) OR ("pollo* de engorde" OR "pollo* de corte"))))
Ave de Postura	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("ave* poedeira*" OR "galinha* poedeira*" OR "avicult* de postura") OR ("laying hen*" OR "lay* chicken*") OR ("gallina* ponedora*" OR "galina* huevo*"))))
Bovino de Corte	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("bovin*" OR "touro*" OR "pecu?ria" OR "bezerro*") OR ("cattle*" OR "bovine*" OR "beef herd" OR "livestock" OR "bull*") OR ("ganado* de corte" OR "ganado vacuno" OR "toro*"))))
Bovino de Leite	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("vaca*" OR "bovin*" OR "leite") OR ("bovine*" OR "cow*" OR "dairy" OR "milk") OR ("vaca* lechera*" OR "gado de leche" OR "ganado de leche"))))
Suíno	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("su?no" OR "porco*" OR "matriz*" OR "cacha?o*") OR ("swine" OR "pig*" OR "sows" OR "breeding herd*") OR ("cerd?" OR "porcin*" OR "verraco*" OR "lech?n" OR "cochin*" OR "chanch*" OR "puerc*"))))
Bubalino	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("bubalin*" OR "b?fal*") OR ("buffalo*") OR ("b?bal*" OR "b?falo* de ?gua"))))
Caprino	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("caprino*" OR "bode*" OR "cabr*") OR ("goat*" OR "caprine*") OR ("chiv*"))))
Codorna	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("codorn*") OR ("quail*") OR ("codorni*"))))
Equino	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("equin*" OR "caval*" OR "egua" OR "égua*" OR "potro*" OR "garanh?o") OR ("equine*" OR "horse" OR "nag" OR "foal" OR "stallion") OR ("caballo" OR "yegua" OR "semental" OR "capón*" OR "poni" OR "potranc*" OR "corcel"))))
Ovino	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("ovin*" OR "ovelha*" OR "cordeir*" OR "carneiro*") OR ("sheep*" OR "lamb*" OR "ewe*" OR "ram*") OR ("corder*" OR "ovej*" OR "carnero*" OR "borreg*"))))
Pato	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("pato*" OR "pata*" OR "marreco*") OR ("duck*" OR "drake") OR ("pato dom?stico"))))
Peru	((("onda* de frio" OR "cold wave*" OR "ola* de fr?o") AND ((("peru*") OR ("turkey*") OR ("pav*" OR "guajolote*" OR "pisco*"))))

Quadro 2. Strings de busca para ondas de frio

O período de busca compreende todos os anos disponíveis até o mês de dezembro do ano de 2020. Na plataforma da Web of Science, Science Direct e Scopus foi selecionado o método de busca por “tópico”, que abrange a busca dos termos pesquisados no “título”, “resumo” e “palavras-chave” dos artigos presentes em cada base.

A partir da identificação dos estudos nas bases científicas, aplicou-se uma sequência de filtros (triagem). O primeiro filtro foi a exclusão de artigos duplicados. Outro filtro aplicado na sequência, foi a seleção apenas de artigos científicos, excluindo-se, portanto, qualquer outro tipo de trabalho das análises posteriores. Em seguida, a partir da leitura do título e do resumo de cada trabalho, foram removidos também os trabalhos que não faziam parte do contexto deste estudo (artigos de outras áreas do conhecimento). Por fim, no último filtro, na fase de elegibilidade, iniciou-se a busca pelos artigos em que o evento onda de calor e/ou onda de frio faziam parte do foco do estudo, eliminando-se os demais trabalhos. Este último filtro foi aplicado, pois identificou-se que muitos trabalhos presentes nos resultados das buscas, utilizavam o termo “onda de calor” ou “onda de frio” apenas como um “pano de fundo” para o desenvolvimento de outros tipos de trabalhos, como, por exemplo, estudos com foco em estresse térmico.

Após a aplicação dos filtros, iniciou-se a identificação dos parâmetros utilizados para definir onda de calor e/ou onda de frio em cada um dos trabalhos selecionados. A partir das análises dos artigos, elaborou-se um quadro para sintetizar os dados obtidos. No quadro foi inserida uma linha para cada artigo, contendo os seguintes dados (colunas): tipo de animal analisado no estudo; ano de publicação; autores; fonte da definição; parâmetro (temperatura); parâmetro (dias); parâmetro (temperatura acima da média) e parâmetro (ITU). Por fim, na sequência discutiu-se os resultados obtidos e transcritos no quadro. Destaca-se que o objetivo desse trabalho não

foi discutir os resultados dos impactos das ondas de calor (ou de frio) nos sistemas de produção animal, mas sim mapear os parâmetros numéricos utilizados para se caracterizar estes eventos.

Resultados

A partir da aplicação da pesquisa nas três bases científicas utilizadas neste estudo (Web of Science, Scopus e Science Direct), obteve-se um total de 743 trabalhos para ondas de calor e 74 trabalhos para ondas de frio, totalizando 817 trabalhos. A partir disso, aplicou-se filtros para a remoção de artigos científicos duplicados; remoção de resultados que não se caracterizavam como artigo científico (livros, patentes etc.) e; remoção de artigos que não faziam parte do contexto da pesquisa. Após a aplicação dos filtros mencionados, obteve-se 256 artigos. Após a aplicação dos filtros, verificou-se que dentre estes 256 artigos, a maior parte dos estudos, apresentam o termo “onda de calor” e/ou “onda de frio” apenas como uma justificativa (“pano de fundo”) para estudos envolvendo estresse térmico. Por fim, para análise dos parâmetros numéricos de onda de calor e/ou onda de frio, somente uma pequena parcela dos estudos (37 artigos (4,52% do total de trabalhos)) analisam o impacto/efeito desses eventos em animais de produção. Resultados de buscas similares foram encontrados no estudo de revisão sistemática feita por Xu et al. 2016, na qual analisaram estudos que observavam o impacto de ondas de calor na mortalidade de humanos, utilizando diferentes definições. No trabalho de Xu et al. 2016, foram encontrados no primeiro levantamento 1.608 estudos e, após aplicação dos filtros, restaram apenas 60 trabalhos para análise (3,73% do total de trabalhos). A seguir, na Figura 1, ilustra-se o diagrama com os procedimentos para a realização da revisão sistemática.



Figura 1 - Procedimentos para a realização da Revisão Sistemática

Dentre os 37 artigos separados para análise neste trabalho, apenas 01 artigo (Morignat et al. 2018) refere-se ao estudo de onda de frio. Contudo, este mesmo artigo também realiza análise para onda de calor e, portanto, também foi contabilizado para os estudos envolvendo onda de calor. Diante disso, foram analisados 37 estudos para onda de calor e 01 estudo para onda de frio. A seguir, ilustra-se na Figura 2, a quantidade histórica de artigos publicados sobre eventos extremos de temperatura (onda de calor e onda de frio) para animais de produção.

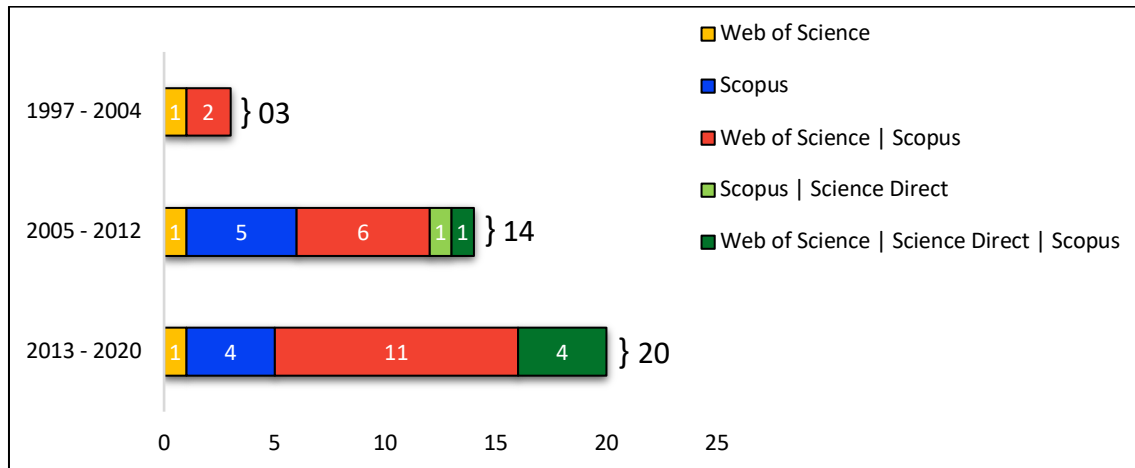


Figura 2 - Quantidade de artigos científicos publicados sobre eventos extremos de temperatura (ondas de calor e ondas de frio) para animais de produção nas bases Web of Science, Scopus e Science Direct

Na Figura 2, os resultados apresentados no gráfico de barras, mostram um avanço no número de trabalhos publicados no decorrer dos anos para eventos extremos de temperatura. Esse avanço, demonstra uma maior atenção da comunidade científica para com a ocorrência de tais eventos climáticos afetando as cadeias de produção animal. Na revisão sistemática sobre os impactos das mudanças climáticas na pecuária, desenvolvida por Escarcha, Lassa e Zander (2018), observa-se um forte crescimento de publicações após os anos 2000, havendo a maior parte das publicações após 2013, assim como nos resultados encontrados neste estudo.

Nesta revisão foram encontrados trabalhos para sete tipos de animais de produção (aves de corte, aves de postura, bovinos de corte, bovinos de leite, bubalinos, ovinos e suínos). Já para caprinos, codornas, equinos, patos e perus, não foram encontrados estudos. Adiante, na Figura 3, apresenta-se a distribuição dos trabalhos em função dos tipos de animais analisados nos estudos (A); dos tipos de estudos que foram realizados (B) e dos países em que os estudos foram produzidos (C).

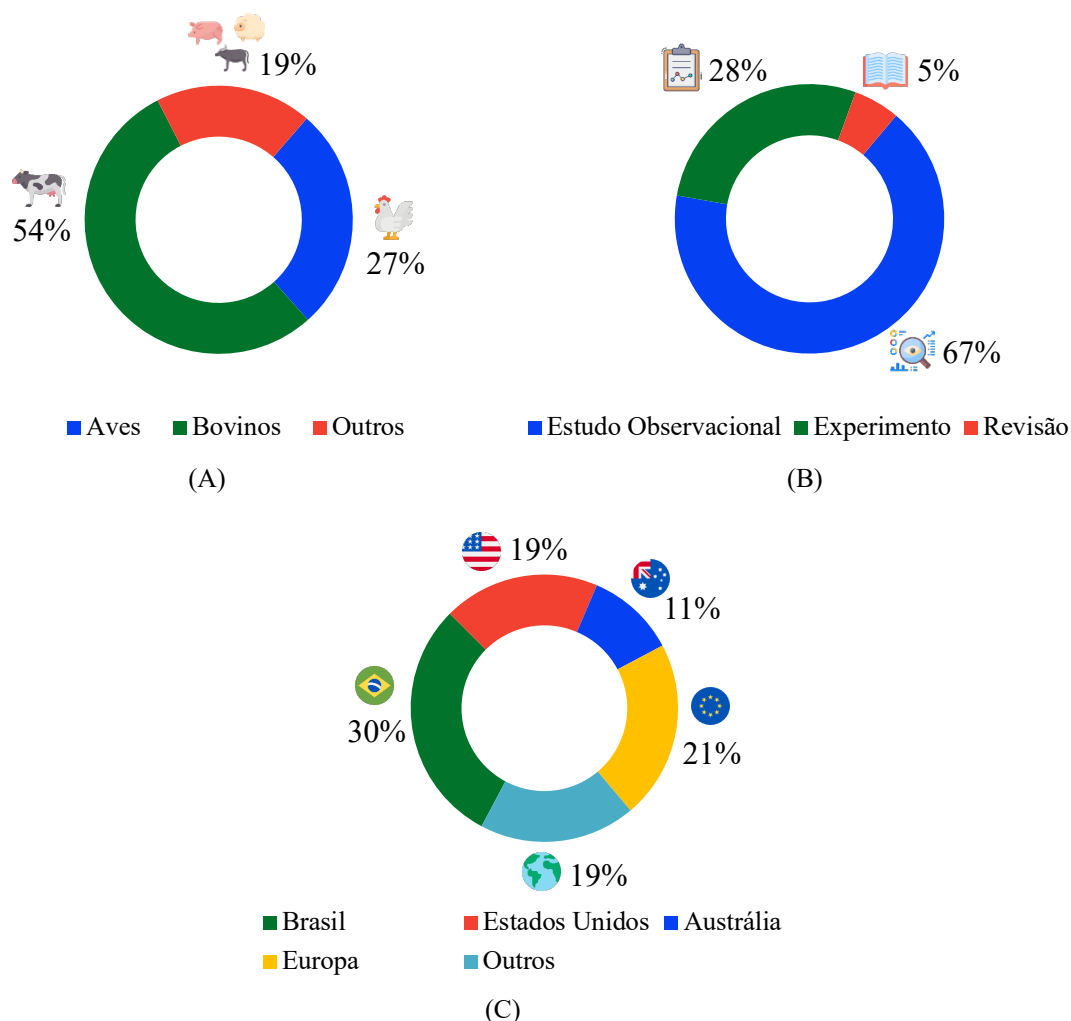


Figura 3 - Distribuição de artigos em função dos tipos de animais (A) tipos de estudos (B) e do país em que o estudo foi produzido (C)

Considerando-se os trabalhos analisados, nota-se que a maior parte dos artigos (81%) se destina para o estudo de ondas de calor em aves e bovinos, havendo apenas 19% dos estudos para outros animais. Destaca-se a ausência, principalmente de estudos para suínos, pois está entre as carnes mais consumida mundialmente (USDA, 2022; FAO, 2022) e, além disso, tem-se que os suínos, são animais pouco resistentes a altas temperaturas (Renaudeau et al. 2011). Outro ponto interessante a ser destacado é a origem dos estudos (primeiro autor), sendo o Brasil e os Estados Unidos responsáveis por 49% dos trabalhos publicados. Ainda, destaca-se que dentre os trabalhos produzidos nos Estados Unidos, tem-se que 85% são estudos sobre bovinos de corte. Já os estudos publicados no Brasil possuem uma maior variedade quanto aos tipos de animais.

Com relação aos tipos de estudos, observou-se que a maior parte (67%) se trata de estudos observacionais. Os demais trabalhos estão divididos em experimentos (28%) e estudos de revisão (5%). Em geral, os estudos observacionais verificados nesse levantamento, apresentam análises do efeito/impacto de ondas de calor em sistemas de produção afetados pelo evento extremo. Torna-se interessante apresentar também quanto aos métodos utilizados nos estudos encontrados. Nos estudos observacionais, a maior parte dos trabalhos realizam uma análise conjunta de dados históricos meteorológicos (para caracterização das ondas de calor) e de dados de produção do rebanho (desempenho produtivo e mortalidade). Já nos estudos experimentais, foram trabalhos de simulação de ondas de calor no ambiente de câmaras climáticas.

Outro ponto relevante observado nos trabalhos é a origem dos parâmetros para caracterização de ondas de calor. Muitos dos critérios (54%) apresentam os parâmetros, mas não mencionam a fonte. Os demais critérios (46%) utilizados nos trabalhos provém de diferentes fontes. A seguir, apresenta-se no Quadro 3, os estudos encontrados nesta pesquisa, os quais abordam, utilizando diferentes métodos, o impacto/efeito de ondas de calor (ou de frio) em animais de produção.

Animal	Trabalho	Fonte da Definição	Parâmetros			
			Temperatura Máxima	Duração (em dias)	Temperatura Acima da Média	Índices
Ave de Corte	Mello et al (2018)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-
	Vale et al (2016)	Kent et al (2014)	$30,4^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	-
	Abdelqader e Al-Fataftah (2013)	Autor	43°C	≥ 1 dia	-	-
	Azoulay et al (2011)	Autor	35°C	≥ 1 dia	-	-
	Vale et al (2010)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	ITU $\geq 23^{\circ}\text{C}$
	Vale et al (2008)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	ITU $\geq 23^{\circ}\text{C}$
	Moura et al (2008)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	ITU $\geq 23^{\circ}\text{C}$
Ave de Postura	Riquena et al (2019)	Autor	-	≥ 5 dias	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	-
		Autor	-	≥ 3 dias	-	ITU > 81
		INMET	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 2 dias	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	-
		Rossato, Sartori e Missio (2003)	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-
	Wolc et al (2018)	Steadman (1979)	$> 38^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	-
	Lamarca et al (2018)	INMET	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 2 dias	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	-
Bovino de Corte	Sa et al (2018)	Shim et al (2017)	$\geq 33^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	-
	Taborda, Saravia e Espasandin (2018)	Cruz and Saravia (2008)	-	≥ 3 dias	-	ITU > 74 (14 horas seguidas)
			-	≥ 3 dias	-	Média do ITU > 74 (3 dias)
	Sullivan et al (2011)	Autor	-	≥ 3 dias	-	ICC ≥ 86 e CCA ≥ 40
	Gaughan et al (2010)	Autor	$\geq 30^{\circ}\text{C}$	-	-	-
	Gaughan, Holt e Pritchard (2009)	Autor	-	≥ 3 dias	-	ITU ≥ 75
	Brown Brandl et al (2008)	Autor	-	≥ 2 dias	-	ITU ≥ 79
	Nienaber et al (2007)	Hahn et al (1999)	-	-	-	ITU ≥ 79
		AMS	-	≥ 1 dia	-	-
	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-	-
	Brown Brandl et al (2005)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 1 dia	-	-
	Eigenberg et al (2000)	Autor	28°C	-	-	-
	Hahn (1999)	Autor	-	-	-	ITU ≥ 84
	Hahn e Mader (1997)	Autor	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-
Bovino de Corte e Leite	Morignat et al (2018)	Estatística	> 95 percentil	≥ 2 dias	-	-
			> 99 percentil	≥ 2 dias	-	-
Morignat et al (2014)	WMO	-	≥ 5 dias	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	-	
Bovino de Leite	Bishop-Williams et al (2016)	Environment Canada	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-
	Bishop-Williams et al (2015)	Environment Canada	$\geq 32^{\circ}\text{C}$	≥ 3 dias	-	-

	Vitali et al (2015)	Estatística	> 90 percentil (1971 – 2000)	≥ 3 dias	-	-
	Nascimento et al (2014)	Autor	≥ 32°C	≥ 3 dias	-	ITU > 81
	Saravia et al (2011)	Valtorta et al (2004)	-	≥ 3 dias	-	ITU > 72 (médio diário)
		Valtorta et al (2002)	-	≥ 3 dias	-	ITU > 72 (14 horas seguidas)
		Rodríguez et al (2003)	> 29°C	≥ 3 dias	-	-
	Lima et al (2008)	Nienaber and Hahn (2004), Huhnke et al. (2001), Hubbard et al. (1997)	-	≥ 3 dias	-	ITU ≥ 81
			≥ 32°C	≥ 3 dias	-	ITU ≥ 81
	Lacetera et al (2005)	Valtorta et al (2002)	-	≥ 3 dias	-	ITU > 72 (14 horas seguidas)
Bubalino	Pereira et al (2020)	Robinson (2001); Russo et al (2014); Beniston et al (2007)	35°C	≥ 4 dias	-	-
	Leu et al (2021)	Autor	≥ 40°C	≥ 3 dias	-	-
	Papanastasiou et al (2016)	IPCC (2013)	> 90 percentil (2007 – 2013)	≥ 1 dia	-	-
	Papanastasiou et al (2013)	IPCC	> 90 percentil (2007 – 2011)	≥ 1 dia	-	-
	Suíno	Quiniou and Noblet (1999)	≥ 25°C	≥ 3 dias	-	ITU > 74
		Renaudeau (2020)	Autor	≥ 32°C	≥ 3 dias	-
Animais (geral)	Barbosa, Cruz e Silva (2008)	WMO	-	≥ 6 dias	≥ 5°C	-

ITU = Índice de Temperatura e Umidade; ICC = Índice de Carga de Calor; CCA = Carga de Calor Acumulada.

Quadro 3 – Parâmetros para caracterização de ondas de calor utilizados nos estudos envolvendo animais de produção

Foram observados 37 estudos com um total de 47 definições (parâmetros), tendo em vista que houve estudos que utilizaram mais de um parâmetro para caracterização. Desse total de definições, houve algumas definições repetidas, havendo, portanto, um total de 36 definições diferentes. No que tange aos tipos de parâmetros utilizados para se caracterizar uma onda de calor, houve uma diversidade dos estudos, sendo que 10,8% dos trabalhos utilizaram parâmetros estatísticos; 37,8% dos trabalhos utilizaram o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) como parâmetro (indicador); 64,8% dos trabalhos utilizaram parâmetros fixos de temperatura. Ainda houve 8,1% dos trabalhos que não travaram um valor fixo e optaram por definir uma onda de calor a partir de uma determinada temperatura acima do considerado normal para a região. Ressalta-se que alguns trabalhos utilizavam mais de um critério para se definir uma onda de calor e, ainda, alguns critérios consistiam em utilizar mais de um parâmetro simultaneamente, como, por exemplo, fazendo uso da temperatura fixa e do ITU.

Notou-se um total de 16 valores diferentes para se definir temperatura; 06 valores diferentes para se definir a duração e; 08 valores diferentes para índices. Todos os estudos que utilizaram “temperatura acima da média” como parâmetro para se caracterizar uma onda de calor, fizeram uso de um único parâmetro ($\geq 5^{\circ}\text{C}$ acima da média). Os estudos que utilizaram parâmetros estatísticos consideraram uma onda de calor utilizando três diferentes limiares dos dados de temperatura da região em análise: ≥ 90 percentil (Papanastasiou et al 2013; Papanastasiou et al 2016; Vitali et al 2015), ≥ 95 percentil (Morignat et al. 2018) e ≥ 99 percentil (Morignat et al. 2018).

Para os trabalhos que utilizaram o ITU como referência, observou-se que não houve um padrão, havendo estudos que consideraram como onda de calor o ITU a partir de 72 (Lacetera et al. 2005; Saravia et al. 2011); a partir de 74 (Brito et al. 2020); a partir de 75 (Gaughan, Holt e Pritchard, 2009); a partir de 79 (Nienaber et al. 2007; Brown Brandl et al. 2008); a partir de 81 (Lima et al. 2008; Nascimento et al. 2014; Riquena et al. 2019) e a partir de 84 (Hahn, 1999). Para os estudos que utilizaram parâmetros fixos de temperatura para se caracterizar uma onda de calor, também foi observado uma grande variação dos valores. A partir de 32°C , foi o valor que mais se repetiu dentre os trabalhos analisados (37,8% do total de parâmetros identificados). Os demais artigos que utilizaram uma temperatura fixa como parâmetro, mostraram dispersão em seus valores (25°C ; 28°C ; 29°C ; 30°C ; 33°C ; 35°C ; 38°C ; 40°C e 43°C).

Em relação a duração de uma onda de calor, as pesquisas também demonstraram grande divergência, sendo que 32,4% dos estudos consideraram um evento extremo como sendo a partir de um dia; 10,8% a partir de dois dias; 48,65% a partir de três dias; 2,7% a partir de quatro dias; 5,4% a partir de cinco dias e 2,7% a partir de seis dias. Ainda quanto a duração, foi observado um padrão para aves de corte (≥ 1 dia de duração) e em estudos exclusivos para bovinos de leite (≥ 3 dias de duração). Houve 8,1% dos estudos que não mencionaram em seu conteúdo a quantidade de dias.

É possível observar que nos estudos analisados foram utilizadas diferentes categorias para se caracterizar uma onda de calor (temperatura fixa; estatística (percentis) e ITU) e, além disso, quando observado os valores utilizados dentro de cada categoria, foi verificado uma alta variação nos valores utilizados. Forte variação também foi captada quanto ao entendimento sobre a duração mínima de uma onda de calor. Nesse sentido, é possível afirmar diante dos resultados encontrados, que não há um padrão nos parâmetros numéricos utilizados para caracterizar uma onda de calor nos estudos envolvendo animais de produção. Portanto, como principal resultado desse estudo, relata-se a presença da grande diversidade de parâmetros numéricos para se caracterizar (definir) uma onda de calor nos artigos científicos envolvendo animais de produção. Tal resultado

vai ao encontro de afirmações encontradas na literatura, as quais apontam para a falta de uma definição universal para a caracterização de uma onda de calor (Kent et al. 2014; Leu et al. 2021; Xu et al. 2016; You et al. 2017).

O único estudo encontrado para onda de frio (Morignat et al. 2018) é focado na produção de bovinos. Esse mesmo estudo analisa também os impactos de ondas de calor nesses animais. Como critério para caracterização de ondas de frio, são utilizados parâmetros estatísticos (limiares de percentis: 1% das temperaturas mais frias e 5% das temperaturas mais frias). Neste estudo, para caracterizar ondas de calor, os autores utilizam de critérios semelhantes, sendo os limiares dos percentis de 95% e 99% (temperaturas mais quentes).

Discussão

A discussão acadêmica e científica sobre o efeito do estresse térmico (calor e frio) em animais de produção vem ocorrendo há várias décadas. É possível observar vários estudos sobre este assunto que datam desde a primeira metade do século XX, como, por exemplo: Bennion e Warren (1933); Conrad (1939); Wilson (1949); Thom (1959). Entretanto, a partir da década de 90 com o surgimento da ocorrência de eventos extremos gerando fortes perdas econômicas na produção animal, como, por exemplo, Chicago em 1995 (Hahn, 1999), Nebraska em 1999 (Nienaber et al. 2007), Europa em 2003 (García-Herrera et al. 2010), Dakota do Sul em 2007 (Brown-Brandl et al. 2008) e juntamente com o crescente interesse da sociedade sobre temas como aquecimento global e mudanças climáticas, passou-se de forma modesta, a partir do final da década de 90, aparecer estudos com foco específico na análise de ondas de calor impactando os sistemas de produção animal.

O primeiro ponto observado nos dados obtidos nesta revisão foi o número crescente de trabalhos publicados ao longo dos anos. Anteriormente ao ano de 1997, não foram encontrados trabalhos publicados nas bases científicas pesquisadas. Entre 1997 e 2004, identificou-se apenas três artigos. A partir de 2005, iniciou-se uma busca mais frequente por parte dos pesquisadores para entender os efeitos/impactos desses eventos em animais de produção, havendo entre 2005 e 2012, 14 estudos sobre o assunto. Nos anos seguintes (2013-2020), este crescimento permaneceu, havendo 20 estudos publicados. Esses valores nos mostram que o tema é pertinente e que vêm tomando a atenção científica. Somando-se a isso, considerando que haverá para as próximas décadas um aumento da população mundial (UNPD, 2017), seguido do aumento da produção dos rebanhos para atender as demandas futuras de consumo de alimentos de origem animal e; a previsão do aumento de eventos extremos de temperatura no futuro (IPCC 2012; IPCC 2022), deverá haver, portanto, uma contínua crescente de estudos sobre ondas de calor e ondas de frio afetando os sistemas de produção animal.

Dentre os resultados obtidos neste estudo, notou-se que a maior parte dos trabalhos encontrados na pesquisa não se tratava de estudos com foco em ondas de calor (ou de frio), mas sim, na maioria das vezes, de estudos com foco em estresse térmico animal. Nesse sentido, o uso das terminologias de “onda de calor” e/ou “onda de frio” são utilizadas em muitos trabalhos como uma justificativa (“pano de fundo”) para a realização de outros tipos de estudos, como, por exemplo “estresse térmico”. Averiguou-se também que grande parte dos artigos, trata-se de estudos observacionais, os quais verificam ondas de calor já ocorridas, fazendo uma análise dos impactos do evento nos sistemas de produção animal (mortalidade e produtividade). Apenas uma pequena fração dos trabalhos encontrados são experimentais e simulam o impacto da ocorrência de uma onda de calor.

Esse resultado mostra que há uma tendência, nessa linha de pesquisa, para a realização de estudos voltados para eventos extremos que já ocorreram, observando os seus efeitos/impactos nos animais. Ademais,

verifica-se também que há uma área de pesquisa pouco explorada, a qual estuda o impacto desses eventos por meio de simulações em câmara climática. Considerando as tendências que apontam para o aumento da intensidade, frequência e duração de ondas de calor nos próximos anos (IPCC, 2022), torna-se importante o entendimento sobre como tal alteração poderá afetar os sistemas de produção animal no futuro.

Outro ponto relevante, observado nos resultados deste trabalho, trata-se da comparação entre a quantidade de estudos realizados para ondas de calor, comparado com a quantidade de estudos realizados para ondas de frio. Considerando a quantidade superior de estudos voltados para a análise de ondas de calor, entende-se, que em geral, há uma maior preocupação da comunidade científica com a ocorrência de eventos extremos de alta temperatura. Corroborando com esta afirmação, tem-se que grande parte dos trabalhos analisados se remetem a estudos observacionais de impactos ocasionados por ondas de calor nos locais de produção. Esse fato, demonstra uma tendência de que as ondas de calor têm gerado mais impacto que as ondas de frio nas regiões em que estão presentes os sistemas de produção animal. O contexto apresentado vai ao encontro de inúmeros trabalhos científicos da área climática, os quais apontam para mudanças climáticas, com maior propensão de aquecimento em vários pontos do planeta (Diedhiou et al. 2018; Kim e Bae, 2021; Lionello e Scarascia, 2018). Entretanto, apesar da ausência de estudos de ondas de frio para animais de produção, observa-se que este evento tem ocorrido em vários locais ao redor do globo e gerado impactos nos sistemas de produção animal e nos seres humanos (Morignat et al. 2018; López-Bueno et al. 2020; Ho et al. 2020). Portanto, nota-se que há uma lacuna científica neste ponto, referente a ausência de estudos que compreendam melhor os impactos de ondas de frio em animais de produção.

Foram identificadas também nessa revisão, lacunas de pesquisa em função dos tipos de animais de produção analisados. A maior parte dos estudos encontrados, destinam-se para a análise de aves ou bovinos. Para animais, tais como, suínos, bubalinos e ovinos, foi identificado uma totalidade de seis trabalhos. Para outros animais, como, caprinos, codornas, equinos, patos e perus não foram identificados estudos. Dentre as cadeias produtivas de produção animal com maior destaque econômico no cenário mundial, estão aves, bovinos e suínos (USDA, 2022; FAO 2022). Assim, verifica-se que há uma carência de estudos no que tange o impacto/efeito de eventos extremos de temperatura em animais de produção, principalmente para a suinocultura. Tal cenário deve ocorrer em função de que mais de 55% da produção mundial de suínos ocorre de forma concentrada na China e nos Estados Unidos (USDA, 2022), países estes que possuem em sua maior parte os sistemas de produção de suínos de forma climatizada e, portanto, não são afetados diretamente por ondas de calor.

Como principal resultado desta pesquisa, observou-se neste trabalho uma grande diversidade de parâmetros encontrados nos estudos que envolvem eventos extremos de temperatura na produção animal. Os parâmetros utilizados nos trabalhos observados não podem ser caracterizados como corretos ou incorretos. A discussão apresentada, trata-se de que os parâmetros utilizados podem ser mais ou menos adequados para uma análise do efeito/impacto de um evento extremo de temperatura em animais de produção. Os resultados das análises feitas pelos estudos, possuem como princípio o que foi determinado como uma onda de calor (ou de frio) no início de cada estudo. Portanto, entende-se que a falta de um padrão para caracterizar um evento extremo de temperatura, tal como uma onda de calor e uma onda de frio, pode ser prejudicial para futuras análises, pois uma caracterização menos adequada desses eventos pode gerar análises com menores níveis de precisão acerca de seus efeitos/impactos nos animais de produção.

A presente confusão conceitual para se caracterizar uma onda de calor observada nos resultados deste trabalho deriva do reflexo da literatura global sobre ondas de calor, a qual também não apresenta um parâmetro único para se caracterizar este evento, mas sim vários parâmetros são encontrados (Xu et al. 2016). Nesse ponto, verifica-se na literatura global sobre este evento que diferentes estudos (Robinson, 2001; Radinovic e Curié, 2012; McCarthy, Armstrong e Armstrong, 2019; Kent et al. 2014) vêm apresentando propostas para uma caracterização concreta de ondas de calor. Estudos como estes, mostram uma tendência da literatura sobre ondas de calor, quanto a tentativa de elaborar novas definições, baseadas em parâmetros numéricos.

Conclusão

Os dados apresentados nos resultados deste estudo, mostraram um crescimento da quantidade de artigos publicados nos últimos anos, os quais envolvem o impacto/efeito de eventos extremos de temperatura em animais de produção. Observou-se que há uma quantidade consideravelmente maior de estudos envolvendo ondas de calor quando comparado com ondas de frio. Além disso, foi observado a presença de lacunas de pesquisa, considerando que a maior parte dos estudos são para aves e bovinos e pouco ou nenhum estudo para os demais animais de produção, com destaque para um pequeno número de trabalhos para suínos. Por fim, o presente estudo averiguou que não existe um padrão nos parâmetros numéricos utilizados para caracterizar os eventos de onda de calor e onda de frio nos trabalhos envolvendo animais de produção, sendo utilizado diferentes critérios para caracterizar esses eventos. Esses parâmetros utilizados nos artigos observados, advêm de diferentes fontes (institutos meteorológicos nacionais, parâmetros estatísticos e literatura) e, além disso, alguns estudos não apresentam a fonte dos parâmetros numéricos utilizados.

Para estudos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de trabalhos que proponham com base em aspectos científicos, a padronização de parâmetros numéricos para se caracterizar (definir) um evento extremo climático de onda de calor e de onda de frio para os diferentes tipos de animais de produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Número do Processo: 2019/25181-4), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa que possibilitou essa pesquisa.

Referências

Abaurrea J, Asin J, Cebrian AC, Centelles A (2006) On the need of a changing threshold in heat wave definition. *Geophysical Research Abstract* 8:762-775.

Abdelqader A, Al-Fataftah A (2013) Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. *Journal of Thermal Biology* 39:1-5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.11.001>

AMS – American Meteorological Society (2022) Glossary of Meteorology. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold_wave. Acessado em 20 jan 2022

Avicultura Industrial (2012) Onda de Calor mata meio milhão de galinhas na ‘capital do ovo’. <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/onda-de-calor-mata-meio-milhao-de-galinhas-na-capital-do-ovo/20121129-083535-Y241>. Acessado em 15 jan 2022

Azoulay Y, Druyan S, Yadgary L, Hadad Y, Cahaner A (2011) The viability and performance under hot conditions of featherless broilers versus fully feathered broilers. *Poultry Science* 90:19-29. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01044>

Barbosa JC, Cruz VF, Silva JS (2008) Strategies to Minimize Effects of Hot Climate Conditions on Livestock in Portugal: A Regional Approach. *ASABE Livestock Environment* 8:915-920.

Bennion NL, Warren DC (1933) Temperature and its effect on egg size in the domestic fowl. *Poultry Science* 12:69-82. <https://doi.org/10.3382/ps.0120069>

Bishop-Williams KE, Berke O, Pearl DL, Hand K, Kelton DF (2015) Heat stress related dairy cow mortality during heat waves and control periods in rural Southern Ontario from 2010–2012. *BMC Veterinary Research* 11:1-10. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0607-2>

Bishop-Williams KE, Berke O, Pearl DL, Hand K, Kelton DF (2016) Mapping rural community and dairy cow heat stress in Southern Ontario: A common geographic pattern from 2010 to 2012. *Archives of Environmental & Occupational Health* 71:199-207. <http://dx.doi.org/10.1080/19338244.2015.1058235>

Brito AA, Silva RB, Bueno JPR, Nascimento FGO, Moraes CA, Nascimento MRBM (2020) Occurrence of heat waves and the prediction of feed intake of sows raised in a tropical environment. *Brazilian Journal of Animal Science*. <https://doi.org/10.37496/rbz4920190038>

Brown-Brandl TM, Eigenberg RA, Hahn GL, Nienaber JA, Mader TL, Spiers DE, Parkhurst AM (2005) Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology* 49:285-296. <https://10.1007/s00484-004-0250-2>

Brown-Brandl TM, Nienaber JA, Hahn GL, Eigenberg RA (2008) Analysis of Meteorological Parameters of Different Extreme Heat Waves. 8th International Livestock Environment Symposium, ILES VIII.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (2020). Ovos/CEPEA: Preços avançam pela 3ª semana consecutiva. <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/ovos-cepea-precos-avancam-pela-3-semana-consecutiva.aspx>. Accessed 17 January 2021

Conrad RM (1939) The effect of high temperature on the blood calcium of the laying hen. *Poultry Science* 18:327-329. <https://doi.org/10.3382/ps.0180327>

Cox B, Gasparrini A, Catry B, Delcloo A, Bijmens E, Vangronsveld J, Nawrot TS (2016) Mortality related to cold and heat. What do we learn from dairy cattle? *Environmental Research* 149:231-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.018>

Crescio MI, Forastiere F, Maurella C, Ingravalle F, Ru G (2010) Heat-related mortality in dairy cattle: A case crossover study. *Preventive Veterinary Medicine* 97:191-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.09.004>

Diedhiou, A, Bichet A, Wartenburger R, Seneviratne SI, Rowell DP, Sylla MB, Diallo I, Todzo S, Touré NE, Camara M, Ngatchah BN, Kane NA, Tall L, Affholder F (2018) Changes in climate extremes over West and Central Africa at 1.5°C and 2°C global warming. *Environmental Research Letters* 13:6. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac3e5>

Eigenberg RA, Hahn GL, Nienaber JA, Brown-Brandl TM, Spiers DE (2000) Development of a new respiration rate monitor for cattle. *Transactions of the ASAE* 43:723-728.

Escarcha JF, Lassa JA, Zander KK (2018) Livestock under Climate Change: A systematic review of impacts and adaptation. *Climate* 54:1-17. <http://dx.doi.org/10.3390/cli6030054>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022) FAOSTAT – Livestock Primary. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>. Acessado em 01 fev 2022

García-Herrera R, Díaz J, Trigo RM, Luterbacher J, Fischer EM (2010) A Review of the European Summer Heat Wave of 2003. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40:267-306. <https://doi.org/10.1080/10643380802238137>

Gaughan JB, Holt SM, Pritchard RH (2009) Assessment of housing systems for feedlot cattle during summer. *Professional Animal Scientist* 25:633-639. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30767-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30767-1)

Gaughan JB, Bonner S, Loxton I, Mader TL, Lisle A, Lawrence R (2010) Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science* 88:4056-4067. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-2987>

Globo Rural (2020) Onda de calor matou mais de um milhão de aves em Bastos (SP), estima Sindicato Rural. <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Criacao/Aves/noticia/2020/10/onda-de-calor-matou-mais-de-um-milhao-de-aves-em-bastos-sp-estima-sindicato-rural.html>. Acessado em 15 jan 2022

Hahn GL (1999) Dynamic Responses of Cattle to Thermal Heat Loads. *Journal of Animal Science* 77:10-20. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_210x

Hahn GL, Mader TL (1997) Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Bottcher, R. W. and Hoff, S. J., eds. *American Society of Agricultural Engineer*, St. Joseph, MI. 563-571

Ho HC, Chan TC, Xu ZW, Huang CR, Li CC (2020) Individual- and community-level shifts in mortality patterns during the January 2016 East Asia cold wave associated with a super El Nino event: Empirical evidence in Hong Kong 711:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135050>

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special Report of Working Group I e II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. Acessado em 18 jan 2022

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf. Acesso em: 10 jun. 2022

Kent ST, McClure LA, Zaitchik BF, Smith TT, Gohlke JM (2014) Heat waves and health outcomes in Alabama (USA): the importance of heat wave definition. *Environmental Health Perspectives* 122:151-158. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307262>

Kim JB, Bae DH (2021) The impacts of global warming on climate zone changes over Asia based on CMIP6 Projections. *Earth and Space Science* 8:1-17. <https://doi.org/10.1029/2021EA001701>

Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, Ronchi B, Kuzminsky G, Nardone A (2005) Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. *International Journal of Biometeorology* 50:105-110. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0273-3>

Lamarca DSF, Pereira DF, Magalhães, MM, Salgado DD (2018) Climate Change in Layer Poultry Farming: Impact of Heat Waves in Region of Bastos, Brazil. *Brazilian Journal of Poultry Science* 20:657-664. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0750>

Lees AM, V. Sejian, A. L. Wallage, C. C. Steel, T. L. Mader, J. C. Lees, and J. B. Gaughan (2019) The impact of heat load on cattle. *Animals (Basel)* 9: 322. [doi:10.3390/ ani9060322](https://doi.org/10.3390/ani9060322)

Li L, Zha Y (2020) Population exposure to extreme heat in China: Frequency, intensity, duration and temporal trends. *Sustainable Cities and Society* 60:1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102282>

Lima KAO, Moura DJ, Naas IDA (2008) The occurrence of heat waves in São Paulo – Brazil using Temperature Humidity Index (THI) and Milk Decline Index (MDIC). *ASABE Livestock Environment* 8:881-888.

Lionello P, Scarascia L (2018) The relation between climate change in the Mediterranean region global warming. *Regional Environmental Change* 18:1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>

- Leu ST, Quiring K, Leggett KEA, Griffith SC (2021) Consistent behavioural responses to heatwaves provide body condition benefits in rangeland sheep. *Applied Animal Behaviour Science* 234:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105204>
- López-Bueno JA, Linares C, Sánchez-Guevara C, Martínez GS, Mirón IJ, Núñez-Peiró M, Valero I, Díaz J (2020) The effect of cold waves on daily mortality in districts in Madrid considering sociodemographic variables. *Science of The Total Environment* 749:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142364>
- McCarthy M, Armstrong L, Armstrong N (2019) A new heat wave definition for the UK. *Weather* 74:382-387. doi:10.1002/wea.3629
- Meehl GA, Tebaldi,C (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305:994-997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- Mello JLM, Boiago MM, Giampietro-Ganeco A, Berton MP, Souza RA, Ferrari FB, Souza PA, Borba H (2018) Physiological responses of broilers raised under simulated conditions of heat waves. *Archivos de Zootecnia* 67:220-227. <https://doi.org/10.21071/az.v67i258.3657>
- Morignat E, Perrin JB, Gay E, Vinard JL, Calavas D, Hénaux V (2014) Assessment of the Impact of the 2003 and 2006 Heat Waves on Cattle Mortality in France. *Plos One* 9:1-8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093176>
- Morignat E, Gay E, Vinard, JL, Sala C, Calavas D, Hénaux V (2018) Impact of heat and cold waves on female cattle mortality beyond the effect of extreme temperatures. *Journal of Thermal Biology* 78:374-380. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.001>
- Moura DJ, Vale MM, Naas IA, Rodrigues LHA, Oliveira SRM (2008) Estimating Poultry Production Mortality Exposed to Heat Wave Using Data Mining. *ASABE Livestock Environment* 8:865-872.
- Nascimento CCN, Nascimento MRBM, Silva NAM (2014) Ocorrência de ondas de calor no triângulo mineiro e alto paranaíba e seu efeito na produção leiteira e consumo alimentar em bovinos. *Bioscience Journal* 30:1488-1495.
- Nienaber JA, Hahn GL, Brown-Brandl TM, Eigenberg RA (2007) Summer Heat Waves – Extreme Years. *ASABE Annual International Meeting*. Paper Number: 074084.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2022) Glossary. <https://forecast.weather.gov/glossary.php?word=heat%20wave>. Acessado em 20 jan 2022
- Papanastasiou DK, Bartzanas T, Panagakis P, Zhang G, Kittas C (2016) Study of heat-stress levels in naturally ventilated sheep barns during heat waves: development and assessment of regression models. *International Journal of Biometeorology* 60:1637-1644
- Papanastasiou DK, Zhang G, Bartzanas T, Panagakis P, Norton T, Kittas C (2013) Development of models to assess potential sheep heat-stress during heat waves. *Precision Livestock Farming - European Conference on Precision Livestock Farming* 6:391-396.
- Perkins SE, Alexander LV (2013) On the measurement of heat waves. *Journal of Climate* 26:4500-4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- Pereira AMF, Vilela RA, Titto CG, Leme-dos-Santos TMC, Geraldo ACM, Balieiro JCC, Calviello RF, Birgel Junior EH, Titto EAL (2020) Thermoregulatory Responses of Heat Acclimatized Buffaloes to Simulated Heat Waves. *Animals* 10:1-17. <http://dx.doi.org/10.3390/ani10050756>
- Radinovic D, Curié M (2012) Criteria for heat and cold wave duration indexes. *Theoretical and Applied Climatology* 107:505-510. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-011-0495-8>
- Renaudeau D, Gourdine JL, St-Pierre NR (2011) A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 89:2220-2230. <http://dx.doi.org/doi:10.2527/jas.2010-3329>

- Renaudeau D (2020) Impact of single or repeated short-term heat challenges mimicking summer heat waves on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs. *Translational Animal Science* 4:1-14. <http://dx.doi.org/10.1093/tas/txaa192>
- Riquena RS, Pereira DF, Vale MM, Salgado DD (2019) Mortality prediction of laying hens due to heat waves. *Revista Ciência Agronômica* 50:18-26. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190003>
- Robinson PJ (2001) On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 40:762-775. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040%3C0762:OTDOAH%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C0762:OTDOAH%3E2.0.CO;2)
- Saravia C, Astigarraga L, Lier EV, Bentancur O (2011) Impacto de las olas de calor em vacas lecheras em Salto (Uruguay) *Agrociencia Uruguay* 15:93-102.
- Sa SJ, Jeong J, Cho J, Lee SH, Choi I (2018) Heat waves impair cytoplasmic maturation of oocytes and preimplantation development in Korean native cattle (Hanwoo). *Korean Journal of Agricultural Science* 45:493-498. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180072>
- Sullivan ML, Cawdell-Smith AJ, Mader TL, Gaughan JB (2011) Effect of shade area on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 89:2911-2925. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3152>
- Taborda PAB, Saravia CT, Espasandin AC (2017) Physiological responses and animal behavior in Bonsmara-Hereford crosses vs. Hereford purebred on environment stress. *Scientia Agricola* 75:479-485. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0042>
- Thom EC (1959) The Discomfort Index. *Weatherwise* 12:57-61. <http://dx.doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- UNPD – United Population Division (2017) *World Urbanization Prospects: The 2017*. <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Probabilistic/Population/>. Acessado em 02 fev 2022
- USDA – United States Department of Agriculture (2022) *Market and Trade Data*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acessado em 01 fev 2022
- Vale MM, Moura DJ, Naas IA, Oliveira SRM, Rodrigues LHA (2008) Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Scientia Agricola* 65:223-229. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000300001>
- Vale MM, Moura DJ, Naas IA, Pereira DF (2010) Characterization of Heat Waves Affecting Mortality Rates of Broilers Between 29 Days and Market Age. *Brazilian Journal of Poultry Science* 12:279-285. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2010000400010>
- Vale MM, Moura DJ, Naas IA, Curi TMRC, Lima KAO (2016) Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering* 36:271-280. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p271-280/2016>
- Vitali A, Felici A, Esposito S, Bernabucci U, Bertocchi L, Maresca C, Nardone A, Lacetera N (2015) The effect of heat waves on dairy cow mortality. *American Dairy Science Association* 98:4572-4579. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9331>
- Vitali A, Segnalini M, Bertocchi L, Bernabucci U, Nardone A, Lacetera N (2009) Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *Journal Dairy Science* 92:3781-3790. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2127>
- Xu Z, Gerald GF, Guo Y, Jalaludin B, Tong S (2016) Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International* 90:193-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.007>
- You Q, Jiang Z, Kong L, Wu Z, Bao Y, Kang S, Pepin N (2017) A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. *Climate Dynamics* 48:3975-3989. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3315-0>

Wilson WO (1949) High environmental temperatures as affecting the reaction of laying hens to iodized casein. *Poultry Science* 28:581-592. <https://doi.org/10.3382/ps.0280581>

WMO – World Meteorological Organization (2019) Global Climate in 2015-2019: Climate Change Accelerates. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates#:~:text=The%20WMO%20report%20on%20The,C%20compared%20to%202011%2D2015>.
Acessado em 10 jan 2022

Wolc A, Arango J, Settar P, Fulton JE, Sullivan NPO, Dekkers JCM (2018) Genome wide association study for heat stress induced mortality in a white egg layer line. *Poultry Science* 98:92-96. <https://doi.org/10.3382/ps/pey403>

4. DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS NUMÉRICOS PARA CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ONDAS DE CALOR E FRIO APLICADO À ANIMAIS DE PRODUÇÃO

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de definição de parâmetros numéricos para caracterizar e classificar ondas de calor e ondas de frio aplicado à animais de produção. Para desenvolvimento da proposta, o estudo foi desenvolvido em quatro etapas. Na primeira etapa realizou-se um mapeamento dos estudos científicos sobre ondas de calor e de frio para animais de produção. Em um segundo momento, foram elencadas as variáveis necessárias para a caracterização de ondas de calor e de frio para animais de produção. Na terceira etapa, foram definidos os parâmetros numéricos para se caracterizar e classificar os eventos extremos de temperatura. Por fim, foi proposto uma nova caracterização e classificação (parâmetros numéricos) de onda de calor e onda de frio aplicado à animais de produção. Os resultados do estudo apresentam uma nova proposta para caracterizar ondas de calor e de frio, baseando-se nos valores de temperaturas considerados críticos para os animais de produção junto a observação de parâmetros já utilizados pela literatura mundial sobre estes eventos. A nova proposta mostrou-se adequada, pois leva em consideração para caracterizar um evento extremo de temperatura, o limiar extremo de temperatura de cada animal em sua respectiva fase de produção, bem como a temperatura da região em que o animal está inserido. Além disso, a nova proposta não apresenta apenas um processo binário para caracterização desses eventos, mas também uma estratificação dos níveis de intensidade das ondas. Espera-se que esta proposta auxilie trabalhos futuros envolvendo o estudo do impacto/efeito de ondas de calor e de frio em animais de produção.

Palavras-chave: Anomalias Climáticas; Estresse Térmico; Eventos Extremos de Temperatura; Mudanças Climáticas; Temperatura Crítica.

Introdução

Desde a fase pré-industrial, estresse por temperaturas extremas, em especial, por calor, vêm aumentando e deverão continuar aumentando em função das mudanças climáticas (Takakura et al. 2019). De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), as ondas de calor foram consideradas como o perigo mais mortal, dentre os eventos climáticos ocorridos no período entre 2015 e 2019 (WMO, 2019). Entretanto, além das ondas de calor, a ocorrência de ondas de frio também tem gerado impactos na saúde humana (Linares et al. 2015; López-Bueno et al. 2020) e nos sistemas de produção animal (Morignat et al. 2018).

Os impactos de eventos extremos de temperatura têm sido observados em anos recentes em diferentes partes do planeta (Anderson e Bell, 2011; Kim e Kim, 2017; Demirtas, 2017; Kumar et al. 2022). Para animais de produção, existem diversas evidências, em especial de ondas de calor (Vitali et al. 2015; Bishop-Williams et al. 2015; Lamarca et al. 2018), da presença de impactos nos sistemas produtivos. Os impactos desses eventos em animais de produção podem ocorrer a partir da diminuição do bem-estar animal e da queda de produção, dada pela queda de produtividade e mortalidade dos animais (Brown-Brandl et al. 2005; Lees et al 2019; Renaudeau, 2020). Além dos impactos sentidos diretamente pelos animais, existe ainda o impacto financeiro gerado ao produtor rural em função da queda de produção e o impacto econômico regional dado pelo aumento de preço do produto no mercado, em função da diminuição de oferta do produto. A discussão em torno desses eventos torna-se ainda mais importante ao observar os apontamentos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o qual indica para um aumento de calor extremo e possibilidade de frio extremo nas próximas décadas (IPCC, 2012; IPCC, 2022). Alguns estudos (Meehl e Tebaldi, 2004; Perkins et al. 2012; Li e Zha, 2020; IPCC, 2022) já vêm demonstrando, a partir da observação de dados históricos em diferentes regiões, um aumento da frequência, duração e intensidade de ondas de calor.

O conceito geral de onda de calor e de onda de frio é bem definido na literatura e pelos principais órgãos mundiais que tratam sobre o clima, os quais apontam onda de calor como sendo um período quente, anormal e desconfortável (IPCC, 2022; NOAA, 2022) e onda de frio como um período de extremo frio (AMS, 2022). Existem diversos trabalhos científicos que observam o impacto/efeito de ondas de calor em animais de produção, sendo possível citar dentre eles para: aves de corte (Azoulay et al. 2011; Abdelqader e Al-Fataftah, 2013; Vale et al. 2016); aves de postura (Wolc et al. 2018; Riquena et al. 2019); bovinos de corte (Nienaber et al. 2007; Taborda, Saravia e Espasandin, 2018; Sa et al. 2018); bovinos de leite (Lacetera et al. 2005; Vitali et al. 2015; Bishop-Williams et al. 2015; Bishop-Williams et al. 2016); ovinos (Papanastasiou et al. 2016; Leu et al. 2021) e suínos (Brito et al. 2020; Renaudeau, 2020). No entanto, nota-se que não existe um padrão no uso dos critérios para caracterização de ondas de calor nos estudos envolvendo animais de produção. Os parâmetros divergem principalmente quanto a intensidade e duração do evento. Essa confusão conceitual é reflexo da literatura global sobre ondas de calor, a qual também não apresenta um conceito (parâmetros numéricos) bem definido sobre este evento (Xu et al. 2016; You et al. 2017).

A falta de parâmetros bem definidos para a caracterização de eventos extremos de temperatura, faz com que novos estudos nessa área optem pela utilização de parâmetros já utilizados em estudos anteriores ou parâmetros propostos por organizações e instituições climáticas. Observa-se que muitos dos parâmetros utilizados em estudos anteriores são definidos de modo arbitrário e não apresentam justificativas claras dos valores utilizados para caracterizar os eventos. Como exemplo, há muitos estudos (Lima et al. 2008; Vale et al. 2010; Nascimento et al. 2014; Bishop-Williams et al. 2016; Mello et al. 2018; Lamarca et al. 2018; Renaudeau, 2020) com foco em animais de produção, na qual utilizam o valor fixo de 32°C como limiar para caracterizar uma onda de calor. Por outro lado, existem diversos estudos (Saravia et al. 2011; Sa et al. 2018; Wolc et al. 2018; Pereira et al. 2020) que utilizam de outros valores fixos de temperatura para caracterizar tal evento. O mesmo fato mencionado para temperatura, ocorre para a caracterização da duração de uma onda de calor (ou de frio). O uso de valores fixos para se caracterizar um evento extremo de temperatura também é utilizado por instituições climáticas localizadas em diferentes países que propõem seus próprios parâmetros. Dentre essas instituições é possível citar a Health Canada (2011), localizada no Canadá, a qual, considera uma onda de calor a partir de 32°C e com duração mínima de três dias e o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizado no Brasil, o qual caracteriza uma onda de calor a partir de 32°C com duração mínima de dois dias.

A utilização de valores fixos para caracterização desses eventos pode não ser a mais adequada para animais de produção, pois as faixas de Zona de Termoneutralidade (ZT) e os valores de Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS) para esses animais são diferentes em função de cada animal e suas respectivas fases de produção. Destaca-se ainda que os valores delimitados para ZT, TCI e TCS possuem grande variação entre os animais de produção e, observando este fato, demonstra-se que há uma grande diferença no valor de temperatura que é considerado estresse térmico para cada animal. A aplicação do valor de 32°C como limiar para caracterização de ondas de calor, conforme mencionado anteriormente, não seria adequada para alguns animais de produção, pois esse valor encontra-se dentro da Zona de Termoneutralidade desses animais. Dentre esses animais, é possível mencionar: aves de corte nas primeiras três semanas de vida (Cassuce, 2011; Abreu e Abreu, 2011; Curtis, 1983; Leal e Naas, 1992); bovinos de corte adultos (Azevêdo e Alves, 2009; Pereira, 2005; Yousef, 1985); suínos em fase de maternidade (Hannas, 1999; Mostaçõ, 2014) e; ovinos (Leu et

al. 2021). Além disso, alguns estudos (Vale et al. 2008; Moura et al. 2008) mencionam que definições de ondas de calor, como, por exemplo, do INMET não são adequadas para avicultura.

No contexto mundial de produção animal, algumas cadeias produtivas possuem maior destaque econômico. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022) e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022), as carnes mais consumidas no planeta no ano de 2020 foram de frango, suíno e de bovino. Em 2020, foram produzidos no mundo um total de 119,5 milhões de toneladas de carne de frango, 109,8 milhões de toneladas de carne suína e 67,8 milhões de toneladas de carne bovina (FAO, 2022). Além dessas três cadeias produtivas envolvendo a produção de carnes, a produção de leite de bovinos e de ovos de poedeiras, destacam-se no cenário econômico global de produção animal. Ainda segundo a FAO (2022), em 2020, produziu-se um total de 718 milhões de toneladas de leite de bovinos e 1,6 trilhões de ovos de poedeiras.

Portanto, diante dos pontos apresentados, o objetivo do presente trabalho é apresentar uma proposta para definir parâmetros numéricos no processo de caracterização e classificação de ondas de calor e de frio para aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos.

Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido em quatro etapas. A primeira etapa foi responsável por um mapeamento dos estudos científicos sobre ondas de calor e ondas de frio para animais de produção. Em um segundo momento, foram elencadas as variáveis necessárias para a caracterização de ondas de calor e de frio para animais de produção. Na sequência, na terceira etapa, foram definidos os parâmetros numéricos para se caracterizar e classificar os eventos extremos de temperatura. Por fim, na última etapa deste estudo, foi proposto uma nova caracterização e classificação (parâmetros numéricos) de onda de calor e onda de frio aplicado à animais de produção. A seguir, na Figura 4, ilustra-se um fluxograma com o desenvolvimento das etapas deste estudo.

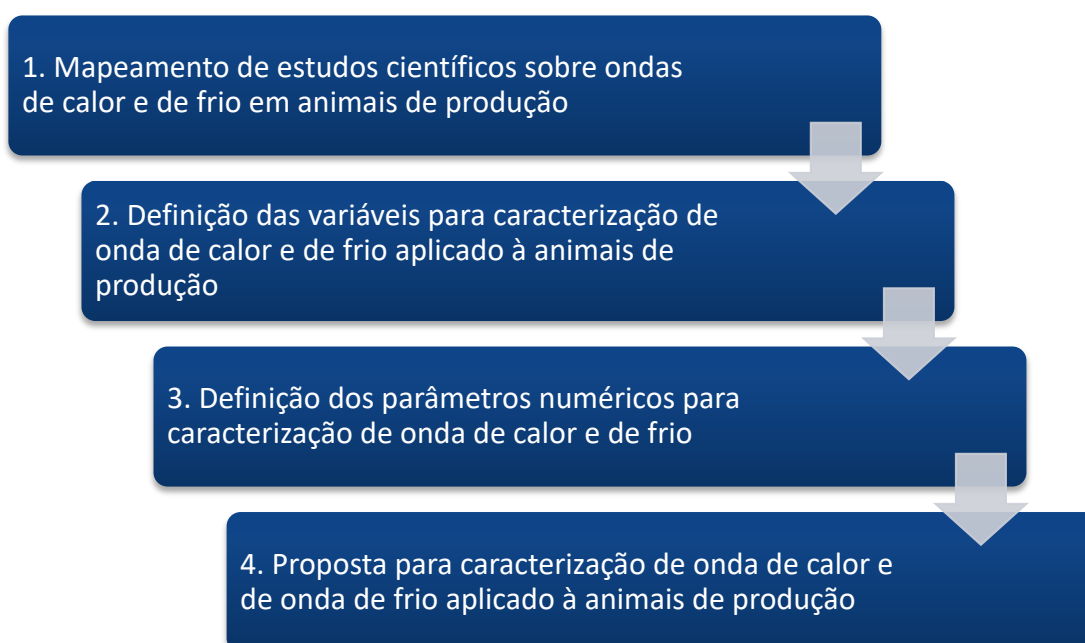


Figura 4. Etapas de desenvolvimento da pesquisa

Para o mapeamento dos estudos científicos sobre ondas de calor e ondas de frio em animais de produção, foi realizado um levantamento sistemático nas bases científicas Web of Science, Scopus e Science Direct, utilizando a técnica de truncamento de palavras-chaves com conectivos “OR”, “AND” e “()”. Na determinação das palavras-chaves utilizou-se termos como “onda de calor”, “onda de frio”, “avicultura de corte”, “avicultura de postura”, “bovinocultura de corte”, “bovinocultura de leite” e “suinocultura”. Destaca-se que para as palavras-chaves referente aos animais foram utilizadas também suas variações, como, por exemplo, no caso de “avicultura de corte”, pesquisou-se pelos termos “ave de corte”, “avicultura de corte” e “frango”. Foram utilizadas palavras-chaves nos idiomas inglês, espanhol e português.

A partir dos resultados obtidos após o primeiro levantamento, aplicou-se uma sequência de filtros a fim de analisar apenas os artigos com foco em ondas de calor e de frio. Foram removidos trabalhos repetidos, trabalhos que não se tratava de artigos científicos (livros, patentes etc.) e, trabalhos que não possuíam como foco a análise de ondas de calor e de frio.

Após realizado o mapeamento dos estudos, observou-se as variáveis utilizadas pelos mesmos, para se caracterizar uma onda de calor ou de frio. Nessa fase, averiguou-se a frequência da presença de cada variável, no conjunto de estudos analisados.

Para definir os valores de temperatura (em °C), determinou-se os parâmetros numéricos em função do animal (em cada fase de produção) e em função da região. No processo de determinação dos parâmetros numéricos em função do animal, foi realizado um levantamento de estudos da área de estresse e conforto térmico de animais de produção.

Mais especificamente, foi observado trabalhos que discorriam acerca da Temperatura Crítica Superior (TCS) e da Temperatura Crítica Inferior (TCI) das diferentes fases de produção dos animais (aves, bovinos e suínos). Já no processo de determinação dos parâmetros numéricos em função da região, utilizou-se da observação de diferentes estudos sobre ondas de calor e de frio (área de produção animal e literatura global) para averiguar os diferentes parâmetros numéricos utilizados para caracterizar esses eventos.

Ao final deste estudo, desenvolveu-se uma nova proposta para a caracterização e classificação de onda de calor e de onda de frio aplicado à animais de produção, utilizando como premissa as informações obtidas nas etapas anteriores.

Resultados e Discussão

Os resultados do presente artigo estão divididos em cinco subseções, sendo cada subseção respectiva as etapas de desenvolvimento do trabalho. Os resultados deste estudo apresentam uma nova proposta para a caracterização de ondas de calor e ondas de frio aplicado à animais de produção.

Mapeamento dos estudos científicos sobre ondas de calor e de frio em animais de produção

O primeiro levantamento nas bases científicas apresentou um total de 817 artigos. Após a remoção dos resultados que não faziam parte do foco do mapeamento, restaram 37 artigos para análise. Analisando os resultados obtidos a partir da pesquisa, verifica-se uma crescente no número de trabalhos publicados desde 1997. Entre 1997 e 2004 foram publicados 03 trabalhos, seguido entre 2005 e 2012 com 14 trabalhos e, entre 2013 e 2020 com 20 trabalhos. Ademais, houve uma grande discrepância entre a quantidade de estudos para ondas de calor (37 artigos) e para ondas de frio (1 artigo). Dentre os trabalhos selecionados para análise, observou-se uma

predominância dos estudos destinados para bovinos (54%) e aves (27%). Os demais animais de produção (bubalinos, suínos e ovinos) foram responsáveis por 19% dos trabalhos. Quanto aos países (considerando a afiliação apenas do primeiro autor), há uma grande representatividade do Brasil (30%), Estados Unidos (19%), Austrália (11%) e União Europeia (21%). Por fim, quanto aos critérios utilizados para a caracterização de ondas de calor e de frio, averiguou-se uma alta dispersão nos tipos de critérios e valores dos parâmetros utilizados. Na próxima seção, são descritas acerca das variáveis escolhidas para compor a nova proposta para caracterização de ondas de calor e de frio.

Variáveis para caracterização de ondas de calor e ondas de frio aplicado à animais de produção

Dentre os estudos observados no mapeamento, foi possível verificar que a maior parte deles (25 trabalhos) apresentavam para caracterizar uma onda de calor (ou de frio), a variável temperatura em valores fixos (em °C). Por outro lado, 15 trabalhos (40,5% do total), utilizam algum índice de temperatura e umidade para fazer essa caracterização. Em especial, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), foi o mais utilizado, aparecendo em 14 estudos. No entanto, a utilização de um indicador como esse não parece adequado para a caracterização de um evento extremo de temperatura, pois leva em consideração a variável umidade e não somente a temperatura. Nesse sentido, para o desenvolvimento da presente proposta não foi considerado nenhum indicador.

Houve estudos (10,8%) que utilizaram medidas estatísticas de percentis baseado no histórico de temperatura regional como forma de caracterizar o evento. Outros trabalhos (13,5%), utilizaram como critério, a exigência de a temperatura estar 5°C acima da temperatura considerada normal para a região.

Muitos estudos (91,8%), informaram uma ‘duração’ (quantidade de dias) para caracterizar os eventos. A variável ‘duração’, assim como a variável ‘temperatura’, apresenta grande dispersão nos parâmetros observados na literatura referente a animais de produção. Existem trabalhos que consideram a existência de uma onda, a partir de um dia (Brown-Brandl et al. 2005; Nienaber et al. 2007; Papanastasiou et al. 2013; Papanastasiou et al. 2016), variando a quantidade de dias até estudos que delimitam uma onda somente a partir de seis dias (Barbosa, Cruz e Silva, 2008).

Uma onda de calor ou de frio, em termos de duração, pode ser considerada como ‘curta’, ‘média’ ou ‘longa’. A quantidade de dias necessário para limiar cada categoria também não é bem definida na literatura. Contudo, a partir de um dia de duração, já é possível considerar como sendo uma onda de calor ou de frio, pois em termos de impacto ao sistema produtivo, poderá gerar fortes prejuízos, caso seja uma onda com intensidade aguda (temperatura altíssima).

Portanto, para este estudo, entende-se que uma onda de calor ou de frio, pode ser considerada a partir de um dia de duração. Em relação a temperatura, optou-se por utilizar uma temperatura fixa (baseada no animal) e uma temperatura variável (baseada na região). A seguir, nas próximas subseções descreve-se de maneira mais detalhada sobre o processo de definição dos parâmetros da temperatura.

Definindo o limiar de temperatura para caracterização de ondas de calor e de ondas de frio para animais de produção

Conforme mencionado anteriormente, existem diversos parâmetros para se caracterizar um evento como onda de calor (ou de frio). Dentre os parâmetros, o limiar de temperatura para caracterizar tais eventos é

consideravelmente disperso nos trabalhos científicos. Instituições climáticas de ordem mundial também apresentam variação nos valores utilizados para se caracterizar estes eventos.

Neste trabalho optou-se por dividir a discussão sobre a definição do limiar de temperatura de uma onda de calor (ou de frio) sob duas óticas: região e animal. Para a discussão em função da região, foram observadas as definições utilizadas por diferentes instituições climáticas e de estudos anteriores sobre estes eventos, junto a utilização da estatística descritiva. Para a ótica do animal, foi tratado no contexto de ambiência de animais de produção, sobre a Zona de Termoneutralidade (ZT) e os limiares de Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS).

Definindo o limiar de temperatura a partir da região

Nas definições gerais (sem parâmetros explícitos) de ondas de calor e de frio propostas por órgãos mundiais do clima (NOAA, 2022; AMS, 2022), tem-se o entendimento que estes são eventos extremos e, conseqüentemente anormais. Para o IPCC, um evento extremo climático pode ser considerado como um evento raro, o evento no qual faz parte do 10º ou 90º percentil em uma função de densidade de probabilidade estimada a partir de observações (IPCC, 2013; Stocker, 2014; Papanastasiou et al. 2016; Tavakol et al. 2020). Esses intervalos podem ser considerados como ‘bicos da cauda’ em uma curva de distribuição de frequências.

Para animais de produção, alguns estudos já utilizaram de percentis de temperatura da região em análise como limiar para se caracterizar uma onda de calor. Vitali et al (2015) utilizou valores acima de 90º percentil em um estudo com bovinos de leite. Nesse estudo, os autores utilizam como referência o período entre os anos de 1971 e 2000. Papanastasiou et al. (2016) em um estudo com ovinos também utilizou valores acima de 90º percentil, tendo como referência o período entre 2007 e 2013, como limiar para se caracterizar uma onda de calor.

Em um estudo com bovinos de corte e leite, avaliando o impacto de ondas de frio e ondas de calor, Morignat et al (2018), optaram por utilizar duas escalas de percentis para cada evento, sendo 1º e 5º para ondas de frio e, 95º e 99º para ondas de calor. O período de dados de temperatura analisados no estudo foi entre 2001 e 2015. Além dos estudos na área de produção animal, diversos outros estudos que avaliam o impacto de ondas de calor (Tavakol et al. 2020; Kim e Kim, 2017; Sharma e Mujumdar, 2017; Kumar et al. 2022) e de ondas de frio (Chen et al. 2020; Chen et al. 2019; Gao et al. 2019) em outros setores, também se utilizam de percentis no processo de caracterização de ondas de calor e de frio.

O benefício da utilização de percentis abaixo de 10º e acima de 90º para se caracterizar tais eventos é o fato de caracterizá-los como um evento anormal em função da região analisada, estando de acordo com as definições abstratas existentes. Contudo, apenas a utilização deste critério não é suficiente, pois dependendo da região estudada, os valores dos limiares de 10º e 90º podem não apresentar condições de estresse térmico para o animal em análise.

Outro ponto importante no contexto de caracterização de um evento extremo de temperatura é a atual categorização binária utilizada por diversos trabalhos. Conforme aponta McCarthy, Armstrong e Armstrong (2019), ondas de calor não são todas iguais, havendo um reconhecimento de que a caracterização de ondas de calor necessita se estender além de um modelo binário de que é ou não uma onda de calor.

Alguns estudos na área de produção animal, utilizam categorias para classificar níveis de intensidade de ondas de calor. Tabora, Saravia e Espasandin (2018), por exemplo, analisaram o efeito de ondas de calor em

bovinos de corte, classificando os eventos em onda de calor leve e onda de calor severa. Morignat et al. 2018 já citado anteriormente, na realização de um estudo com bovinos, utilizou duas classificações de ondas de calor (95º e 99º percentil) e duas classificações para ondas de frio (5º e 1º percentil), considerando tais classificações como ondas moderadas e severas, respectivamente. Em outras áreas, também é possível observar, a utilização de categorias para a caracterização desses eventos, como, por exemplo: Kumar et al. (2022); Sharma e Mujumdar (2017); Anderson e Bell (2011).

Em função dos apontamentos mencionados até o presente momento, apresenta-se a seguir, na Figura 2, uma proposta para a classificação de ondas de calor e ondas de frio, a partir da observação da região em que o sistema produtivo está inserido.

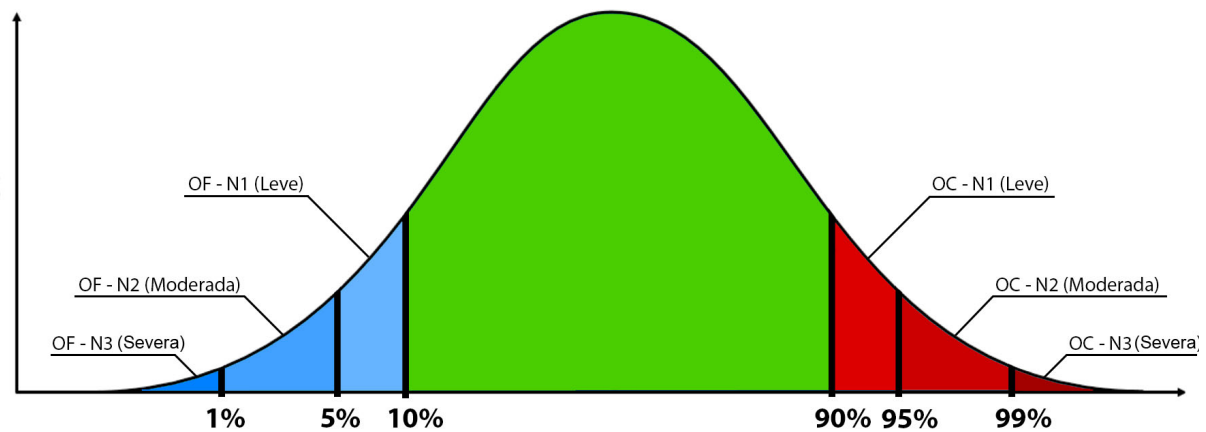


Figura 2. Classificação de ondas de frio e ondas de calor baseadas no histórico da temperatura regional

Definindo o limiar de temperatura a partir do animal

Para se definir o limiar de temperatura a partir do animal no processo de caracterização de ondas de calor e de ondas de frio, foi necessário visitar a literatura clássica sobre ambiência animal. Hahn e Morrow-Tesch (1993), aponta que variáveis do ambiente podem potencialmente afetar a performance produtiva, a saúde e o bem-estar dos animais. Ainda segundo o autor, há um limiar estressor, no qual as funções do animal passam a ficar prejudicadas (Figura 3).

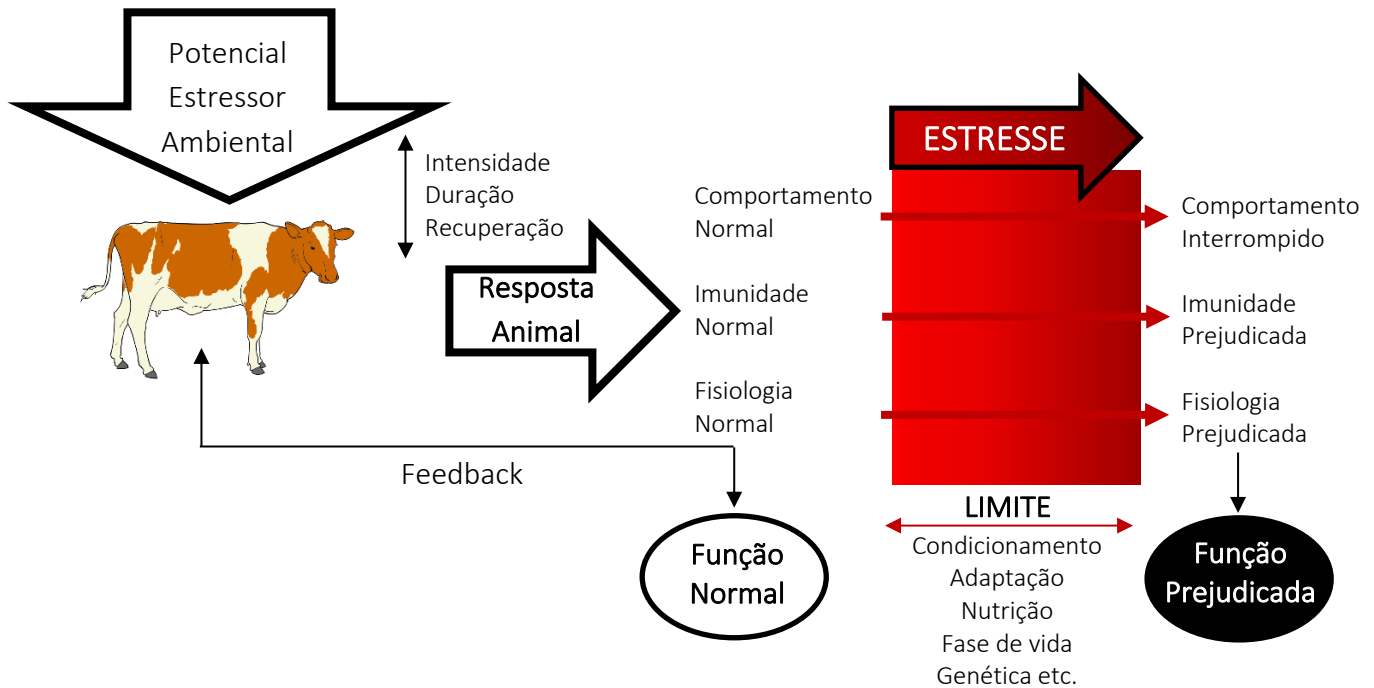


Figura 3. Representação da resposta do animal ao potencial estresse térmico do ambiente que pode influenciar sua performance, saúde e bem-estar

Fonte: Hahn e Morrow-Tesch (1993)

Dentre os potenciais estresses ambientais inerentes aos animais, está a variável temperatura. Conforme aponta Esmay (1982), a temperatura é o principal fator que influencia a produção de calor pelo corpo de animais homeotermos (animais que buscam manter sua temperatura interna constante). Na Figura 4, é ilustrado a curva de produção de calor em animais homeotermos em função da temperatura do ar.

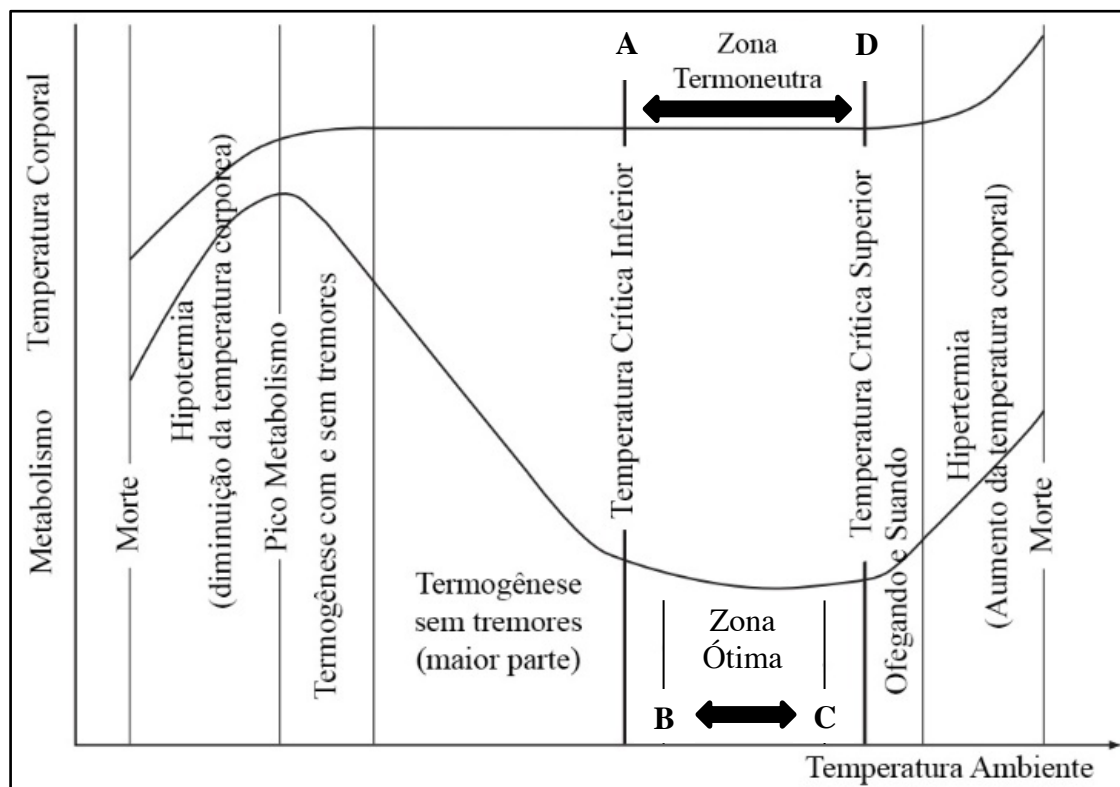


Figura 4. Efeito da temperatura ambiente na produção de calor de um animal
 Fonte: Adaptado de Renaudeau et al, 2011.

Em animais homeotermos quando há variações na temperatura do ambiente, estes acionam mecanismos de termorregulação com o objetivo de equilibrar a produção e perda de calor para o ambiente e poder manter a temperatura corporal constante (Renaudeau et al. 2011). Portanto, os animais homeotermos produzem o próprio calor em função da temperatura presente no ambiente, buscando manter sua temperatura interna constante (Pereira, 2005). Na Figura 4, o intervalo entre A e D é entendido como 'Zona de Termoneutralidade'. De acordo com Lees et al. (2019), esta é a zona térmica em que o animal expressa produtividade máxima. Os valores de temperatura que formam os limiares desta zona são denominados como Temperatura Crítica Inferior (TCI) e Temperatura Crítica Superior (TCS).

No intervalo da Zona de Termoneutralidade, há uma produção mínima de calor pelo animal. Entre B e C, encontra-se o intervalo denominado como 'Zona Ótima', a qual o animal encontra-se em perfeito conforto térmico. Para os intervalos AB e CD, há um desconforto do animal expressado por meio de seu comportamento, mas não interferindo em sua produção de calor. Havendo uma diminuição da temperatura do ambiente partir do ponto A (TCI), o animal começa a produzir mais calor sensível, em uma tentativa de compensar o frio até um determinado limite em que chega a óbito. Havendo um aumento da temperatura do ambiente a partir do ponto D (TCS), o animal começa a produzir calor latente, buscando baixar a temperatura corporal, até um determinado limite em que chega a óbito (Pereira, 2005).

Os valores dos limiares apresentados para se definir a Zona de Termoneutralidade, a Temperatura Crítica Inferior (TCI) e a Temperatura Crítica Superior (TCS) são diferentes para cada animal de produção e em sua respectiva fase de produção. Por exemplo, segundo Curtis (1983), para aves de corte na primeira semana de vida a TCS é 39°C, enquanto cinco semanas depois, na sexta semana de vida desses animais a TCS é 32°C. O

mesmo fato ocorre para os demais animais de produção. O uso de valores fixos como parâmetros para se caracterizar ondas de calor (ou de frio) não se mostram adequados para animais de produção, pois os limiares de estresse térmico de cada animal em sua respectiva fase de produção são diferentes.

Leu et al. (2021) em um estudo com ovinos apontam como funcionalmente importante a utilização de um limiar de temperatura que ultrapasse a TCS desses animais para a caracterização de ondas de calor, pois acima da TCS o estresse térmico começa afetar o animal adversamente. Renaudeau (2020) e Lees et al. (2019) descrevem, quanto a temperatura para se caracterizar uma onda de calor, como sendo a partir do valor que excede o limite superior da zona de termoneutralidade.

A partir dos fatos apresentados, entende-se que dentre os critérios necessários para poder caracterizar uma onda de calor (ou de frio) é o animal sob análise estar em uma situação de estresse térmico (calor ou frio). Portanto, sugere-se como segundo critério para se caracterizar uma onda de calor, a temperatura máxima ser maior ou igual a TCS e, para se caracterizar uma onda de frio, a temperatura mínima ser menor ou igual a TCI. No Apêndice deste trabalho, apresenta-se entre as Figuras 5 e 9, os valores para TCI e TCS de aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos, nas diferentes fases de produção.

Proposta para caracterização de onda de calor e de onda de frio aplicado à animais de produção

Para o desenvolvimento de uma proposta de parâmetros numéricos de ondas de calor e de frio para aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos, foram considerados todos os aspectos discutidos nas subseções anteriores. Portanto, diante do exposto, foram propostos os seguintes critérios para a caracterização desses eventos:

- Onda de Frio: temperatura deverá ser menor ou igual ao valor da Temperatura Crítica Inferior (TCI) da respectiva fase de produção do animal e menor ou igual ao valor do 10º percentil da região.
- Onda de Calor: temperatura deverá ser maior ou igual ao valor da Temperatura Crítica Superior (TCS) da respectiva fase de produção do animal e maior ou igual ao valor do 90º percentil da região.

É importante destacar a importância da utilização desses dois parâmetros em conjunto no processo de caracterização de uma onda de calor ou de frio. A utilização de apenas um dos parâmetros não é suficiente e poderia gerar uma informação equivocada. Por exemplo, em uma situação de onda de calor, ao considerar somente o 90º percentil em função da região, poderá este, não ser um período ‘desconfortavelmente quente’ ao animal analisado, dependendo dos limiares de temperatura que são estressantes para sua fase de produção. Alguns animais, tais como, aves de corte, bovinos de corte na fase adulta e suínos na fase de maternidade e creche, requerem valores de temperaturas mais altos para que seja considerado como desconfortável. Por outro lado, neste mesmo exemplo, a caracterização utilizando apenas a TCS não seria interessante, tendo em vista que o animal pode estar aclimatado (adaptado) em relação ao clima da região e, portanto, tal temperatura, apesar de desconfortável, não poderá ser considerada como sendo anormal.

A seguir, na Tabela 1, apresenta-se os parâmetros numéricos para a caracterização de ondas de frio e ondas de calor sugeridos para cada animal em sua respectiva fase de produção. Os valores presentes na tabela são derivados em função do animal e da região. Para o animal foram inseridos os valores da TCI e TCS, sendo

respectivamente para onda de frio e onda de calor. Destaca-se que os valores da TCI e TCS advêm da literatura sobre ambiência animal, conforme as figuras apresentadas no Apêndice deste trabalho. Para a região, foram inseridos os valores de percentis (10° e 90°).

Tabela 1. Parâmetros numéricos de temperatura para caracterização de ondas de calor e de ondas de frio para aves de corte, aves de postura, bovinos de corte, bovinos de leite e suínos

Tipo de animal	Fase de Produção	Temperatura para Onda de Frio		Temperatura para Onda de Calor	
		TCI	Estatística	TCS	Estatística
Ave de corte	1ª semana	≤ 30°C	≤ 10° percentil da região analisada	≥ 39°C	≥ 90° percentil da região analisada
	2ª semana	≤ 28°C		≥ 39°C	
	3ª semana	≤ 15°C		≥ 34°C	
	4ª semana	≤ 15°C		≥ 32°C	
	5ª semana	≤ 15°C		≥ 32°C	
	6ª semana	≤ 14°C		≥ 32°C	
Ave de postura	Crescimento	≤ 15°C		≥ 30°C	
	Postura	≤ 5°C		≥ 30°C	
Bovino de Corte	Bezerros	≤ 7°C		≥ 27°C	
	Adultos	≤ 0°C		≥ 35°C	
Bovino de Leite	Vacas secas	≤ 0°C		≥ 26°C	
	Vacas em Lactação	≤ 0°C		≥ 30°C	
	Bezerros	≤ 8°C		≥ 26°C	
	Novilhas	≤ 10°C		≥ 32°C	
	Touros	≤ 0°C		≥ 26°C	
Suínos	Maternidade	≤ 15°C		≥ 36°C	
	Creche	≤ 8°C		≥ 31°C	
	Crescimento	≤ 5°C		≥ 28°C	
	Terminação	≤ 5°C	≥ 27°C		
	Matrizes	≤ 0°C	≥ 30°C		
	Cachaço	≤ 0°C	≥ 30°C		

Os parâmetros definidos para TCS vão ao encontro de valores utilizados por alguns estudos nessa área. Vale et al. (2008), Vale et al. (2010) e Moura et al. (2008) em estudos com aves de corte, o qual consideraram onda de calor como sendo um evento maior ou igual a 32°C, sendo um valor condizente com os valores apresentados na Tabela 1. Para bovinos de leite, Lima et al. (2008), Nascimento et al. (2014), Bishop-Williams et al. (2015) e Bishop-Williams et al. (2016) utilizam como critério de onda de calor acima de 32°C e Saravia et al. (2011) acima de 29°C, estando ambos os valores próximos ao apresentado na Tabela 1 para vacas em fase de lactação (maior ou igual a 30°C).

Além da proposta para caracterização dos eventos, também foi realizado uma proposta para a sua classificação em níveis de intensidade (leve, moderada e severa). Na Tabela 2, apresenta-se uma proposta complementar, no que tange a classificação das ondas (frio e calor).

Tabela 2 – Classificação de onda de frio e onda de calor

Onda de frio		Onda de calor	
Leve	$\leq 10^{\circ}$ percentil e $> 5^{\circ}$ percentil	Leve	$\geq 90^{\circ}$ percentil e $< 95^{\circ}$ percentil
Moderada	$\leq 5^{\circ}$ percentil e $> 1^{\circ}$ percentil	Moderada	$\geq 95^{\circ}$ percentil e $< 99^{\circ}$ percentil
Severa	$\leq 1^{\circ}$ percentil	Severa	$\geq 99^{\circ}$ percentil

Em situações que os valores da TCI forem menores que o 10º percentil ou em que os valores da TCS forem maiores que o 90º percentil, poderá ser realizado uma estratificação do conjunto de valores inferiores (no caso da onda de frio) e superiores (no caso da onda de calor). Esse processo, poderá ser feito utilizando uma classificação em grupos de 50%, 40% e 10% dos valores menores (classes de ondas de frio) e dos valores maiores (classes de ondas de calor). Portanto, para exemplificar, em uma situação na qual o valor da temperatura da TCS extrapola o valor do 90º percentil, tem-se que os primeiros 50% do conjunto de valores acima, podem ser considerados como uma onda ‘leve’, seguidos dos 40% que podem ser considerados uma onda ‘moderada’ e, os últimos 10%, como uma onda ‘severa’.

Os resultados deste estudo não possuem a pretensão de invalidar pesquisas realizadas anteriormente nesta linha. É importante destacar que a proposta apresentada neste artigo é somente uma sugestão para a caracterização e classificação de eventos extremos de temperatura (onda de frio e onda de calor), na qual poderá ser utilizada por trabalhos futuros na observação dos impactos/efeitos desses eventos ou ainda por produtores que desejarem monitorar seu rebanho. Além disso, este estudo não possui como foco esgotar a discussão relacionada aos parâmetros dos eventos extremos analisados, mas sim contribuir com o avanço desta linha científica.

Conclusão

O histórico recente da ocorrência de ondas de calor e de frio mostram impactos em diferentes setores, em especial, no setor de produção animal. Ademais, para os próximos anos é previsto uma maior incidência desses eventos, principalmente, de ondas de calor. A literatura atual sobre o impacto de onda de calor e de frio em animais de produção apresenta uma grande dispersão nos parâmetros utilizados pelos trabalhos para se caracterizar estes eventos. Portanto, no presente estudo foi apresentada uma nova proposta para a caracterização de onda de calor e de onda de frio aplicado à animais de produção. A proposta baseou-se em valores de temperatura considerados críticos para animais de produção junto a observação de parâmetros já utilizados pela literatura mundial sobre estes eventos. A nova proposta mostrou-se adequada, pois leva em consideração para caracterizar um evento extremo de temperatura, o limiar extremo de temperatura de cada animal em sua respectiva fase de produção, bem como a temperatura da região em que o animal está inserido. Além disso, a nova proposta não apresenta apenas um processo binário para caracterização desses eventos, mas sim uma estratificação dos níveis de intensidade das ondas. Espera-se que esta nova proposta de caracterização auxilie trabalhos futuros envolvendo ondas de calor e de frio em animais de produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa que possibilitou essa pesquisa.

Referências

- Abdelqader, A., Al-Fataftah, A. (2013). Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. *Journal of Thermal Biology*, 39, 1-5.
- Abreu, V. M. N., Abreu, P. G. (2011). Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1-14.
- AHDB. (2018). Calf Management. Disponível em: <https://media.ahdlb.org.uk/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/CalfManagement_180619_WEB.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- AMS – American Meteorological Society. Glossary of Meteorology. (2022) https://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold_wave. Acessado em 20 jan 2022.
- Anderson, G. B., Bell, M. (2011). Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives*, 119, 210-218.
- Azevêdo, D. M. M. R., Alves, A. A. (2009). Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos. EMBRAPA Meio-Norte.
- Azoulay, Y., Druyan S., Yadgary L., Hadad Y., Cahaner A. (2011). The viability and performance under hot conditions of featherless broilers versus fully feathered broilers. *Poultry Science*, 90, 19-29.
- Baêta, F. C., Souza, C. F. (1997). *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. UFV.
- Barbosa, J. C., Cruz, V. F., Silva, J. S. (2008). Strategies to Minimize Effects of Hot Climate Conditions on Livestock in Portugal: A Regional Approach. *ASABE Livestock Environment*, 8, 915-920.
- Bishop-Williams, K. E., Berke, O., Pearl, D. L., Hand, K., Kelton, D. F. (2015). Heat stress related dairy cow mortality during heat waves and control periods in rural Southern Ontario from 2010–2012. *BMC Veterinary Research*, 11, 1-10.
- Bishop-Williams, K. E., Berke O., Pearl, D. L., Hand, K., Kelton, D. F. (2016) Mapping rural community and dairy cow heat stress in Southern Ontario: A common geographic pattern from 2010 to 2012. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 71, 199-207.
- Black, J. L., Mullan, B. P., Lorsch, M. L., Giles, L. R. (1993). Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science*, 35, 153-170.
- Brito, A. A., Silva, R. B., Bueno, J. P. R., Nascimento, F. G. O., Moraes, C.A., Nascimento, M. R. B. M. (2020). Occurrence of heat waves and the prediction of feed intake of sows raised in a tropical environment. *Brazilian Journal of Animal Science*, 49, 1-9.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Mader, T. L., Spiers, D. E., Parkhurst, A.M. (2005). Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology*, 49, 285-296.
- Cassuce, D. C. (2011). *Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa.

- Chen, J., Yang, J., Zhou, M., Yin, P., Wang, B., Liu, J., Chen, Z., Song, X., Ou, C., Liu, Q. (2020). Cold spell mortality in 31 major Chinese cities: Definitions, vulnerability and implications. *Environmental International*, 128, 271-278.
- Chen, J., Zhou, M., Yang, J., Yin, P., Wang, B., Ou, C., Liu, Q. (2020). The modifying effects of heat and cold wave characteristics on cardiovascular mortality in 31 major Chinese cities. *Environmental Research Letters*, 15.
- Curtis, S. E. (1983). *Environmental management in animal agriculture*. Iowa State University Press, Ames.
- Demirtas, M. (2017). High impact heat waves over the Euro-Mediterranean region and Turkey – in concert with atmospheric blocking and large dynamical and physical anomalies. *Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 18, 97-114.
- Esmay, M. L. (1982). *Principles of animal environment*. West Port CT: ABI, 325p.
- Gao, J., Yu, F., Xu, Z., Duan, J., Cheng, Q., Bai, L., Zhang, Y., Wei, Q., Yi, W., Pan, R., Su, H. (2019). The association between cold spells and admissions of ischemic stroke in Hefei, China: Modified by gender and age. *Science of the Total Environment*, 669, 140-147.
- Garcia, P. R. (2017). Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada: desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem estar animal. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo (USP).
- Gonçalves, L. C., Borges, I., Ferreira, P. D. S. (2009). *Alimentação de gado de leite*. FEPMVZ, Belo Horizonte.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). FAOSTAT – Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- Hahn, G. L., Morrow-Tesch, J. L. (1993). Improving Livestock Care and Well-Being. *Agricultural Engineering*, 74, 14-17.
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic response of cattle to thermal heat loads. *Journal Animal Science*, 77, 10-20.
- Hannas, M. I. (1999). Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: *Ambiência e Qualidade na Produção Industrial de Suínos*. FEALQ, Piracicaba.
- Health Canada. Adapting to Extreme Heat Events: Guidelines for Assessing Health Vulnerability. (2011). <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/climat/adapt/adapt-eng.pdf>. Acessado em 20 nov 2021.
- Holik, V. (2009). Management of laying hens to minimize heat stress. *Lohmann Information*, 44, 16-29.
- Huber, J. T. (1990). Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: *Bovinocultura Leiteira*, FEALQ, Piracicaba, 33-48.
- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Glossário. (2022). <<https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>>. Acessado em 15 abr. 2022.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special Report of Working Group I e II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <<https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>> Acessado em 18 jan 2022.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2013). Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Stocker TF, QinD, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds). *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf>. Acessado em: 10 jun. 2022.

Kim, E., Kim, J. (2017). Effect modification of individual and regional-scale characteristics on heat wave related mortality rates between 2009 and 2012 in Seoul, South Korea. *Science of the Total Environment*, 595, 141-148.

Kumar, P., Rai, A., Upadhyaya, A., Chakraborty, A. (2022). Analysis of heat stress and heat wave in the four metropolitan cities of India in recent period. *Science of the Total Environment*, 818.

Lacetera, N., Bernabucci, U., Scalia, D., Ronchi, B., Kuzminsky, G., Nardone, A. (2005). Lymphocyte functions in dairy cows in hot environment. *International Journal of Biometeorology*, 50, 105-110.

Lamarca, D. S. F., Pereira, D. F., Magalhães, M. M., Salgado, D. D. (2018). Climate Change in Layer Poultry Farming: Impact of Heat Waves in Region of Bastos, Brazil. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 20, 657-664.

Leal, P. M., Naas, I. A. (1992). *Ambiência animal*. In: *Introdução à Engenharia Agrícola*. UNICAMP, Campinas, 121-135.

Le Dividich, J. L. (1991). Effect of environmental temperature on the performance of intensively reared growing pigs. *Selezione Veterinaria*, 32, 191-207.

Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., Gaughan, J. B. (2019). The impact of heat load on cattle. *Animals (Basel)*, 9, 322.

Leu, S. T., Quiring, K., Leggett, K. E. A., Griffith, S. C. (2021). Consistent behavioural responses to heatwaves provide body condition benefits in rangeland sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 234, 1-8.

Li, L., Zha, Y. (2020). Population exposure to extreme heat in China: Frequency, intensity, duration and temporal trends. *Sustainable Cities and Society*, 60, 1-10.

Lima, K. A. O., Moura, D. J., Naas, I. D. A. (2008). The occurrence of heat waves in São Paulo – Brazil using Temperature Humidity Index (THI) and Milk Decline Index (MDIC). *ASABE Livestock Environment*, 8, 881-888.

Linares, C., Diaz, J., Tobías, A., Carmona, R., Mirón, I. J. (2015). Impact of heat and cold waves on circulatory-cause and respiratory-cause mortality in Spain: 1975-2008. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 2037-2046.

López-Bueno, J. A., Linares, C., Sánchez-Guevara, C., Martínez, G. S., Mirón, I. J., Núñez-Peiró, M., Valero, I., Díaz, J. (2020). The effect of cold waves on daily mortality in districts in Madrid considering sociodemographic variables. *Science of The Total Environment*, 749, 1-8.

Lucas, E. M., Cruz, V. F. (1997). Efeito do clima do Alentejo no microclima das instalações para suínos. *Revista Portuguesa de Zootecnia*, 4, 37-52.

Macari, M., Furlan, R. L. (2001). In: *Ambiência na produção de aves de corte*. FUNEP, 31-87.

McCarthy, M., Armstrong, L., Armstrong, N. (2019). A new heat wave definition for the UK. *Weather*, 74, 382-387.

Meehl, G. A., Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305, 994-997.

Mello, J. L. M., Boiago, M. M., Giampietro-Ganeco, A., Berton M., P., Souza, R. A., Ferrari, F. B., Souza, P. A., Borba, H. (2018). Physiological responses of broilers raised under simulated conditions of heat waves. *Archivos de Zootecnia*, 67, 220-227.

- Menegali, I., Tinôco, I. F. F., Baêta, F. C., Cecon, P. R., Guimarães, M. C. C., Cordeiro, M. B. (2009). Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, 13, 984-990.
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J. L., Sala, C., Calavas, D., Hénaux, V. (2018). Impact of heat and cold waves on female cattle mortality beyond the effect of extreme temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 78, 374-380.
- Moura, D. J., Vale, M. M., Naas, I. A., Rodrigues, L. H. A., Oliveira, S. R. M. (2008). Estimating Poultry Production Mortality Exposed to Heat Wave Using Data Mining. *ASABE Livestock Environment*, 8, 865-872.
- Moura, D. J. (1999). Ventilação na suinocultura. In: *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. FEALQ, 149-179.
- Mostaço, G. M. (2014). Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Naas, I. A. (1989). Princípio de conforto térmico na produção animal. Icone: São Paulo.
- Naas, I.A. (1998). Tipologia de instalações em clima quente. *Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite*, 1, 146-155.
- Nascimento, C. C. N., Nascimento, M. R. B. M., Silva, N. A. M. (2014). Ocorrência de ondas de calor no triângulo mineiro e alto paranaíba e seu efeito na produção leiteira e consumo alimentar em bovinos. *Bioscience Journal*, 30, 1488-1495.
- Nienaber, J. A., Hahn, G. L., Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A. (2007). Summer Heat Waves – Extreme Years. In: *ASABE Annual International Meeting*. Paper Number: 074084.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. Glossary. (2022). <<https://forecast.weather.gov/glossary.php?word=heat%20wave>>. Acessado em 20 jan 2022.
- Noblet, J., Dourmad, J. Y., Dividich, J., Dubois, S. (1989). Effect of ambient temperature and addition of straw or alfafa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. *Livestock Production Science*, 21, 309-324.
- Papanastasiou, D. K., Bartzanas, T., Panagakis, P., Zhang, G., Kittas, C. (2016). Study of heat-stress levels in naturally ventilated sheep barns during heat waves: development and assessment of regression models. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1637-1644.
- Papanastasiou, D. K., Zhang, G., Bartzanas, T., Panagakis, P., Norton, T., Kittas, C. (2013). Development of models to assess potential sheep heat-stress during heat waves. *Precision Livestock Farming - European Conference on Precision Livestock Farming*, 6, 391-396.
- Perkins, S. E., Alexander, L. V. (2012). On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*, 26, 4500-4517.
- Pereira, C. C. J. (2005). Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal. FEPMVZ, Belo Horizonte.
- Pereira, D. F. (2005). Metodologia para estimativa de bem-estar de matrizes de frango de corte utilizando monitoramento digital e construção de modelos de simulação. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas, São Paulo.
- Pereira, A. M. F., Vilela, R. A., Titto, C. G., Leme-dos-Santos, T. M. C., Geraldo, A. C. M., Balieiro, J. C. C., Calviello, R. F., Birgel Junior, E. H., Titto, E. A. L. (2020). Thermoregulatory Responses of Heat Acclimatized Buffaloes to Simulated Heat Waves. *Animals*, 10, 1-17.
- Renaudeau, D., Gourdine, J. L., St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89, 2220-2230.

- Renaudeau, D. (2020). Impact of single or repeated short-term heat challenges mimicking summer heat waves on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs. *Translational Animal Science*, 4, 1-14.
- Riquena, R. S., Pereira, D.F., Vale, M. M., Salgado, D. D. (2019). Mortality prediction of laying hens due to heat waves. *Revista Ciência Agronômica*, 50, 18-26.
- Roefeldt, S. (1998). You can't afford to ignore heat stress. *Dairy Management*, 35, 6-12.
- Saravia, C., Astigarraga, L., Lier, E.V., Bentancur, O. (2011). Impacto de las olas de calor em vacas lecheras em Salto (Uruguay) *Agrociencia Uruguay*, 15, 93-102.
- Sa, S. J., Jeong, J., Cho, J., Lee, S. H., Choi, I. (2018). Heat waves impair cytoplasmic maturation of oocytes and preimplantation development in Korean native cattle (Hanwoo). *Korean Journal of Agricultural Science*, 45, 493-498.
- Sharma, J. K., Mujumdar, P. (2017). Increasing frequency and spatial extent of concurrent meteorological droughts and heat waves in India. *Scientific Reports*, 7, 1-9.
- Silva, I. J. O. (1999). Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: *Seminário Internacional de Suinocultura*. EMBRAPA, Concórdia, 108-325.
- Silva, I. J. O.; Sevegnani, K. B. (2001) *Ambiência na produção de aves de postura*. In: *Ambiência na produção de aves em clima tropical*. FUNEP, 150-214.
- Sobestiansky, J., Perdomo, C. C., Oliveira, J. A. (1987). Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões. EMBRAPA.
- Stocker T (2014) *Climate change 2013: the physical science basis: working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press
- Taborda, P. A. B., Saravia, C. T., Espasandin, A. C. (2017). Physiological responses and animal behavior in Bonsmara-Hereford crosses vs. Hereford purebred on environment stress. *Scientia Agricola*, 75, 479-485.
- Takakura, J., Fujimori, S., Hanasaki, N., Hasegawa, t., Hirabayashi, Y., Honda, Y., Iizumi, T., Kumano, N., Park, C., Shen, Z., Takahashi, K., Tamura, M., Tanoue, M., Tsuchida, K., Yokoki, H., Zhou, Q., Oki, T., Hijoka, Y. (2019). Dependence of economic impacts of climate change on anthropogenically directed pathways. *Nature Climate Change*, 9, 737-741.
- Tavakol, A., Rahmani, V., Harrington Jr, J. (2020). Evaluation of hot temperature extremes and heat waves in the Mississippi River Basin, 239.
- Tinôco, I. F. F. (2001). *Avicultura Industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros*. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 3, 1-26.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2022). Foreign Agricultural Service. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>>. Acesso em: 25 jan. 2022.
- Vale, M. M., Moura, D. J., Naas, I. A., Oliveira, S. R. M., Rodrigues, L. H. A. (2008). Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Scientia Agricola*, 65, 223-229.
- Vale, M. M., Moura, D. J., Naas, I. A., Pereira, D. F. (2010). Characterization of Heat Waves Affecting Mortality Rates of Broilers Between 29 Days and Market Age. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 12, 279-285.
- Vale, M. M., Moura, D. J., Naas, I. A., Curi, T. M. R. C., Lima, K. A. O. (2016). Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, 36, 271-280.
- Vitali, A., Felici, A., Esposito, S., Bernabucci, U., Bertocchi, L., Maresca, C., Nardone, A., Lacetera, N. (2015). The effect of heat waves on dairy cow mortality. *American Dairy Science Association*, 98, 4572-4579.

Xu, Z., Gerald, G. F., Guo, Y., Jalaludin, B., Tong, S. (2016). Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 90, 193-203.

West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal Dairy Science*, 86, 2131-2144.

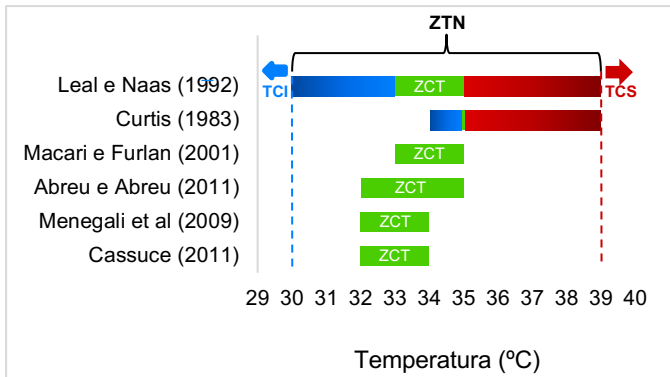
WMO – World Meteorological Organization. Global Climate in 2015-2019: Climate Change Accelerates. (2019). <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates#:~:text=The%20WMO%20report%20on%20The,C%20compared%20to%202011%2D2015>>. Acessado em 10 jan 2022.

Wolc, A., Arango, J., Settar, P., Fulton, J. E., Sullivan, N. P. O., Dekkers, J. C. M. (2018). Genome wide association study for heat stress induced mortality in a white egg layer line. *Poultry Science*, 98, 92-96.

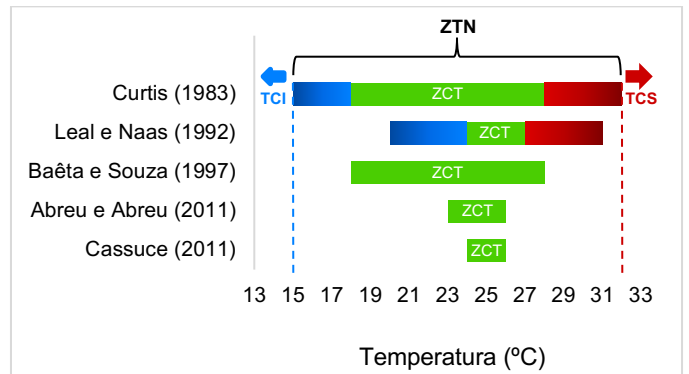
You, Q., Jiang, Z., Kong, L., Wu, Z., Bao, Y., Kang, S., Pepin, N. (2017). A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. *Climate Dynamics*, 48, 3975-3989.

Yousef, M. K. (1985). Thermoneutral zone. *Stress Physiology Livestock*, 1, 67-73.

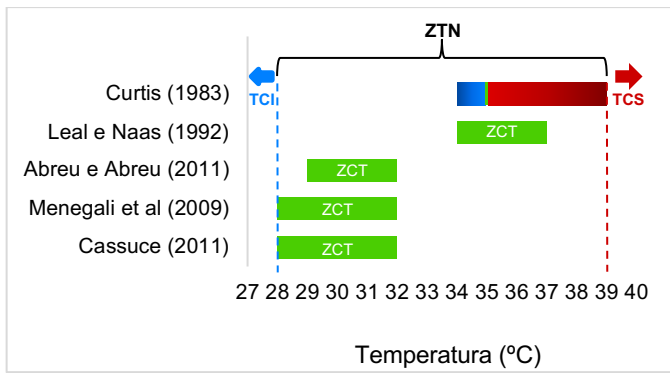
Apêndice



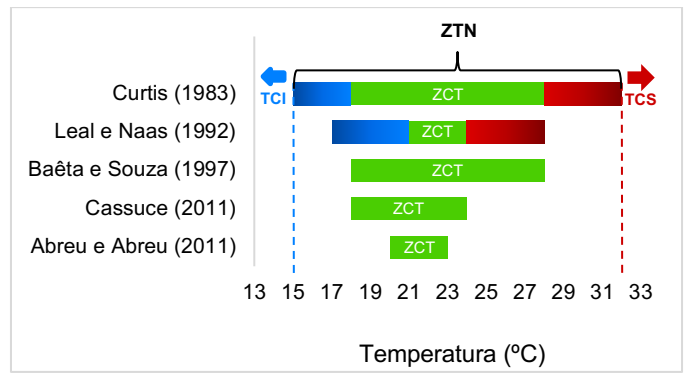
(A) – 1ª semana



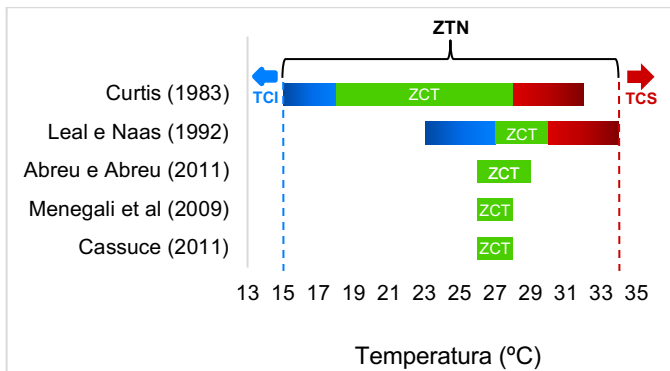
(D) – 4ª semana



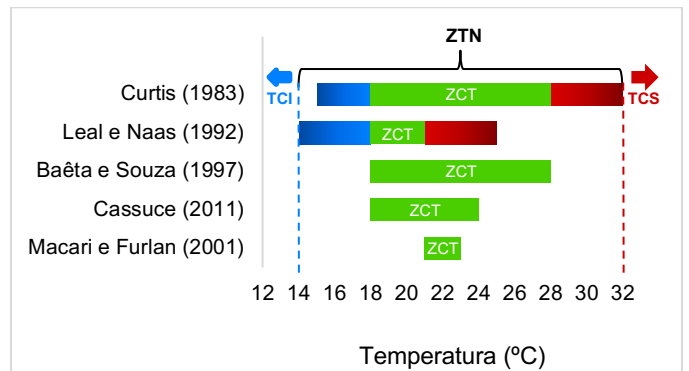
(B) – 2ª semana



(E) – 5ª semana



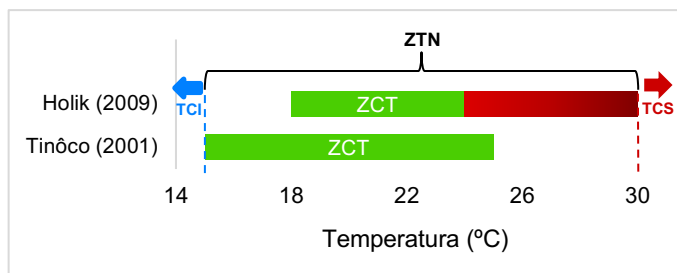
(C) – 3ª semana



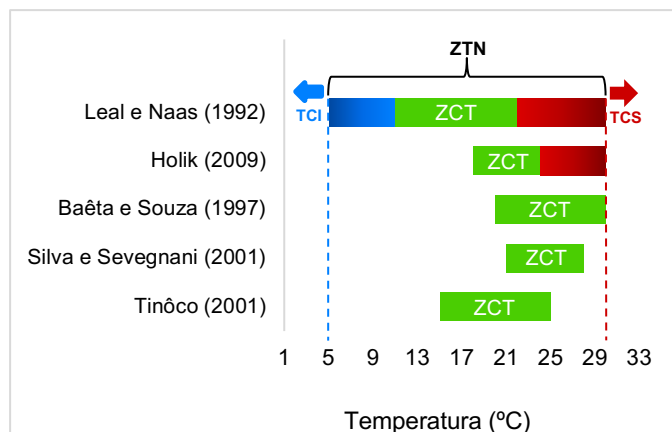
(F) – 6ª semana

Legenda: ZTN = Zona de Termoneutralidade; ZCT = Zona de Conforto Térmico; TCI = Temperatura Crítica Inferior; TCS = Temperatura Crítica Superior.

Figura 5. Parâmetros térmicos para aves de corte



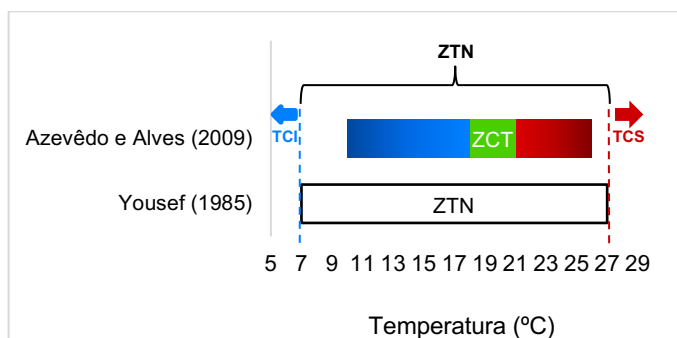
(A) - Crescimento



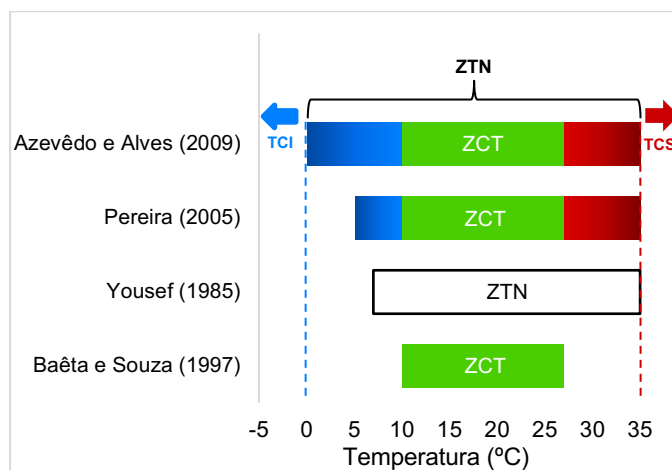
(B) - Postura

Legenda: ZTN = Zona de Termoneutralidade; ZCT = Zona de Conforto Térmico; TCI = Temperatura Crítica Inferior; TCS = Temperatura Crítica Superior.

Figura 6. Parâmetros térmicos para aves de postura



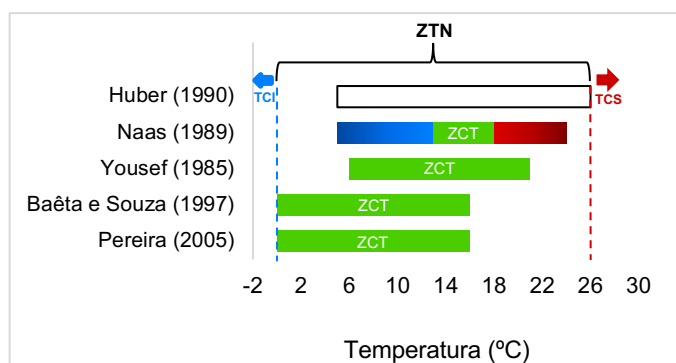
(A) - Bezerros



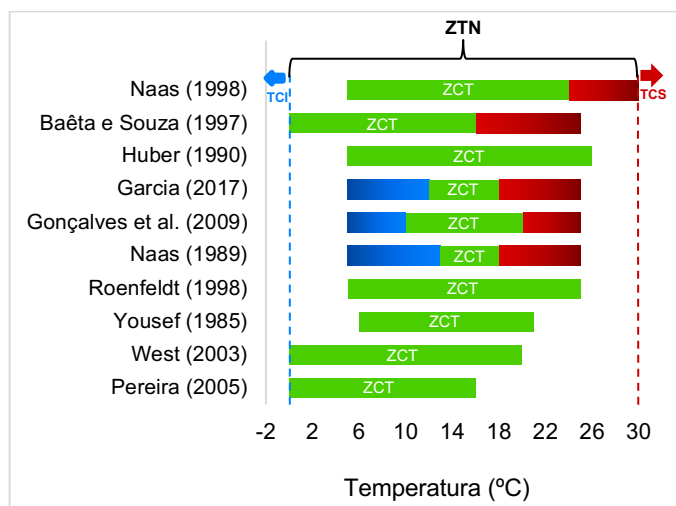
(B) - Adultos

Legenda: ZTN = Zona de Termoneutralidade; ZCT = Zona de Conforto Térmico; TCI = Temperatura Crítica Inferior; TCS = Temperatura Crítica Superior.

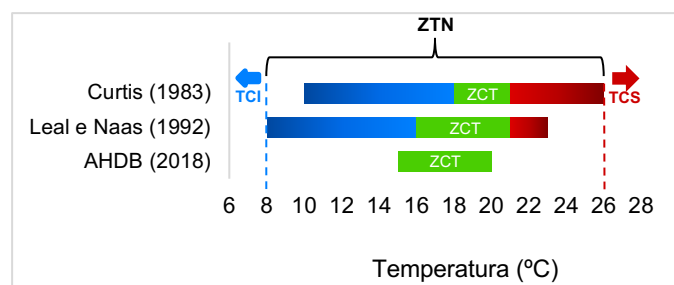
Figura 7. Parâmetros térmicos para bovinos de corte



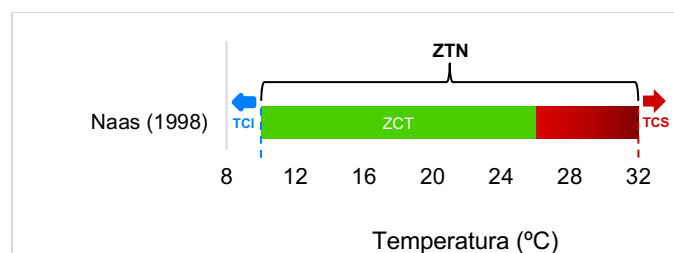
(A) – Vacas Secas



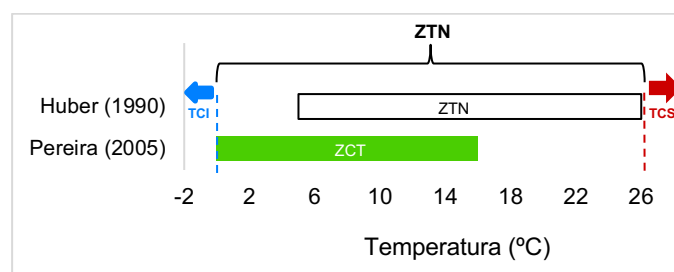
(B) – Vacas em Lactação



(C) - Bezerros



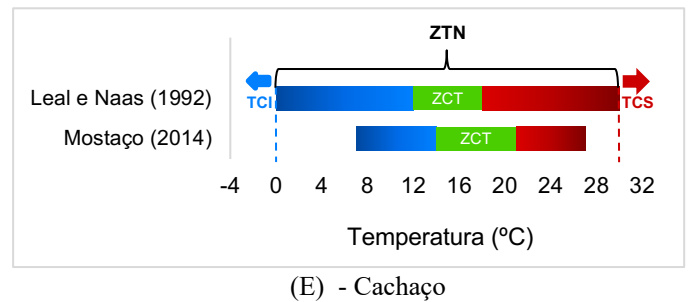
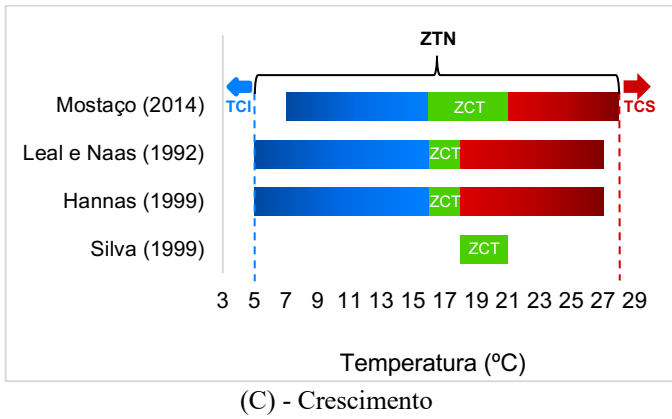
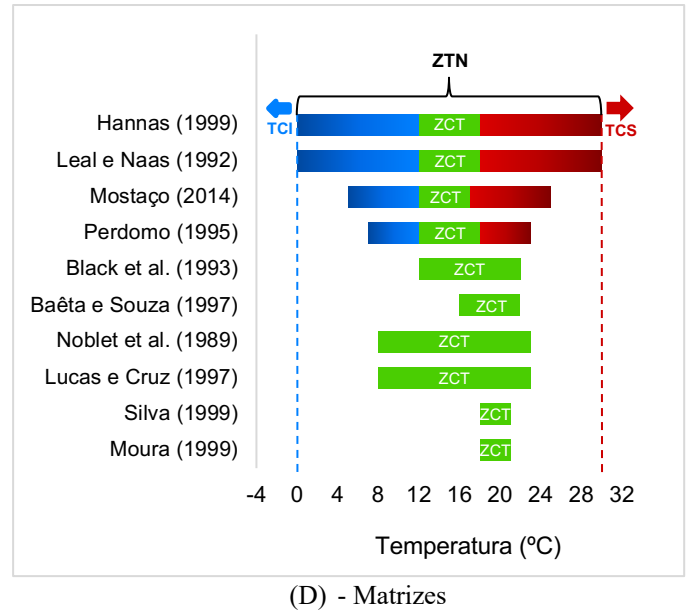
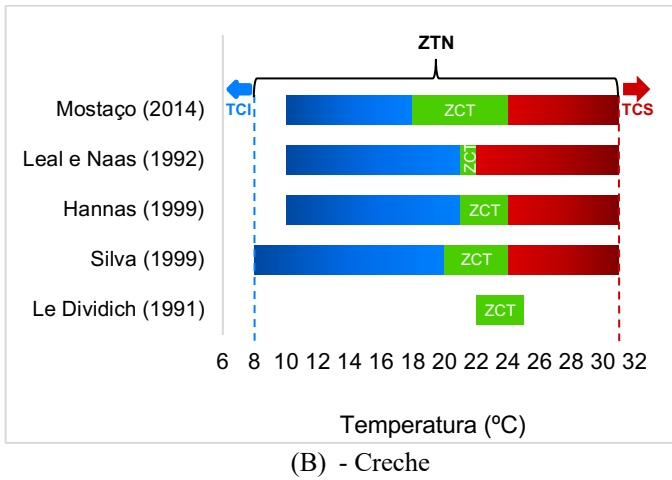
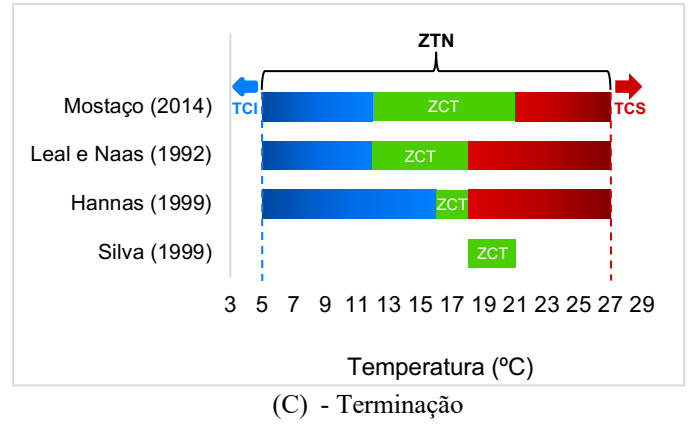
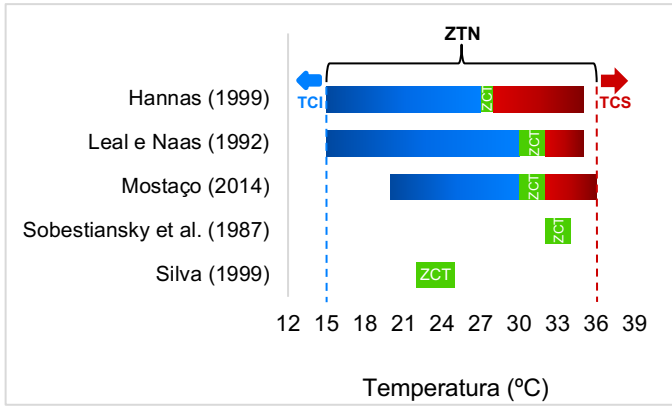
(B) - Novilhas



(E) - Touros

Legenda: ZTN = Zona de Termoneutralidade; ZCT = Zona de Conforto Térmico; TCI = Temperatura Crítica Inferior; TCS = Temperatura Crítica Superior.

Figura 8. Parâmetros térmicos para bovinos de leite



Legenda: ZTN = Zona de Termoneutralidade; ZCT = Zona de Conforto Térmico; TCI = Temperatura Crítica Inferior; TCS = Temperatura Crítica Superior.

Figura 9. Parâmetros térmicos para suínos

5. SISTEMA DE BAIXO CUSTO DE ALERTA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA PARA ANIMAIS DE PRODUÇÃO

Resumo: As ondas de calor foram classificadas no período entre 2015 e 2019, como o evento extremo com maior perigo de mortalidade entre os eventos climáticos. Apesar de ondas de calor estar em maior evidência nos últimos anos, vale destacar que em algumas regiões do planeta, as ondas de frio, também têm demonstrado impactos à sociedade. Na produção animal, a ocorrência desses eventos extremos pode gerar impactos no bem-estar, no desempenho financeiro da atividade e na economia regional. Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo, utilizando objetos de internet das coisas, para alerta da ocorrência de eventos extremos de temperatura (onda de calor ou de frio) na produção de aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos. Para elaboração deste trabalho, foram utilizadas quatro etapas. Em um primeiro momento, tratou-se acerca dos parâmetros numéricos utilizados no sistema para caracterizar e classificar ondas de calor e ondas de frio. Em seguida, descreve-se sobre as características gerais que envolvem o funcionamento do sistema. Na terceira parte, visualiza-se os componentes eletrônicos utilizados para a construção do dispositivo. Por fim, relata-se sobre o processo de validação do sistema. Como resultado, o trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para alerta da ocorrência de ondas de calor e de ondas de frio na produção de aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos. O sistema proposto poderá auxiliar na mitigação dos impactos advindos de ondas de calor e ondas de frio na produção animal.

Palavras-chave: Ambiência; Aplicativo; Estresse Térmico; Onda de Calor; Onda de Frio.

Introdução

Nas últimas décadas, há uma crescente preocupação da sociedade com as mudanças climáticas. Segundo a Organização Mundial Meteorológica (WMO, 2019), o período entre 2015 e 2019 foi o ciclo de cinco anos mais quente observado na história e com acréscimo de eventos meteorológicos extremos. Dentre os tópicos que envolvem este tema, estão as ondas de calor e as ondas de frio. As ondas de calor foram classificadas pela WMO (2019), no período entre 2015 e 2019, como o evento extremo com maior perigo de mortalidade entre os eventos climáticos. Ainda, segundo a WMO (2019), nesse ciclo, as ondas de calor ocorreram em todos os continentes do planeta, gerando vários recordes de temperatura. Apesar de ondas de calor estar em maior evidência nos últimos anos, vale destacar que em algumas regiões do planeta, as ondas de frio, também têm demonstrado impactos à sociedade (Linares et al. 2015; López-Bueno, 2020).

No contexto de produção animal, a ocorrência desses eventos extremos pode impactar em três aspectos: I) bem-estar animal, gerado pela diminuição do desempenho produtivo e pela ausência de conforto térmico (Brown-Brandl et al. 2005; Lees et al 2019; Renaudeau, 2020); II) financeiro, pela diminuição do volume produzido e; III) econômico, pela diminuição da oferta de produtos no mercado, elevando os preços de comercialização (CEPEA, 2020). Existem diversos estudos que analisam o efeito desses eventos para animais de produção. Dentre os trabalhos mais recentes, é possível citar, estudos para aves de corte (Azoulay et al. 2011; Abdelqader e Al-Fataftah, 2013; Vale et al. 2016); aves de postura (Lamarca et al. 2018; Riquena et al. 2019); bovinos de corte (Taborda, Saravia e Espasandín, 2018; Sa et al. 2018); bovinos de leite (Vitali et al. 2015; Bishop-Williams et al. 2015; Bishop-Williams et al. 2016); bubalinos (Pereira et al. 2020a); ovinos (Papanastasiou et al. 2016; Leu et al. 2021) e suínos (Brito et al. 2020; Renaudeau, 2020).

Além dos pontos mencionados, tem-se que as ondas de calor, nos próximos anos, devem aumentar em intensidade, duração e frequência (Meehl e Tebaldi, 2004; Perkins et al. 2012; Li e Zha, 2020; IPCC, 2022). Esse fato demonstra que as ondas de calor poderão impactar ainda mais os sistemas de produção animal. De acordo com o IPCC (2012), também há uma possibilidade do aumento de ondas de frio. Caso estas projeções estejam

corretas, será necessário que os produtores procurem alternativas para buscar diminuir o impacto desses eventos em seus sistemas de produção (Bishop-Williams et al. 2015). Institutos e organizações climáticas, como, por exemplo, ONU (2022) e IPCC (2022), apontam como alternativa no processo de mitigação desses impactos em diferentes setores, o desenvolvimento de sistemas de alerta de eventos extremos. Muitos países já utilizam estes tipos de sistemas para diferentes tipos de eventos extremos (ALERT-AS, 2022; Comissão Europeia, 2014; Ramón-Valencia et al. 2019; GFDRR, 2022).

Para animais de produção, existem sistemas que possuem como foco a observação do conforto e estresse térmico dos animais, buscando auxiliar o produtor rural na tomada de decisão. Dalmedico et al. (2016), desenvolveram um aplicativo, denominado ‘Conforcalc’, para o cálculo do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) para frangos. Oliveira Júnior et al. (2018), desenvolveram um dispositivo móvel contendo um sensor de temperatura e umidade, conectado com um aplicativo, denominado ‘Orvalho’, para o cálculo do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para aves, bovinos e suínos. Pereira et al. (2020b), elaboraram um trabalho similar ao de Oliveira Júnior et al. (2018), contudo possuíram como foco a produção de frangos. No estudo de Pereira et al. (2020b), além da avaliação da temperatura e umidade, foram adicionados sensores para captar no ambiente a quantidade de gás de amônia (NH_3) e a intensidade de luz. Castro Junior et al. (2021), apresentam um trabalho na mesma linha de pesquisa para aves (corte e postura), bovinos de leite e suínos. Adicionalmente aos demais estudos, o presente estudo apresenta previsões de temperatura, a partir de consulta a bases de dados climatológicos. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Brasil possui um sistema online, denominado ‘SISDAGRO’, para avaliação do conforto térmico de bovinos (SISDAGRO, 2022).

Existem cadeias produtivas na área de produção animal que possuem grande relevância econômica. De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022) e da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022), em âmbito mundial, as carnes mais consumidas são, respectivamente, de frangos, suínos e bovinos. No ano de 2020, a nível mundial, produziu-se 119,5 milhões de toneladas de carne de frango, 109,8 milhões de toneladas de carne suína e 67,8 milhões de toneladas de carne bovina (FAO, 2022). Ademais, outras cadeias produtivas também se destacam no cenário mundial de produção animal, como, por exemplo, a bovinocultura de leite e a avicultura de postura. Em 2020, foram produzidos no mundo, aproximadamente 1,6 trilhões de ovos de poedeiras e 718 milhões de toneladas de leite de bovinos (FAO, 2022).

Portanto, diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo, utilizando objetos de internet das coisas, para alerta da ocorrência de eventos extremos de temperatura (onda de calor ou de frio) na produção de aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos.

Material e Métodos

O processo para elaboração deste trabalho é apresentado em quatro partes. Em um primeiro momento, é tratado acerca dos parâmetros numéricos utilizados no sistema para caracterizar e classificar ondas de calor e ondas de frio. Em seguida, descreve-se sobre as características gerais que envolvem o funcionamento do sistema. Na terceira parte, visualiza-se os componentes eletrônicos utilizados para a construção do dispositivo. Por fim, na última etapa é relatado sobre o processo de validação do sistema.

Parâmetros para caracterização e classificação de Ondas de Calor e Ondas de Frio

Uma onda de calor, pode ser definida como sendo “um período anormalmente quente e desconfortável” (IPCC, 2022; NOAA, 2022) e, uma onda de frio como um período de frio extremo (AMS, 2022). Entretanto, estas são definições mais abstratas e não apontam parâmetros numéricos para se caracterizar estes eventos. Ao observar os parâmetros utilizado na literatura, nota-se uma grande dispersão nos valores utilizados nos estudos (Xu et al. 2016; You et al. 2017).

Alguns autores (Lees et al. (2019) e Leu et al. (2021)), apontam que uma onda de calor para animais de produção deve ser definida como sendo o valor acima da Temperatura Crítica Superior (TCS). Por outro lado, existem diversos trabalhos de análise do impacto/efeito de ondas de calor, na qual utilizam parâmetros estatísticos (percentis) para se caracterizar uma onda de calor ou uma onda de frio (Vitali et al (2015); Papanastasiou et al (2016); Morignat et al (2018)).

Portanto, neste trabalho, utilizou-se dois critérios para caracterizar onda de calor: I) A temperatura deve ser maior ou igual que a TCS do animal analisado e II) A temperatura deve ser maior ou igual ao 90º percentil da região em que ocorre a produção. A mesma lógica de critérios ocorre para a caracterização de ondas de frio, sendo que: I) A temperatura deve ser menor ou igual a Temperatura Crítica Inferior (TCI) do animal analisado e II) A temperatura deve ser menor ou igual ao 10º percentil da região em que ocorre a produção. Destaca-se que para esta avaliação, é considerado a medição da temperatura do ar ocorrida em um período de 24 horas, registrando-se a temperatura máxima diária.

Para a definição dos valores da TCS e da TCI de cada animal, em sua respectiva fase de produção, foi realizado um extenso levantamento na literatura sobre ambiência animal. A seguir, na Tabela 1, apresenta-se os parâmetros numéricos utilizados para caracterizar (definir) onda de calor e onda de frio para cada animal, em sua respectiva fase de produção.

Tabela 1 – Parâmetros numéricos de temperatura para caracterização de ondas de calor e de ondas de frio para aves de corte, aves de postura, bovinos de corte, bovinos de leite e suínos

Tipo de animal	Fase de Produção	Temperatura para Onda de Frio		Temperatura para Onda de Calor	
		TCI	Estatística	TCS	Estatística
Ave de corte	1ª semana	≤ 30°C	≤ 10º percentil da região analisada	≥ 39°C	≥ 90º percentil da região analisada
	2ª semana	≤ 28°C		≥ 39°C	
	3ª semana	≤ 15°C		≥ 34°C	
	4ª semana	≤ 15°C		≥ 32°C	
	5ª semana	≤ 15°C		≥ 32°C	
	6ª semana	≤ 14°C		≥ 32°C	
Ave de postura	Crescimento	≤ 15°C		≥ 30°C	
	Postura	≤ 5°C		≥ 30°C	
Bovino de Corte	Bezerros	≤ 7°C		≥ 27°C	
	Adultos	≤ 0°C		≥ 35°C	
Bovino de Leite	Vacas secas	≤ 0°C		≥ 26°C	
	Vacas em Lactação	≤ 0°C		≥ 30°C	
	Bezerros	≤ 8°C		≥ 26°C	
	Novilhas	≤ 10°C		≥ 32°C	
	Touros	≤ 0°C		≥ 26°C	
Suínos	Maternidade	≤ 15°C		≥ 36°C	
	Creche	≤ 8°C		≥ 31°C	
	Crescimento	≤ 5°C		≥ 28°C	
	Terminação	≤ 5°C	≥ 27°C		
	Matrizes	≤ 0°C	≥ 30°C		
	Cachaço	≤ 0°C	≥ 30°C		

Além da caracterização dos eventos, foi realizado uma classificação das ondas de frio e ondas de calor em níveis de intensidade: leve, moderado e severo. Diferentes estudos têm utilizado mais de um parâmetro para classificar os níveis de intensidade de uma onda de calor (Morignat et al. 2018; Taborda, Saravia e Espasandin (2018)). Segundo McCarthy, Armstrong e Armstrong (2019), ondas de calor podem ser diferentes entre si e, portanto, não devem ser classificadas de maneira binária (onda de calor ou não onda de calor). A classificação baseou-se na estratificação dos percentis do histórico da temperatura local. A seguir, na Tabela 2, apresenta-se as categorias dos eventos e suas respectivas faixas.

Tabela 2 – Classificação de onda de frio e onda de calor

Onda de frio		Onda de calor	
Leve	≤ 10º percentil e > 5º percentil	Leve	≥ 90º percentil e < 95º percentil
Moderada	≤ 5º percentil e > 1º percentil	Moderada	≥ 95º percentil e < 99º percentil
Severa	≤ 1º percentil	Severa	≥ 99º percentil

As categorias para onda de frio e onda de calor na Tabela 2, não poderão seguir os critérios apresentados nas situações em que a TCS seja maior que o 90º percentil e quando a TCI for menor que o 10º percentil. Nesses casos, as categorias (leve, moderada e severa) terão suas faixas reajustadas de acordo com cada situação. O reajuste irá estratificar o conjunto de dados de temperatura que estão acima da TCS ou abaixo da TCI, em uma escala de 50% | 40% | 10%. Desse modo, os primeiros 50% dos dados serão considerados como uma onda leve, os 40% seguintes, como uma onda moderada e, os últimos 10% como uma onda severa.

Em relação a duração, a literatura apresenta grande dispersão na quantidade mínima de dias para caracterizar os eventos. No processo de desenvolvimento do sistema, adotou-se que, a partir de um dia, poderá ser considerado uma onda de frio ou de calor. Adotou-se a partir de um dia, pois entende-se que a ocorrência de um evento como este, caso seja em um nível de intensidade severo, poderá causar impactos ao sistema produtivo e, portanto, torna-se importante ao produtor ser alertado sobre o evento.

Características do Sistema

O sistema é constituído por entrada, processamento e saída. Na entrada, existem diferentes variáveis provindas de fontes distintas. Para iniciar, o sistema necessita que o usuário indique as coordenadas geográficas (latitude e longitude) da propriedade que será monitorada, o tipo de animal (ave de corte, ave de postura, bovino de corte, bovino de leite ou suíno) e a fase de produção. Assim, o sistema possui os dados necessários para iniciar a fase de processamento, buscando identificar os parâmetros numéricos para caracterizar uma onda de calor e uma onda de frio.

Em seguida, o sistema realiza uma consulta a plataforma Nasa Power (NASA POWER, 2022), mais precisamente a ferramenta *'Data Access Viewer'* para consulta de dados históricos de temperatura das coordenadas informadas. São coletados dados de temperatura referente ao período de 31 dias por ano (dia atual – 15 dias, dia atual, dia atual + 15 dias) dos últimos 30 anos (clima). Por exemplo, caso o produtor esteja realizando uma consulta no dia 16 de julho, o sistema irá coletar os dados de temperatura entre 01 de julho e 31 de julho, dos últimos 30 anos. A partir do conjunto de dados obtidos, extrai-se os valores de percentis. Todo o processo é realizado de forma automática pela programação do sistema via a utilização de API (*Application Programming Interface*). Para o animal, o sistema consulta os valores de TCI e da TCS apresentado na Tabela 1, observando a respectiva fase de produção. Após esse processo, o sistema define os parâmetros numéricos para caracterização dos eventos extremos de temperatura.

Em paralelo, há a presença de um dispositivo coletando dados da temperatura local (ambiente interno), o qual foi construído utilizando objetos de Internet das Coisas (IoT) e que serão apresentados com mais detalhes na próxima subseção. Os dados coletados pelo dispositivo são enviados, via conexão Wi-Fi, para um banco de dados remoto (online).

Depois de definido os parâmetros, o sistema realiza uma consulta ao banco de dados remoto (online), para consulta da temperatura atual local (tempo real), mensurada pelo dispositivo. Nesse momento, o sistema realiza o processo de comparação do valor de temperatura obtido pelo dispositivo com os valores dos parâmetros definidos anteriormente. A partir da comparação, o sistema aponta como uma de suas saídas, a situação atual em que se encontra o rebanho de animais perante os eventos extremos de temperatura (onda de calor e onda de frio).

Além da situação atual, o sistema consulta, via utilização de API, a plataforma OpenWeather (OPENWEATHER, 2022), com o intuito de verificar a previsão de temperatura para cinco dias nas coordenadas geográficas informadas. Os dados são comparados com os parâmetros definidos anteriormente. Na saída do sistema, em paralelo com a situação atual, apresenta-se a previsão obtida para os dias seguintes.

Os dados provindos das API's e do banco de dados remoto são enviados para o sistema no formato JSON. A seguir, na Figura 1, é possível visualizar uma representação das entradas, processamentos e saídas do sistema.

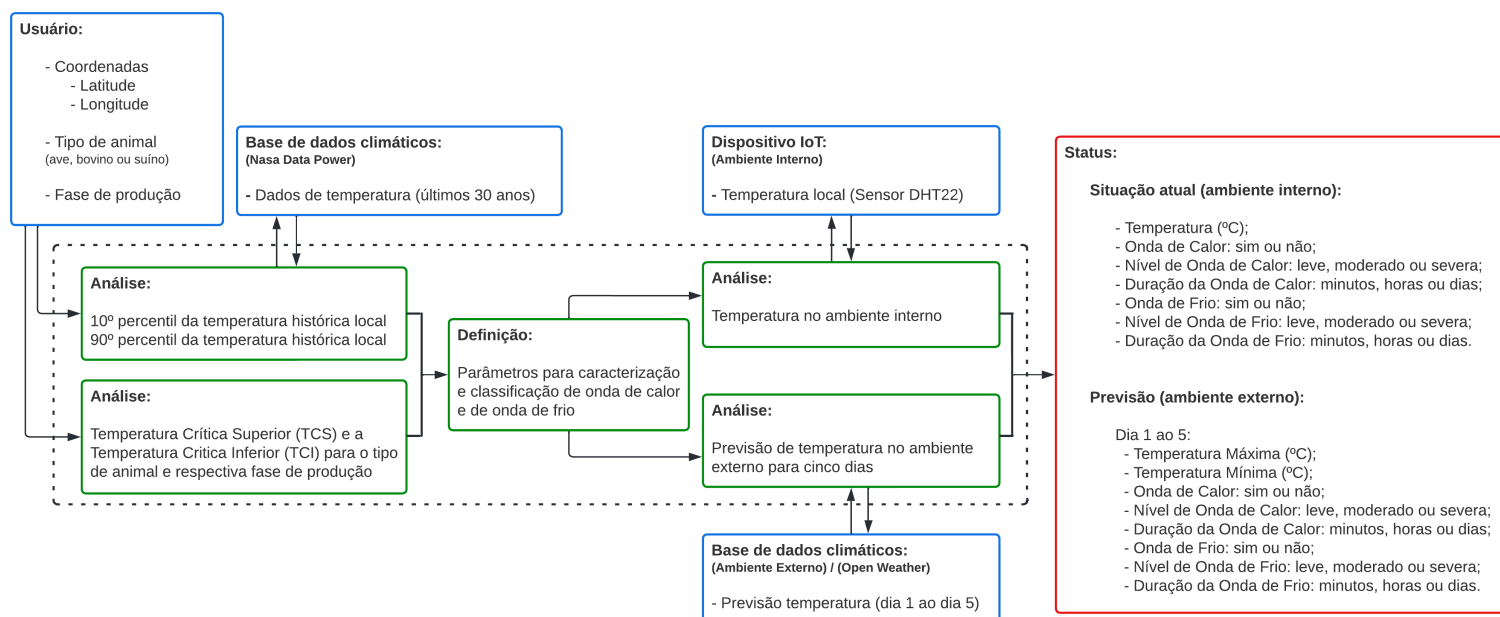


Figura 1. Representação das entradas (caixas azuis), processamentos (caixas verdes) e saídas (caixa vermelha) do sistema desenvolvido

Conforme apresentado na Figura 1, existem diferentes dados que compõem a fase de entrada do sistema. Na Tabela 3, a seguir, descreve-se os diferentes tipos de dados, forma de transmissão e fontes de dados que fazem parte da entrada do sistema.

Tabela 3 – Tipos, forma de transmissão e fonte dos dados

Tipo de dado	Forma de transmissão	Fonte do dado
Localização e Produção	Manual	Usuário (produtor)
Temperatura Ambiente Interno	Automática	Wemos D1 (Sensor DHT22)
Previsão da Temperatura	Automática	API – OpenWeather
Histórico de Temperatura	Automática	API – Nasa Data Power

Para o desenvolvimento do sistema, utilizou-se a linguagem de programação Python, junto a biblioteca Kivy para o desenvolvimento de interfaces. No processo de armazenamento, foi utilizado como banco de dados, o Firebase. Além disso, para a programação do microcontrolador (placa) para coleta e transmissão de dados de temperatura, foi utilizado o software Arduino IDE.

Componentes Eletrônicos

Para o desenvolvimento do dispositivo de coleta de dados no ambiente interno, foram necessários alguns componentes eletrônicos. Como microcontrolador (placa), utilizou-se o modelo Wemos Mini D1, contendo conexão Wi-Fi integrada para comunicação com o servidor (banco de dados). Este microcontrolador também foi utilizado no estudo de Pereira et al. (2020b), no monitoramento de variáveis ambientais (temperatura, umidade, iluminação e gás amônia (NH₃)).

Para a mensuração da temperatura, utilizou-se o sensor Adafruit DHT22, o qual segundo o fabricante (Adafruit, 2022), possui uma margem de erro de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e possui capacidade de aferição em uma faixa de

temperatura entre -40°C e 80°C . O sensor DHT22, também foi utilizado nos projetos de Oliveira Júnior et al. (2018) e de Pereira et al. (2020b). No trabalho de Castro Junior et al. (2021), optaram pela utilizado do sensor DHT11, sendo muito similar ao DHT22, mas com menor nível de precisão (margem de erro de $\pm 2^{\circ}\text{C}$) e com menor faixa de aferição de temperatura (entre 0°C e 50°C), conforme aponta o fabricante (Adafruit, 2022).

Além do microcontrolador e do sensor, também foram necessários outros componentes eletrônicos, como: Display LED, Fonte de Energia 5V, Módulo de Cartão Micro SD, Cartão de memória Micro SD 16GB, Luzes de LED, Fios (jumpers), Parafusos e uma Caixa Customizada para proteção dos equipamentos no campo. Ressalta-se que o levantamento do gasto total do projeto, foi realizado com base nos preços de mercado de cada componente utilizado para a construção do dispositivo. A seguir, na Figura 2, ilustra-se os principais componentes eletrônicos utilizados para a construção do dispositivo.

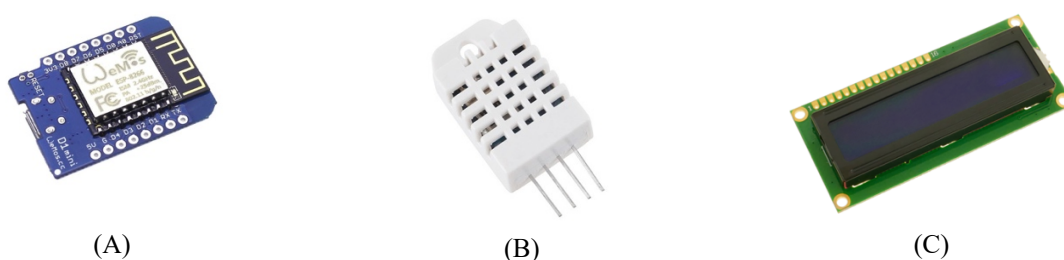


Figura 2. Componentes eletrônicos utilizados para construção do dispositivo (A: Microcontrolador Wemos Mini D1; B: Sensor Adafruit DHT22 e; C: Display LED 16x2)

Processo de Validação

O processo de validação foi realizado em uma propriedade rural, produtora de bovinocultura de corte, localizada no município de Vera Cruz, Estado de São Paulo, Brasil. O dispositivo foi instalado em paralelo com um sensor da marca HOBO® (modelo: U12-001) a 1,5 metros de altura do chão. Conforme aponta Pereira et al. (2020b), o sensor DHT22 utilizado no dispositivo deste projeto já é pré-calibrado pelo fabricante, dispensando a necessidade de calibração, sendo que seu funcionamento pode ser diretamente comparado com um sensor comercial.

Primeiramente, com o intuito de validar o processo de transferência de dados, conectou-se o dispositivo construído na internet, por meio de uma rede Wi-Fi. Após esse processo, averiguou-se sobre a integração entre o sistema desenvolvido e o dispositivo construído. Para isso, realizou-se uma observação simultânea dos valores apresentados no sistema e na tela (display) do dispositivo.

Para avaliar a qualidade dos dados, foram realizados dois períodos de aferição. O primeiro período foi realizado no mês de janeiro de 2022 entre os dias de 11/01/2022 e 29/01/2022, buscando períodos de ocorrência de temperaturas mais altas. Já o segundo período foi realizado entre 15/07/2022 e 02/08/2022, buscando períodos da ocorrência de temperaturas mais amenas. Em ambos os casos, o período de medição foi de 19 dias consecutivos, sendo coletado o valor de temperatura de cada equipamento em um intervalo de frequência de dois minutos. No primeiro período, foram realizadas 13.031 medições e no segundo período 13.353 medições. Para cada dia observado, selecionou-se a temperatura máxima e temperatura mínima registrada. A partir da soma dessas duas temperaturas e posterior divisão, foi encontrado a temperatura média de cada dia.

Posteriormente ao processo de coleta de dados, os dados foram estruturados em planilhas eletrônicas. Nas planilhas, foram realizadas regressões lineares utilizando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). A partir disso, obteve-se a equação da reta de regressão e o coeficiente de correlação (R^2). Na sequência, comparou-se o nível de semelhança dos valores de temperatura obtidos nos períodos analisados, entre o dispositivo construído e o sensor da marca HOBO®.

Resultados e Discussão

O sistema proposto foi denominado como ‘ZOOTEMPO’ e tem como finalidade alertar o produtor sobre a ocorrência de eventos extremos de temperatura (onda de calor e onda de frio) em tempo real. Na Figura 3, é possível visualizar a imagem frontal (A) e lateral (B) do dispositivo desenvolvido utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT).

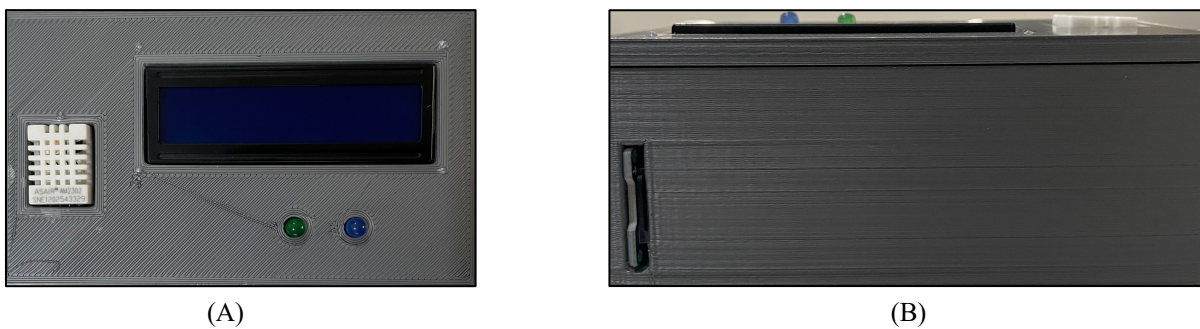


Figura 3. Dispositivo IoT para coleta, impressão e transmissão de dados de temperatura

O sistema permite que o usuário (produtor) verifique a previsão da ocorrência desses eventos em um período de cinco dias, contados a partir do dia atual. O sistema é disponibilizado para o sistema operacional Windows e Android (versão mobile). Na Figura 4, são apresentadas as principais interfaces do sistema para a versão mobile.

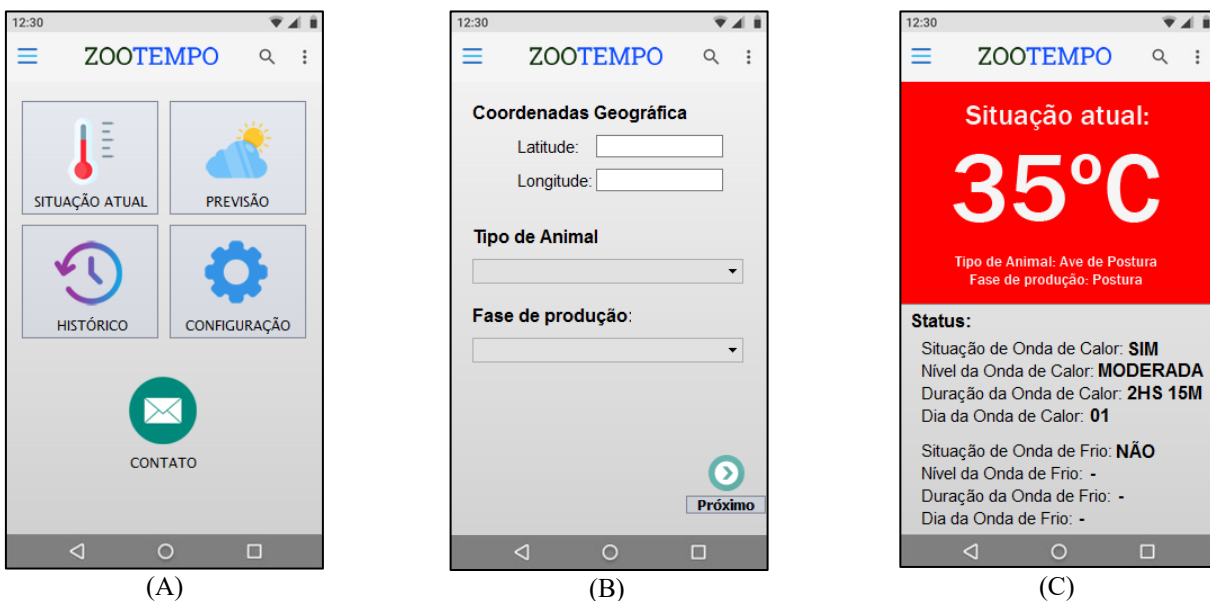


Figura 4. Interfaces do sistema ZOOTEMPO

Na Figura 4, a primeira interface representa o menu principal do sistema. Nesta interface, o usuário tem a possibilidade de acessar: I) a situação atual de monitoramento; II) previsão; III) dados históricos; IV) configurações e V) contato com o desenvolvedor. Já a segunda interface, apresenta os campos em que o produtor deverá informar: as coordenadas geográficas (latitude e longitude) da propriedade rural; o tipo de animal (ave de corte, ave de postura, bovino de corte, bovino de leite ou suíno) e; a respectiva fase de produção referente ao tipo de animal escolhido anteriormente. Por exemplo, se o produtor definiu como tipo de animal o suíno, em seguida, deverá escolher a fase de produção do suíno que deseja monitorar (maternidade, creche, crescimento, terminação, matrizes ou cachaços).

Na terceira interface, obtém-se o relatório (status) do monitoramento contendo as seguintes informações: I) o valor da temperatura atual (em graus Celsius); II) situação positiva ou negativa de onda de calor e, em caso positivo, o nível da onda (leve, moderada ou severa) e sua duração e; III) situação positiva ou negativa de onda de frio e, assim como para onda de calor, em caso positivo, o nível da onda (leve, moderada ou severa) e sua duração.

No menu principal, a opção 'previsão', oferece uma interface muito similar a terceira interface, apresentando as mesmas informações, mas com a projeção desses dados desde o dia 1 até o dia 5. A partir da previsão, o sistema monitora os dados de temperatura que estão previstos para os dias seguintes e, caso esteja previsto uma onda (frio ou calor), o usuário é notificado pelo sistema. Além disso, a partir do monitoramento em tempo real, também há o processo de alerta ao produtor, quando da ocorrência de um evento extremo de temperatura. É importante destacar que o ponto mencionado é o responsável pelo presente sistema ser considerado como 'sistema de alerta'. Caso não houvesse tal notificação, o sistema deveria ser considerado como 'sistema de monitoramento'.

Os parâmetros para caracterização e classificação de ondas de calor e de frio estão pré-configurados no sistema, seguindo os valores apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2. Contudo, caso deseje, o usuário do sistema, poderá alterar os parâmetros, acessando as configurações do sistema, por meio da opção na interface principal.

Além das opções mencionadas, o usuário tem a possibilidade de consultar os dados históricos coletados pelo dispositivo. Os dados coletados ficam armazenados no banco de dados remoto e em um cartão micro SD inserido no dispositivo. Os valores da temperatura em tempo real e o status da situação de onda de frio ou de onda de calor, também aparecem no display de LED (Figura 2 (C)) presente no dispositivo. O dispositivo conta também com duas luzes de LED, sendo uma na cor verde (sinaliza se o dispositivo está ligado ou desligado) e outra na cor azul (sinaliza se o dispositivo está realizando a leitura da temperatura, gravando a informação no cartão e enviando os dados para o servidor).

No que tange a validação do sistema e dispositivo proposto, averiguou-se o processo de transferência de dados e a qualidade de aferição do sensor presente no dispositivo. Na transferência de dados, verificou-se que 98,7% dos dados foram enviados, sendo apenas 1,3% não enviados. Os dados não transmitidos se deram em função da instabilidade da internet presente na propriedade rural. Essa avaliação foi realizada comparando-se os dados presentes no banco de dados no servidor com os dados presentes no cartão de memória conectado no dispositivo. Em relação ao sensor, na Figura 5, a seguir, ilustra-se graficamente, os dados de temperatura coletados pelo dispositivo construído e pelo sensor da marca HOBO® durante o período de inverno.

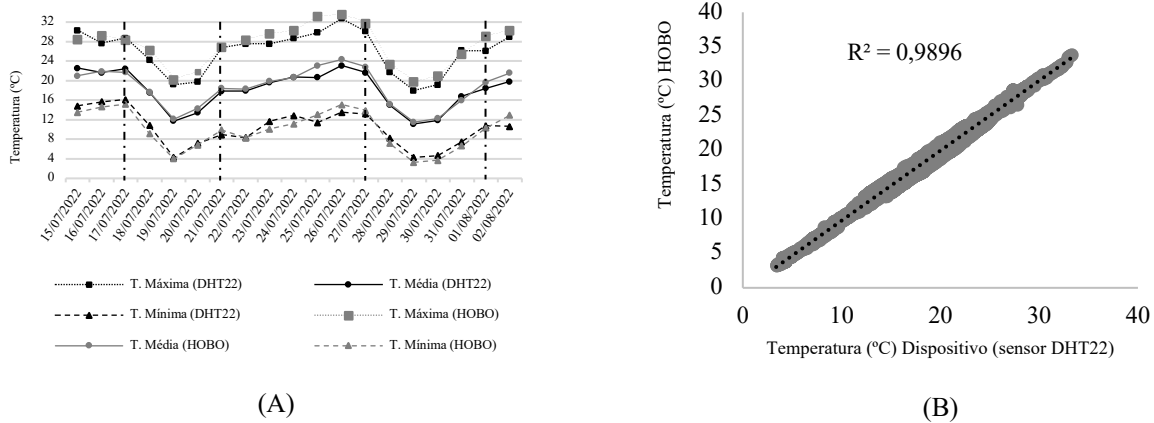


Figura 5. Comparação gráfica entre os dados de temperatura coletados pelo dispositivo e pelo sensor da marca HOBO® durante período de inverno

Os dados apresentados no gráfico (Figura 5 (A)), mostram que no período analisado, há um alto nível de semelhança entre os dois sensores nas temperaturas máximas, médias e mínimas observadas. Já o valor de R^2 , sendo igual a 0,9896 (Figura 5 (B)), comprova uma alta correlação entre os valores obtidos pelos dois sensores. Com o intuito de complementar o processo de validação do dispositivo, foi avaliado seu funcionamento, em um período de temperatura mais altas. Na Figura 6, são apresentados os dados de temperatura coletados pelo dispositivo construído e pelo sensor da marca HOBO® durante o período de verão.

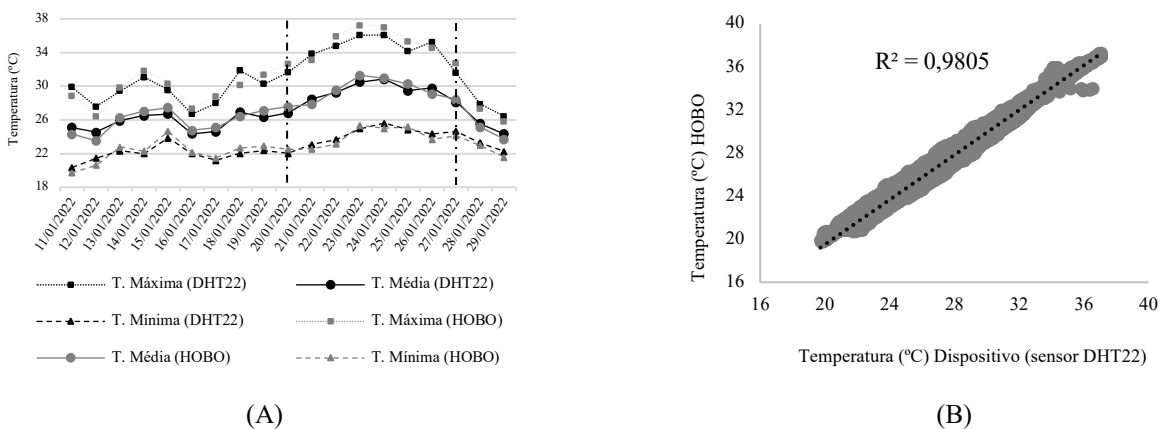


Figura 6. Comparação gráfica entre os dados de temperatura coletados pelo dispositivo e pelo sensor da marca HOBO® durante período de verão

Os resultados encontrados para o período do verão, demonstram uma situação muito similar ao analisado durante o período do inverno. Os dados de temperaturas máximas, médias e mínimas de ambos os sensores, são semelhantes no período observado (Figura 6 (A)), assim como o valor de R^2 , sendo igual a 0,9805 (Figura 6 (B)). Os valores encontrados para R^2 , na Figura 5 e na Figura 6, demonstram que o dispositivo construído pode ser utilizado para a medição da temperatura do ar, sem prejuízos na qualidade dos dados obtidos. Além disso, estes valores são próximos a 0,9761 e 0,9713, encontrados no trabalho de Pereira et al. (2020b).

Ressalta-se que o dispositivo proposto, foi desenvolvido utilizando o conceito de Internet das Coisas (IoT), buscando obter um baixo custo de desenvolvimento. A seguir, na Tabela 4, apresenta-se os custos dos componentes eletrônicos necessários para a elaboração do projeto.

Tabela 4 – Custos para elaboração do projeto

Itens	Preço (R\$)
Microcontrolador Mini Wemos D1	40,00
Sensor de Temperatura e Umidade – Adafruit DHT22	50,00
Módulo Cartão Micro SD	25,00
Cartão de memória Micro SD 16GB	20,00
Fonte de energia 5V	18,00
Display LCD 16X2	30,00
Luzes de LED	5,00
Fios (jumpers) e Parafusos	4,00
Caixa Customizada	35,00
Custo Total	227,00

Um equipamento para medição de temperatura e umidade, sem conexão Wi-Fi e sem display LCD (observação em tempo real), com foco apenas coleta de dados, para posterior análise, possui um custo aproximado de R\$ 400,00. Já um equipamento com as mesmas funcionalidades (conexão Wi-Fi e display LED) que o presente dispositivo, possui um preço em torno de R\$ 1.200,00. O baixo custo do equipamento desenvolvido utilizando o conceito de IoT, pode ser comprovado a partir da comparação com o preço de outros equipamentos de medição de temperatura disponíveis no mercado.

Ademais, o baixo custo para a construção desse dispositivo, permite maior possibilidade de acesso a ferramenta aos pequenos produtores e agricultores familiares. Para os médios e grandes produtores que detêm muitos galpões, há uma redução de gasto em função da escala produzida.

Os resultados derivados deste trabalho, corroboram para que o produtor seja alertado e para que possa se antever diante de eventos extremos de temperatura, os quais podem ser prejudiciais ao negócio e ao bem-estar dos animais. Assim, o sistema proposto auxilia no processo de tomada de decisão do produtor quanto a medidas para buscar mitigar o impacto/efeito desses eventos. Este projeto também corrobora para a corrente de trabalhos e pesquisas que utilizam o conceito de IoT aplicado na área de ambiência animal (Oliveira Junior et al. 2018; Pereira et al. 2020b e Castro Junior et al. 2021). Os trabalhos mencionados apresentam sistemas para mensuração de variáveis climáticas com foco no cálculo de indicadores de conforto térmico como: Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Temperatura de Globo Negro (ITGU), Índice de Calor e Entalpia. Destaca-se que este estudo não teve a pretensão de trabalhar com tais indicadores, pois teve como foco os eventos extremos de temperatura.

Além da área de ambiência animal, este projeto segue as recomendações de instituições renomadas como, ONU (2022) e IPCC (2022), que apontam sobre a importância do desenvolvimento de sistemas de alerta para buscar minimizar os impactos da ocorrência de eventos extremos climáticos. A proposta do sistema ‘ZOOTEMPO’, torna-se ainda mais relevante em um contexto de mudanças climáticas, à medida que as ondas de calor devem aumentar nos próximos anos em frequência, duração e intensidade (Meehl e Tebaldi, 2004; Perkins et al. 2012; Li e Zha, 2020; IPCC, 2022).

Conclusão

O trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para alerta da ocorrência de ondas de calor e de ondas de frio na produção de aves (corte e postura), bovinos (corte e leite) e suínos. O sistema proposto poderá auxiliar na mitigação dos impactos advindos de ondas de calor e ondas de frio na

produção animal. O baixo custo permite que o sistema seja utilizado por produtores de qualquer escala de produção, como, por exemplo, pequenos produtores e agricultores familiares. Ademais, com as devidas adaptações nos parâmetros inseridos no algoritmo, o sistema pode ser aplicado para outros tipos de animais de produção, como bubalinos, equinos, ovinos, entre outros.

Estudos futuros podem apresentar sistemas que alertem sobre a ocorrência de um evento extremo de temperatura baseado não somente nos parâmetros utilizados nesse trabalho, mas também em parâmetros ligados ao comportamento dos animais, os quais podem ser mensurados com a utilização de tecnologias de análise de imagem, aprendizado de máquina e inteligência artificial. Em outras palavras, próximos estudos podem buscar um maior nível de precisão (considerando as características produtivas locais) em relação ao processo de caracterização desses eventos. O sistema proposto neste trabalho, pode ser considerado como uma solução paliativa no processo de mitigação dos impactos de ondas de calor e ondas de frio aos animais de produção.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pela concessão da bolsa que possibilitou essa pesquisa.

Referências

- Abdelqader, A., Al-Fataftah, A. 2013. Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. *Journal of Thermal Biology*. 39, 1-5.
- Adafruit. DHT. 2022. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/dht>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- ALERT-AS. 2022. Centro Virtual para Avisos de Eventos Meteorológicos Severos para o Sul da América do Sul. 2022. Disponível em: <<https://alertas2.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- American Meteorological Society (AMS). 2022. Glossary of Meteorology. Disponível em: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold_wave>. Acesso em: 20 jan 2022.
- Azoulay, Y., Druyan S., Yadgary L., Hadad Y., Cahaner A. 2011. The viability and performance under hot conditions of featherless broilers versus fully feathered broilers. *Poultry Science*. 90, 19-29.
- Bishop-Williams, K. E., Berke, O., Pearl, D. L., Hand, K., Kelton, D. F. 2015. Heat stress related dairy cow mortality during heat waves and control periods in rural Southern Ontario from 2010–2012. *BMC Veterinary Research*. 11, 1-10.
- Bishop-Williams, K. E., Berke O., Pearl, D. L., Hand, K., Kelton, D. F. 2016. Mapping rural community and dairy cow heat stress in Southern Ontario: A common geographic pattern from 2010 to 2012. *Archives of Environmental & Occupational Health*. 71, 199-207.
- Brito, A. A., Silva, R. B., Bueno, J. P. R., Nascimento, F. G. O., Moraes, C.A., Nascimento, M. R. B. M. 2020. Occurrence of heat waves and the prediction of feed intake of sows raised in a tropical environment. *Brazilian Journal of Animal Science*. 49, 1-9.
- Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Mader, T. L., Spiers, D. E., Parkhurst, A.M. 2005. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology*. 49, 285-296.
- Castro Junior, S. L., Balthazar, G. R., Silva, I. J. O. 2021. Development and validation of a mobile APP for the diagnosis of heat stress in livestock animals. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*. 6, 209-222.

- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). 2020. Ovos/CEPEA: Preços avançam pela 3ª semana consecutiva. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/ovos-cepea-precos-avancam-pela-3-semana-consecutiva.aspx>>. Acesso em: 17 jan. 2022.
- Comissão Europeia. 2014. Investigação da UE cria alertas de inundações mais rápidos e exatos. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/IP_14_950>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- Dalmedico, G., Abreu, P. G., Coldebella, A., Santos Filho, J. I. 2016. Conforcalc-manual do usuário. Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1062043>>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. FAOSTAT – Crops and livestock products. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). 2022. Hydromet Services and Early Warning Systems. Disponível em: <<https://www.gfdr.org/en/hydromet-services-and-early-warning-systems>>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- Lamarca, D. S. F., Pereira, D. F., Magalhães, M. M., Salgado, D. D. 2018. Climate Change in Layer Poultry Farming: Impact of Heat Waves in Region of Bastos, Brazil. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 20, 657-664.
- Lees, A. M., Sejian, V., Wallage, A. L., Steel, C. C., Mader, T. L., Lees, J. C., Gaughan, J. B. 2019. The impact of heat load on cattle. *Animals (Basel)*. 9, 322.
- Leu, S. T., Quiring, K., Leggett, K. E. A., Griffith, S. C. 2021. Consistent behavioural responses to heatwaves provide body condition benefits in rangeland sheep. *Applied Animal Behaviour Science*. 234, 1-8.
- Li, L., Zha, Y. 2020. Population exposure to extreme heat in China: Frequency, intensity, duration and temporal trends. *Sustainable Cities and Society*. 60, 1-10.
- Linares, C., Diaz, J., Tobías, A., Carmona, R., Mirón, I. J. 2015. Impact of heat and cold waves on circulatory-cause and respiratory-cause mortality in Spain: 1975-2008. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 29, 2037-2046.
- López-Bueno, J. A., Linares, C., Sánchez-Guevara, C., Martínez, G. S., Mirón, I. J., Núñez-Peiró, M., Valero, I., Díaz, J. 2020. The effect of cold waves on daily mortality in districts in Madrid considering sociodemographic variables. *Science of The Total Environment*. 749, 1-8.
- McCarthy, M., Armstrong, L., Armstrong, N. 2019. A new heat wave definition for the UK. *Weather*. 74, 382-387.
- Meehl, G. A., Tebaldi, C. 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*. 305, 994-997.
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J. L., Sala, C., Calavas, D., Hénaux, V. 2018. Impact of heat and cold waves on female cattle mortality beyond the effect of extreme temperatures. *Journal of Thermal Biology*. 78, 374-380.
- Nasa Power. 2022. Data Access Viewer. Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2022. Glossary. Disponível em: <<https://forecast.weather.gov/glossary.php?word=heat%20wave>>. Acesso em: 20 jan 2022.

- Oliveira Júnior, A. J., Souza, S. R. L., Cruz, V. F., Vicentin, T. A., Glavina, A. S. G. 2018. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers and Electronics in Agriculture*. 151, 175-184.
- Organização das Nações Unidas (ONU). 2022. ONU lança proposta para sistemas de alerta precoce contra clima extremo. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/175666-onu-lanca-proposta-para-sistemas-de-alerta-precoce-contr-clima-extremo>>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- OpenWeather. 2022. Weather API. Disponível em: <<https://openweathermap.org/api>>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- Papanastasiou, D. K., Bartzanas, T., Panagakis, P., Zhang, G., Kittas, C. 2016. Study of heat-stress levels in naturally ventilated sheep barns during heat waves: development and assessment of regression models. *International Journal of Biometeorology*. 60, 1637-1644.
- Pereira, A. M. F., Vilela, R. A., Titto, C. G., Leme-dos-Santos, T. M. C., Geraldo, A. C. M., Balieiro, J. C. C., Calviello, R. F., Birgel Junior, E. H., Titto, E. A. L. 2020a. Thermoregulatory Responses of Heat Acclimatized Buffaloes to Simulated Heat Waves. *Animals*. 10, 1-17.
- Pereira, W. F., Fonseca, L. S., Putti, F. F., Góes, B. C., Naves, L. P. 2020b. Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept. *Computers and Electronics in Agriculture*. 170.
- Perkins, S. E., Alexander, L. V. 2012. On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*. 26, 4500-4517.
- Ramón-Valencia, J. A., Palacios-González, J. R., Santos-Granados, G. R., Ramón-Valencia, J. D. 2019. Early warning system on extreme Weather events for disaster risk reduction. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. 92, 96-104.
- Renaudeau, D. 2020. Impact of single or repeated short-term heat challenges mimicking summer heat waves on thermoregulatory responses and performances in finishing pigs. *Translational Animal Science*. 4, 1-14.
- Riquena, R. S., Pereira, D.F., Vale, M. M., Salgado, D. D. 2019. Mortality prediction of laying hens due to heat waves. *Revista Ciência Agronômica*. 50, 18-26.
- Sa, S. J., Jeong, J., Cho, J., Lee, S. H., Choi, I. 2018. Heat waves impair cytoplasmic maturation of oocytes and preimplantation development in Korean native cattle (Hanwoo). *Korean Journal of Agricultural Science*. 45, 493-498.
- Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO). Conforto Térmico Bovino. 2022. Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/confortoTermico>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- Taborda, P. A. B., Saravia, C. T., Espasandin, A. C. 2017. Physiological responses and animal behavior in Bonsmara-Hereford crosses vs. Hereford purebred on environment stress. *Scientia Agricola*. 75, 479-485.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2022. Foreign Agricultural Service. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>>. Acesso em: 25 jan. 2022.
- Vale, M. M., Moura, D. J., Naas, I. A., Curi, T. M. R. C., Lima, K. A. O. 2016. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. 36, 271-280.
- Vitali, A., Felici, A., Esposito, S., Bernabucci, U., Bertocchi, L., Maresca, C., Nardone, A., Lacetera, N. 2015. The effect of heat waves on dairy cow mortality. *American Dairy Science Association*. 98, 4572-4579.
- Xu, Z., Gerald, G. F., Guo, Y., Jalaludin, B., Tong, S. 2016. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*. 90, 193-203.
- You, Q., Jiang, Z., Kong, L., Wu, Z., Bao, Y., Kang, S., Pepin, N. 2017. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. *Climate Dynamics*. 48, 3975-3989.

World Meteorological Organization (WMO). Global Climate in 2015-2019: Climate Change Accelerates. 2019.
Disponível: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates#:~:text=The%20WMO%20report%20on%20The,C%20compared%20to%202011%2D2015>>.
Acesso em: 10 jan. 2022.