



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

TATIANE BRANCO

**PADRÕES SEQUENCIAIS DE COMPORTAMENTO PARA
AVALIAR O BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE**

CAMPINAS
2021

TATIANE BRANCO

**PADRÕES SEQUENCIAIS DE COMPORTAMENTO PARA
AVALIAR O BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, na Área de Construções Rurais e Ambiente.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Daniella Jorge de Moura

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA
PELA ALUNA TATIANE BRANCO, E
ORIENTADA PELA PROF.^a DR.^a
DANIELLA JORGE DE MOURA.

CAMPINAS
2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B732p Branco, Tatiane, 1991-
Padrões sequenciais de comportamento para avaliar o bem-estar de frangos de corte / Tatiane Branco. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Daniella Jorge de Moura.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bem-estar animal. 2. Animais - Comportamento. 3. Conforto térmico. 4. Estresse térmico. 5. Indústria avícola. 6. Mineração de dados (Computação). I. Moura, Daniella Jorge de, 1970-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Sequential behavior patterns to estimate welfare of broilers

Palavras-chave em inglês:

Animal welfare

Animals - Behavior

Thermal comfort

Heat stress

Poultry industry

Data mining (Computer)

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Daniella Jorge de Moura [Orientador]

Marcos Martinez do Vale

Danilo Florentino Pereira

Luciane Silva Martello

Juliana de Souza Granja Barros

Data de defesa: 17-09-2021

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-1665-1380>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4748242013057072>

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Tatiane Branco**, aprovada pela Comissão Julgadora em 17 de setembro de 2021, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Prof.^a Dr.^a Daniella Jorge de Moura – Presidente e Orientadora

Prof. Dr. Marcos Martinez do Vale – Membro Titular

Prof. Dr. Danilo Florentino Pereira – Membro Titular

Prof.^a Dr.^a Luciane Silva Martello – Membro Titular

Dr.^a Juliana de Souza Granja Barros – Membro Titular

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

DEDICATÓRIA

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a
conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por me apoiarem, por me incentivarem e por sempre se preocuparem em me dar o melhor.

À minha irmã, por todo o apoio, ajuda e incentivo e por, junto dos meus pais, ajudarem a ter chegado ao fim desta etapa e serem a razão das minhas conquistas.

À Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida, iluminando-me e dando-me forças para caminhar, especialmente, nos momentos de dificuldades e desafios.

À professora Daniella, pelos ensinamentos, pela orientação, pela compreensão e por acreditar em meu trabalho.

Aos meus colegas de pós-graduação, pela ajuda nos dias difíceis e pela amizade que formamos.

Aos professores Marcos, Danilo, Luciane e Juliana, por aceitarem compor a banca examinadora e contribuir para a melhoria deste trabalho.

Aos meus amigos, que muitas vezes tiveram que compreender minhas ausências, meus sumiços repentinos e, ainda assim, apoiaram-me durante todo o tempo. O meu muito obrigada por existirem e por estarem presentes na minha vida, mesmo a quilômetros de distância.

Aos meus colegas que se tornaram amigos, pela companhia em minha estadia em Campinas, por tornarem meus dias mais leves e alegres e por ficarem ao meu lado sempre que eu precisava.

Aos meus colegas do inglês e que se tornaram grandes amigos, pelo companheirismo nas aulas, pelas risadas dentro e fora da sala de aula e por todo apoio que me deram.

À Sinelândia e ao Ângelo, pela hospitalidade e que, junto com a Pammela, tornaram minha morada mais leve com as conversas, os incentivos e, claro, as guloseimas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos que, de alguma forma, participaram deste momento, ajudaram-me a crescer e contribuíram para esta conquista, muito obrigada!

EPÍGRAFE

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”
(Albert Einstein)

“Nunca seremos suficientemente gratos a Deus,
aos nossos pais
e aos nossos mestres.”
(Aristóteles)

RESUMO

Uma série de variáveis influenciam a produtividade e o bem-estar na avicultura de corte. O comportamento é a primeira resposta da ave frente a um ambiente adverso capaz de fornecer um indicador de bem-estar em tempo real. Aliar parâmetros comportamentais ao uso de técnicas automatizadas promovem um maior grau de certeza na tomada de decisões em granjas avícolas. Para isso, o uso da mineração de dados e de algoritmos consegue identificar e avaliar os parâmetros interferentes da produção e dar uma resposta ao problema de forma rápida e precisa. A utilização da técnica de mineração de padrão sequencial aplicada a um conjunto de dados de comportamento de frangos de corte fornece padrões sequenciais de comportamento específicos em condições de diferentes temperaturas. Foram analisados dados de comportamento de frangos de corte em idade de 21 a 42 dias de idade em temperatura termoneutra e estresse térmico; e, por meio da mineração de padrões sequenciais, utilizando o algoritmo *Generalized Sequential Pattern algorithm* (GSP), o banco de dados de comportamento foi analisado. Os resultados obtidos mostraram que: (1) através do algoritmo GSP é possível prever padrões de comportamento nas diferentes temperaturas avaliadas a partir das sequências comportamentais na fase de crescimento e terminação; (2) frangos de corte expostos a temperaturas 8°C tanto acima como abaixo das condições termoneutras tendem a diminuir as atividades locomotoras, apresentando menor estado de bem-estar; (3) sequências comportamentais curtas foram características de estresse térmico; (4) comportamentos que são considerados característicos de estresse térmico somente apareceram nos padrões comportamentais sequenciais de frangos em estresse por calor; (5) a mineração de padrões sequenciais é uma técnica útil e simples para estimar o bem-estar de frangos de corte, permitindo a identificação de relações temporais entre o estresse térmico e o consequente comportamento do frango de corte; (6) o bem-estar de frangos de corte pode ser estimado por meio do comprimento das sequências de comportamento; (7) foi possível identificar relações temporais entre estresse térmico e comportamento de frangos de corte, reafirmando a necessidade de mais estudos sobre o uso de sequências temporais de comportamento para aliar a resposta animal aos controladores ambientais.

ABSTRACT

A number of variables influence productivity and welfare of broilers. The behavior is the bird's first response to an adverse environment capable of providing an indicator of well-being in real-time. The combination of behavioral parameters with the use of automated techniques promotes a greater degree of certainty in decision making in poultry farms. For this, the use of data mining and algorithms are able to identify and evaluate the interfering production parameters and provide an answer to the problem quickly and accurately. The use of the sequential pattern mining technique applied to a broiler behavior dataset provides specific sequential patterns of behavior under conditions of different temperatures. The dataset of behavior of broiler chickens aged 21 to 42 days was analyzed under thermoneutral temperature and thermal stress; and through sequential pattern mining, using the Generalized Sequential Pattern Algorithm (GSP), the behavior database was analyzed. The results indicated: (1) through the GSP algorithm it is possible to predict behavior patterns in the different variations evaluated from the behavioral sequences in the growing and finishing phases; (2) broilers exposed to temperatures at 8 °C both above and below thermoneutral conditions tend to decrease locomotor activities, less a lower welfare state; (3) short behavioral sequences were characteristic of heat stress; (4) behavior that is considered characteristic of heat stress, only appeared in the sequential behavioral patterns of chickens under heat stress; (5) sequence pattern mining is a useful and simple technique to estimate the welfare of broilers, allowing the identification of temporal relationships between heat stress and consequent behavior of the broiler; (6) the welfare of broilers can be estimated through the length of the behavior sequences; (7) we were able to identify temporal relationships between heat stress and behavior of broiler, reassuring the need for further studies on the use of temporal behavior sequences in environmental controllers.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Curva de bem-estar relacionada com a produtividade animal	20
Figura 2 – Representação esquemática da zona de termoneutralidade: produção de calor vs. temperatura ambiente	21
Figura 3 – Método de perda de calor com o aumento da temperatura do ar	24
Figura 4 – Visão esquemática dos principais elementos de controle ambiental	26
Figura 5 – Respostas de frangos de corte ao estresse por calor	28
Figura 6 – As cinco etapas do processo de descoberta de conhecimento	38

CAPÍTULO 2

Figure 1 - The time-series and data mining framework based on behavioural pattern extraction and classification	65
---	----

CAPÍTULO 3

Figure 1 – Scheme of climate chambers	78
Figure 2 – The observed behavior of broilers under TNZ and HS during the fourth, fifth, and sixth weeks of growth	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Temperatura ambiente para o conforto térmico na criação de frangos de corte	22
Tabela 2 – Principais índices ambientais utilizados em pesquisas avícolas	32
Tabela 3 – Etograma dos principais comportamentos de frangos de corte	35
Tabela 4 – Trabalhos utilizando ferramentas e tecnologias de PLF de monitoramento de aves	41

CAPÍTULO 2

Table 1 – Values of temperature used to stress the broilers at 21 and 28 days-old ...	63
Table 2 – Descriptive ethogram of the observed behaviours for the composition of the dataset	64
Table 3 – Partial data set for thermal neutral and stress exposure in the rearing environment	65
Table 4 – Behavioural pattern with sequence size ranging from 2 to 7 for broilers exposed to thermalneutral rearing environment, cold and heat stress at ages of 21 and 28 days-old	67

CAPÍTULO 3

Table 1 – Nutritional levels of diets according to bird age	77
Table 2 – The values of temperature (°C) and air relative humidity (%) used to stress the broilers at the fourth, fifth, and sixth weeks of growth	78
Table 3 – Descriptive ethogram of the 12 observed broiler behaviors for the composition of the dataset	79
Table 4 – Average frequencies of observed behaviors under HS and TNZ compared by the Tukey test during the 4th, 5th, and 6th week of growth	80
Table 5 – Main patterns of sequential behavior for thermoneutral conditions and thermal stress (sequence size ranging from 2 to 7)	80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Estrutura da Tese.....	15
1.2 Hipótese.....	16
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	16
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
CAPÍTULO I:	17
REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
2 BEM-ESTAR E AMBIÊNCIA NA AVICULTURA DE CORTE.....	19
2.1 Termorregulação em frangos de corte	21
2.2 Mecanismos de trocas de calor	23
3 CONFORTO E ESTRESSE TÉRMICO NA AVICULTURA DE CORTE	24
3.1 Controle ambiental em aviários de frangos de corte	25
3.2 Efeitos do estresse térmico na produção de frangos de corte	27
4 MENSURAÇÃO DO BEM-ESTAR EM FRANGOS DE CORTE	30
4.1 Parâmetros ambientais.....	31
4.2 Parâmetros produtivos	33
4.3 Parâmetros fisiológicos	33
4.4 Parâmetros comportamentais.....	35
5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE	37
5.1 Mineração de dados	37
5.1.1 Mineração de padrão sequencial.....	39
5.2 Ambiência e Zootecnia de Precisão na avicultura de corte	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO II:.....	59
Artigo 1: DETECÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM FRANGOS DE CORTE USANDO O ALGORITMO <i>GENERALISED SEQUENTIAL PATTERN</i>	59
CAPÍTULO III	74
ARTIGO 2: PADRÃO DE COMPORTAMENTO SEQUENCIAL DE FRANGOS DE CORTE EXPOSTOS A ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR	74
Capítulo IV:	87
DISCUSSÃO GERAL:	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1 INTRODUÇÃO

A avicultura industrial é considerada um sistema de produção crescente e em constante desenvolvimento. Isso porque o avanço em técnicas de manejo, instalações e equipamentos aliados à genética, nutrição e ambiência garantem a qualidade e produtividade dos frangos de corte. Com os avanços no setor, a avicultura de corte tem desempenhado um papel de liderança do setor pecuário em várias partes do mundo. Há décadas, a produção de frango de corte brasileira tem alcançado posição de destaque no mercado internacional. Atualmente, o Brasil é o 3º maior produtor mundial, mas esteve em 2º lugar na produção de frangos de corte de 2014 a 2019 e é o 1º exportador mundial de 2009 até o momento (ABPA, 2020).

A posição de destaque da avicultura de corte se deve pela implantação de sistemas de gestão do ambiente e da qualidade da carne que, atualmente, são essenciais devido às exigências do padrão internacional e dos consumidores. Dessa forma, tornam-se indispensáveis pesquisas nas áreas de bem-estar animal, ambiência, comportamento animal e no uso de tecnologias de climatização que aperfeiçoem a qualidade do ambiente para criação dos frangos de corte (BANHAZI e BLACK, 2009; MOURA et al., 2010; LIMA et al., 2020). Além disso, o aumento da população mundial, o aumento de renda e a urbanização em países em desenvolvimento intensificam a pressão sobre o setor agropecuário mundial para atender ao crescimento da demanda por produtos de origem animal (HENCHION et al., 2014; FOURNEL et al., 2017; OKINDA et al., 2020).

Entretanto, o Brasil tem um problema a ser enfrentado na criação de frangos de corte para manter os índices de produtividade adequados: a temperatura elevada, por ser um país de clima tropical. Dessa forma, o estresse térmico é uma preocupação atual em criações de carne de frango, uma vez que há uma grande porcentagem de aviários abertos sendo altamente dependentes das condições de temperatura externa (NÄÄS et al., 2010; ROJANO et al., 2016; LIMA et al., 2020).

O estresse térmico resulta em grandes perdas econômicas anuais; só nos Estados Unidos já foi relatado uma perda US\$ 128 a US\$ 165 milhões na indústria avícola (ST-PIERRE et al., 2003; NAWAB et al., 2018). Porém, no Brasil não há estudo evidenciando perdas econômicas causadas pelo estresse térmico, somente pesquisas indiretas que comprovam o desempenho zootécnico prejudicado em temperaturas elevadas. Por isso a necessidade do estudo dos efeitos do estresse térmico em frangos de corte e, com isso, encontrar uma forma de minimizar e/ou reduzir a perda econômica na produção de carne de frango (LARA e ROSTAGNO, 2013).

O estresse térmico acaba prejudicando o bem-estar das aves. Temperaturas elevadas são capazes de causar, além de prejuízos na produtividade zootécnica, mudanças comportamentais, fisiológicas e imunológicas nos frangos de corte (LARA e ROSTAGNO, 2013; SONG e KING, 2015; SCANES, 2016; FARAG e ALAGAWANY, 2018; NAWAB et al., 2018; WANG et al., 2018; SAEED et al., 2019; GONZALES-RIVAS et al., 2020). Isso nos leva a maximizar a compreensão dos fatores ambientais externos e internos dos aviários para conhecer as interferências em seu microclima interno, que são influenciadas por uma gama de variáveis (NÄÄS et al., 2010; LAY Jr., 2011). Entre estas variáveis, está o estudo do conforto térmico baseado na temperatura do ar e umidade relativa do ar, o qual visa analisar e estabelecer condições necessárias para a avaliação e a concepção de um ambiente térmico adequado às aves; e, com isso, manter a máxima produtividade dos frangos de corte.

O estudo do conforto térmico em conjunto com a ambiência animal tem como objetivo minimizar fatores estressores às aves, visando um ambiente mais adequado e próximo ao seu bem-estar natural. Dessa forma, ambiência e bem-estar estão totalmente interligados (MANNING et al., 2007; LAY Jr., 2011), tornando o gerenciamento do ambiente interno um fator primordial para manter o bem-estar, a ambiência e a produtividade da ave, uma vez que a ave não consegue se deslocar em busca de melhores condições climáticas.

As novas pesquisas na avicultura de corte vêm utilizando recursos de zootecnia de precisão aliando automação e otimização dos recursos produtivos (KRISTENSEN e CORNOU, 2011; KASHIHA et al., 2013; FERNANDEZ et al., 2018; VAN HERTEM et al., 2018; LIMA et al., 2020; OKINDA et al., 2020), fazendo a produção de frango de corte ganhar ainda mais competitividade e menor interferência com o ambiente externo. Isso nos demonstra o quão benéfico são os sistemas de suporte à decisão na avicultura.

Com o constante avanço da tecnologia e a utilização de sensores para coleta de variáveis ambientais, o uso de câmeras de vídeo e de outros equipamentos está cada vez mais presente em granjas avícolas, aumentando, assim, o número de informações coletadas. Para tanto, é necessário utilizar técnicas e ferramentas automatizadas para coletar e processar esses dados (DIEZ-OLIVAN et al., 2019; LIMA et al., 2020, MOGHADAM et al., 2020) de forma que a tomada de decisão seja precisa e em menor tempo possível; uma vez que a vida do frango de corte se resume a média de 6 semanas.

Para este grande volume de dados coletados diariamente, o uso da mineração de dados se tornou uma aliada para a tomada de decisões na avicultura de precisão (FOURNEL et al., 2017; MOROTA et al., 2018). A mineração de dados consegue extrair padrões ocultos ou informações que, até então, eram desconhecidas dentro do volume de dados coletados

(FAYYAD e STOLORZ, 1997). Ainda, é uma área de pesquisa multidisciplinar que inclui inteligência artificial, aprendizado de máquina, redes neurais e estatística, promovendo metodologia diferenciada em processos de tomada de decisão, solução de problemas, análises, planejamento, diagnóstico, detecção, integração, prevenção, aprendizado e inovação (HAN et al., 2011). Um ramo da mineração de dados é a mineração de padrão sequencial proposta por Agrawal e Srikant (1995), a qual visa evidenciar sequências de acontecimentos presentes em uma base de dados organizada em uma ordem cronológica. Essa técnica já foi usada na análise do comportamento de clientes, padrões de acesso à web, análise de experimentos científicos, testes de medicamentos (WRIGHT et al., 2015), no comportamento de aprendizagem de estudantes universitários após exposição a jogos educativos (SHIH, 2017), no comportamento de eventos climáticos e de poluição atmosférica (YANG et al., 2018), na análise de comportamento de turistas (WOLFRAM, 2020) e do comportamento das transações de empréstimo de livros (ASTUTI e ANGGRAINI, 2019). Na avicultura, até o momento, foi utilizado para avaliar o comportamento sequencial de frangos de corte em crescimento e terminação submetidos a estresse térmico (BRANCO et al., 2020, 2021).

Com o exposto, estudar o conforto térmico para obter a melhor ambiência nas instalações e bem-estar da ave é primordial. E a utilização de tecnologias de inteligência artificial para análise de banco de dados é essencial a fim de conseguirmos uma rápida resposta e solução de possíveis problemas enfrentados no setor avícola.

1.1 Estrutura da Tese

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos: o Capítulo I refere-se à revisão bibliográfica, envolvendo os principais fatores que interferem na produção econômica de frangos de corte. O Capítulo II compreende o artigo escrito e publicado nas normas da Revista *Biosystems Engineering* – “*Detection of broiler heat stress by using the generalised sequential pattern algorithm*”. O Capítulo III apresenta o artigo intitulado “*The sequential behavior pattern analysis of broiler chickens exposed to heat stress*”, o qual está publicado e escrito nas normas da Revista *AgriEngineering*. O Capítulo IV apresenta a discussão geral sobre os artigos propostos neste trabalho. Por fim, temos as Considerações Finais sobre a pesquisa proposta.

1.2 Hipótese

A utilização da técnica de mineração de padrão sequencial aplicada a um conjunto de dados de comportamento de frangos de corte fornece padrões sequenciais de comportamento específicos em condições de diferentes temperaturas; de modo que, o estudo do efeito do estresse térmico baseado no comportamento de frangos de corte demonstre padrões de sequência comportamental que podem ser utilizados, futuramente, para controle ambiental em aviários de frangos de corte.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicação da mineração de padrão sequencial no comportamento de frangos de corte submetidos a estresse térmico em diferentes idades de criação.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o comportamento sequencial em situação termoneutra e de estresse térmico na fase de crescimento e terminação de frangos de corte;
- b) Identificar e caracterizar o padrão de comportamento sequencial de frangos de corte em exposição ao calor constante;
- c) Estudar o bem-estar dos frangos de corte por meio do comportamento sequencial.

CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

O conceito de bem-estar animal é amplo e com uma gama de variáveis analisadas em conjunto. A importância da avaliação dos parâmetros produtivos, fisiológicos e comportamentais de frangos de corte são vistos em nível mundial, assim como a importância crescente de monitoramento e análise em tempo real da situação da granja avícola. O desenvolvimento de ferramentas para análise de dados em tempo real está em constante crescimento. A utilização de técnicas de mineração de dados consegue avaliar o grau de conforto e bem-estar de frangos de corte de maneira mais precisa e rápida. Ademais, com o uso da ambiência e da zootecnia de precisão, conseguimos identificar e melhorar os fatores ligados ao ambiente de criação por meio de técnicas não invasivas e, na maioria, de baixo custo. Este capítulo tem como objetivo uma revisão bibliográfica envolvendo os principais fatores que interferem na produção econômica de frangos de corte.

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O avanço do potencial genético na avicultura de corte, juntamente com melhorias nas áreas de sanidade, nutrição, instalações e ambiente interno dos aviários, fez com que o Brasil se tornasse um dos grandes produtores e exportadores de carne de frango. Aliado a isso, está o estudo do bem-estar da ave, variável analisada em conjunto à produtividade dos frangos de corte.

Manter a produtividade de frangos de corte em níveis ideais é uma preocupação em vista do crescimento da população mundial, cuja projeção é de mais de 9,6 milhões de pessoas até o ano de 2050 (ONU, 2019). Em vista disso, a produção agrícola aumenta consideravelmente para conseguir alimentar a crescente população; há a projeção de aumento de 70% da produção de produtos cárneos nos próximos 30 anos para atender às demandas globais (WOLFERT et al., 2017; NEETHIRAJAN, 2020). Nesse meio, o consumo de carne de frango tem ganhado preferência por ser uma carne branca, nutritiva e de baixo custo (HENCHION et al., 2014; OKINDA et al., 2020; VANDANA et al., 2021). Além de os consumidores buscarem, conjuntamente, produtos em que o bem-estar está sendo aplicado em nível de campo (WATHES et al., 2008; KEHLBACHER et al., 2012; DAWKINS, 2016; CORNISH et al., 2020).

A importância de manter o bem-estar e a ambiência interna adequada para as aves é mundialmente reconhecida. Por meio da história da avicultura, observa-se mudanças buscando dar às aves melhores condições de expressar o seu potencial genético e visando melhores condições de bem-estar. Essas mudanças podem ser visualizadas, principalmente, através das modificações nas instalações e das novas tecnologias empregadas nas mesmas. Porém, no Brasil, ainda há uma quantidade de aviários abertos que são dependentes de condições climáticas externas (NÄÄS et al., 2010; ROJANO et al., 2016; LIMA et al., 2020, SANTOS et al., 2021). E, quando pensamos em nível de clima, os países de clima tropical e subtropical – como o Brasil – têm o desafio de manter a ambiência interna das instalações (GREGORY, 2010). Como o ambiente interno exerce influência direta nas respostas fisiológicas e, por consequência, no desempenho zootécnico de frangos de corte, é essencial a compreensão da resposta da ave em relação ao ambiente térmico. O intuito é tentar minimizar os efeitos negativos que a temperatura fora da zona de conforto térmico da ave pode causar.

Ainda, temos as previsões de aumento de extremos climáticos, como ondas de calor – que são períodos com temperaturas desconfortáveis por, pelo menos, dois dias acima de 32°C (INMET, 2020). Por isso, a relevância das pesquisas sobre condições térmicas é importante de modo a objetivar medidas mitigadoras que minimizem o impacto dos extremos de calor na

avicultura de corte (VALE et al., 2016). Estas pesquisas utilizam a área de ambiência e zootecnia de precisão para buscar conhecer parâmetros que afetam a produção avícola de modo a obter máxima produtividade com menor custo.

Nesse contexto, pesquisas utilizando imagens de vídeo, sensores em tempo real e ferramentas de análise de dados estão sendo empregadas para predição do ganho de peso (AERTS et al., 2003; MOLLAH et al., 2010; MORTENSEN et al., 2016; AMRAEI et al., 2017a; AMRAEI et al., 2017b), avaliação do comportamento de alimentação (KRISTENSEN e CORNOU, 2011; KASHIHA et al., 2013; LI et al., 2020), medição do comportamento de locomoção e do escore de marcha (NÄÄS et al., 2018; VAN HERTEM et al., 2018), identificação do estado de saúde da ave através de sua postura (ZHUANG et al., 2018; ZHUANG e ZHANG, 2019; OKINDA et al., 2019) ou do som produzido pelo espirro (CARPENTIER et al., 2019) e identificação de comportamentos básicos de bem-estar animal (PEREIRA et al., 2007, 2013; COSTA et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015; BRANCO et al., 2020, 2021), além de índices de atividade dentro do aviário (YOUSSEF et al., 2015; AYDIN, 2017; GUO et al., 2020) que nos trazem em antemão problemas que possam estar ocorrendo no aviário.

Com o exposto, o objetivo desta revisão de literatura é uma abordagem geral da avicultura de corte industrial referente a problemas atuais como o estresse térmico por calor e de pesquisas na área de comportamento e bem-estar de frangos de corte.

2 BEM-ESTAR E AMBIÊNCIA NA AVICULTURA DE CORTE

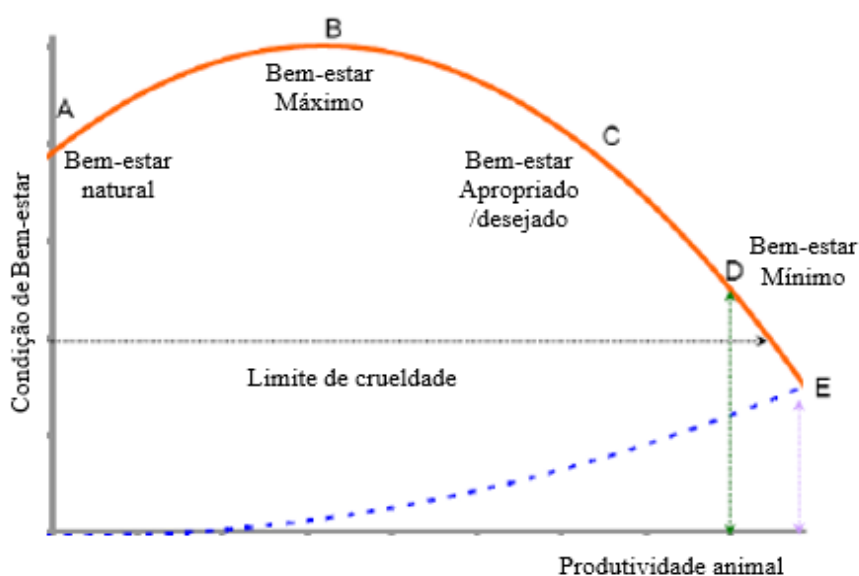
Com o aumento da preocupação da população por consumir carne de maior qualidade, assuntos como bem-estar e ambiência são fatores levados em conta nas pesquisas atuais. Manter os níveis adequados de bem-estar animal beneficiam o animal, o criador e o consumidor (BROOM, 2010; OKINDA et al., 2020).

A ambiência é constituída por vários fatores que interagem entre si direta ou indiretamente. Sendo eles: (1) o ambiente térmico – constituído das variáveis ambientais, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação solar; (2) o ambiente aéreo – relacionado à qualidade do ar (concentração de gases e poeira); (3) o ambiente biológico – que engloba o nível populacional de parasitas e microrganismos presentes na instalação; (4) o ambiente físico – composto pelos elementos construtivos, equipamentos, iluminação e espaço disponível presentes no aviário; (5) o ambiente acústico – definido pelos ruídos oriundos dos equipamentos ou das próprias aves; e (6) o ambiente social – representado pela interação que ocorre entre os animais e entre animais e pessoas.

O bem-estar animal engloba cinco liberdades que todo animal deve ter para manter um ambiente próximo ao natural. Essas cinco liberdades são reconhecidas mundialmente e usadas para o diagnóstico do bem-estar animal e incluem os principais aspectos do comportamento natural do animal. As liberdades, de acordo com Fraser et al. (1997), são: (1) livres de fome e sede – nutrição (acesso a água e a uma dieta completa); (2) livres de desconforto – ambiente (fornecimento de um ambiente adequado); (3) livres de dor e doenças – sanidade (prevenção ou diagnóstico rápido e tratamento); (4) livres de medo e angústias – psicológico (garantia de condições e tratamentos que evitem sofrimento do animal); (5) livres para expressar seu comportamento natural – comportamento (fornecimento de espaço suficiente e instalação adequada).

As questões de bem-estar e ambiência são multifatoriais (LAY Jr. et al., 2011; HEMSWORTH et al., 2015), em que se demonstra correlação entre fatores ambientais, comportamentais e genéticos, porém, é difícil determinar claramente a causa e o efeito real do resultado de bem-estar (MANNING et al., 2007). Ainda, Mcinerney (2004) relata que o aumento da produtividade animal está relacionado com medidas de bem-estar animal (Figura 1). As medidas tomadas para o aumento da produtividade devem estar inseridas entre os pontos C e D, sempre acima do limite de crueldade.

Figura 1 – Curva de bem-estar relacionada com a produtividade animal.



Fonte: Adaptado de Mcinerney (2004).

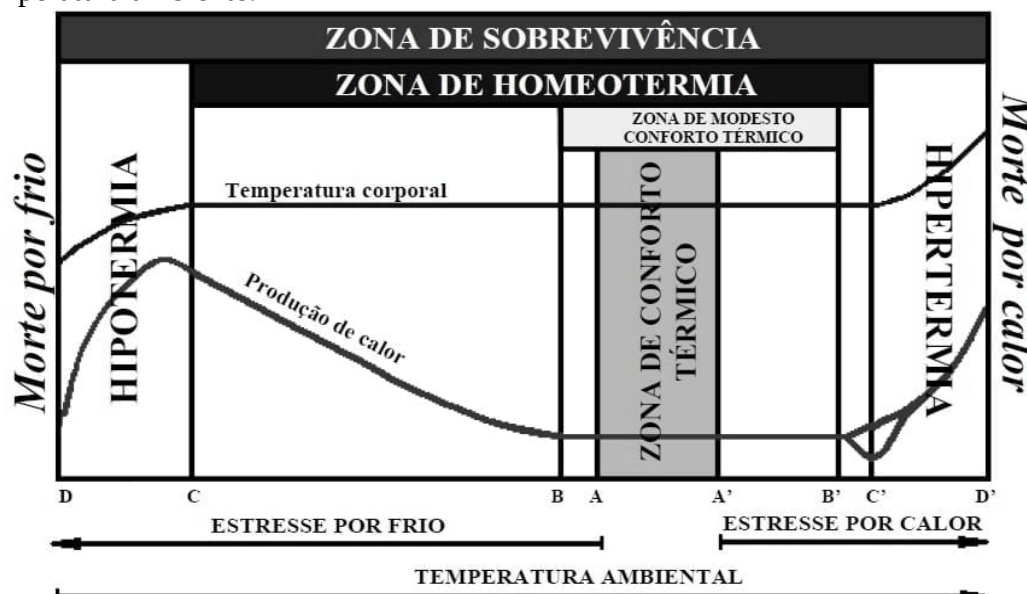
Manter as aves em um nível adequado de ambiência e bem-estar favorece a produtividade, sanidade e desempenho zootécnico e, conseqüentemente, a lucratividade do setor avícola. Para tanto, o uso de novas tecnologias é essencial para garantir as melhores condições ambientais, de saúde e de bem-estar das aves (FOURNEL et al., 2017). A agregação de tecnologias permite detectar problemas instantaneamente e garantir a tomada de decisão imediata para resolução de problemas. E, com isso, melhorar o controle do ambiente e, por consequência, o bem-estar animal e produtividade nas granjas avícolas.

2.1 Termorregulação em frangos de corte

As aves são animais homeotérmicos, ou seja, têm a capacidade de manter a sua temperatura corporal constante, porém, os mecanismos termorregulatórios são eficientes em zonas de termoneutralidade (YAHAV, 2015; SAEED et al., 2019).

A zona de conforto térmico ou de termoneutralidade é a faixa de temperatura ambiente efetiva na qual o animal não sofre estresse pelo frio ou pelo calor e a ave tem seu desempenho otimizado. Esta zona de conforto é limitada pelas temperaturas ambientais dos pontos A e A' da figura abaixo (Figura 2).

Figura 2 – Representação esquemática da zona de termoneutralidade: produção de calor vs. temperatura ambiente.



Fonte: Adaptado de Baêta e Souza (2010).

Nas temperaturas situadas na faixa entre A e D, o animal está em estresse por frio e, na faixa entre A' e D', em estresse por calor. No ponto B, situa-se a temperatura crítica

inferior, abaixo dessa temperatura, a ave aciona mecanismos termorregulatórios para incrementar a produção e a retenção de calor corporal. O mesmo ocorre no ponto B', denominado temperatura crítica superior, em que a ave aciona os seus mecanismos termorregulatórios para auxiliar na dissipação do calor corporal. Quando o equilíbrio entre a produção de calor e a perda de calor são perturbadas, resulta em estresse térmico.

A resposta da ave ao estresse térmico é variável devido a várias condições como a fisiologia da ave, a idade, o sexo, o grau de empenamento, o peso corporal, a alimentação, o ambiente externo (WOLF e WALSBERG, 2000; FARAG e ALAGAWANY, 2018), dentre outros. Minimizar os efeitos do estresse térmico é a meta para o bom desenvolvimento e desempenho zootécnico de frangos de corte. Dessa forma, é importante manter as temperaturas do ambiente próximas ao ideal que variam de acordo com a idade (Tabela 1), de modo que a ave consiga utilizar do seu mecanismo de homeotermia.

Tabela 1 – Temperatura ambiente para o conforto térmico de frangos de corte.

IDADE (DIAS)	> 80%	70%	60%	50%	< 40%
1	33	33	33	33	35
2	32	32	32	32	34
3	31	31	31	31	33
4	30	30	30	30	32
5	29	20	30	30	31
6	29	29	29	29	31
7	29	29	29	29	31
8	28	29	29	29	31
9 - 12	27	28	28	29	31
13 - 16	26	27	27	29	31
17 - 20	25	26	26	28	30
21 - 24	24	25	26	7	29
25 -30	23	24	25	27	29
21 - 35	22	23	25	26	28
> 36	21	22	24	25	27

Fonte: Manual Cobb Avian (2006).

Ainda, devemos notar que a parte em cinza da Tabela 1 demonstra a temperatura efetiva para frangos de corte, ou seja, a relação entre a temperatura ótima, a umidade do ar e a idade da ave, variáveis que, em conjunto, garantem um adequado índice de conforto térmico das aves.

A temperatura ambiente é considerada a variável de maior efeito no desempenho de frangos de corte. Sua influência é vista, principalmente, na variação do comportamento e na fisiologia modificada dos frangos de corte. Nesse meio, temos a evolução da seleção genética

que otimizou a maximização do crescimento rápido e deposição de massa muscular. O desenvolvimento na seleção genética de frango de corte o tornou até 5 vezes mais pesado se comparado ao frango produzido nos anos 50 e ainda diminuiu o tempo de criação para seis semanas (ZUIDHOF et al., 2014; MEYER et al., 2020). No entanto, o desenvolvimento do sistema cardiovascular e respiratório não foi efetivo (HAVENSTEIN et al., 2003; BESSEI, 2006; LOYAU et al., 2013), resultando na capacidade limitada do frango de corte frente a temperaturas ambientais altas. Por isso, a produtividade ideal é obtida em sistemas de criação onde há uma temperatura efetiva adequada.

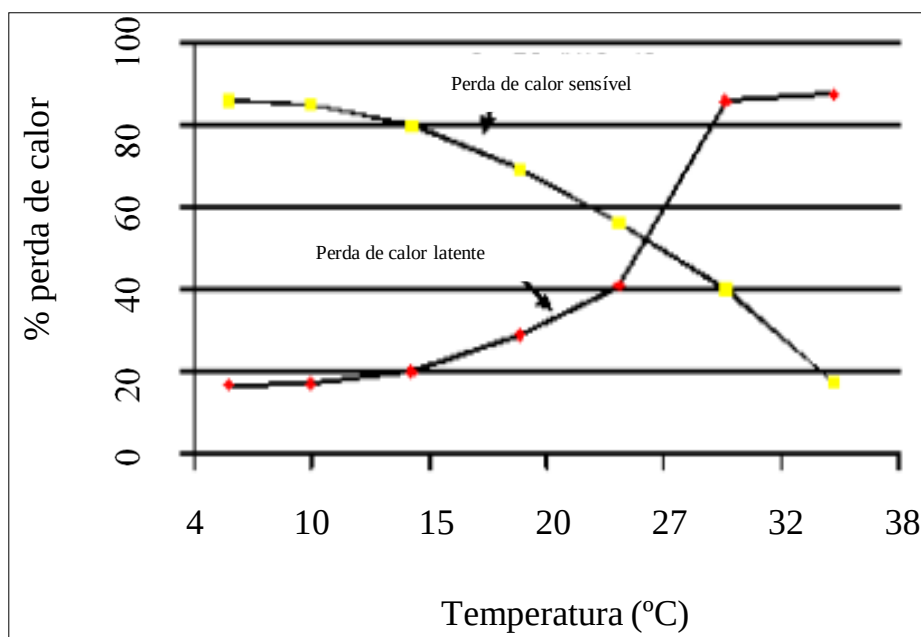
2.2 Mecanismos de trocas de calor

Aves quando em temperatura fora da zona termoneutra diminuem sua produtividade por precisar gastar energia para manutenção da sua temperatura corporal. Para isso, utiliza mecanismos de perdas de calor através de processos sensíveis e latentes (BHADARIA et al., 2014; YAHAV, 2015; PAWAR et al., 2016).

As trocas térmicas de calor sensível estão diretamente relacionadas com o gradiente de temperatura entre a superfície corporal e a temperatura ambiente, permitindo trocas térmicas por meio da condução (se dá pela perda de calor pelo contato direto entre a superfície de dois corpos que estejam em temperaturas diferentes), da convecção (a perda de temperatura ocorre quando um corpo com determinada temperatura entra em contato com o ar em outra temperatura) e da radiação (ocorre por meio de radiação eletromagnética de uma superfície para outra devido a uma diferença de temperatura entre as duas superfícies) (BHADARIA et al., 2014; YAHAV, 2015). Já a troca de calor latente ocorre através da evaporação da água corporal da ave durante a respiração e passa a ser mais eficiente em ambientes em que a temperatura tende a ser igual ou superior a das aves (YAHAV et al., 2005).

A diferença entre a superfície de um corpo e a temperatura ambiente é o principal caminho para a perda de calor sensível (YAHAV et al., 2008). À medida que a temperatura do ar aumenta, as perdas por evaporação (método de calor latente) são priorizadas e as perdas de calor sensível são mínimas (Figura 3). Ainda, a eficiência do animal em perder calor latente diminui com o aumento da umidade relativa do ar, independente da temperatura do ambiente (BHADARIA et al., 2014) e, em ambientes com temperaturas de 30 a 35°C e com umidade relativa de 90%, estas perdas são nulas (GENÇ e PORTIER, 2005).

Figura 3 – Método de perda de calor com o aumento da temperatura do ar.



Fonte: Adaptado de Bhadauria et al. (2014).

Nascimento et al. (2009) pesquisaram a tolerância ao estresse térmico em frangos de corte na sexta semana de idade e relataram que a perda de calor latente é maior quando as aves não estão em seu ambiente termoneutro, quando comparado com a perda de calor sensível. Por isso, é importante o cuidado com as aves, quando as mesmas se encontram em um ambiente adverso, pois, só em temperaturas amenas, a ave consegue dissipar o calor corporal, de modo a manter sua produtividade e bem-estar próximo do ideal, sem causar perdas e danos a produção avícola.

3 CONFORTO E ESTRESSE TÉRMICO NA AVICULTURA DE CORTE

A definição de conforto térmico está baseada na ambiência e bem-estar animal. Com isso, analisa-se as características do microclima interno (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, gases) em conjunto com variáveis que influenciam no bem-estar (variáveis comportamentais, produtivas e fisiológicas) (BESSEI, 2006; DAWKINS, 2016). Quando as variáveis ambientais estão em condições inadequadas, o estresse térmico acontece e a ave não consegue retornar a sua homeostase, afetando negativamente o bem-estar e a desempenho zootécnico (YAHAV et al., 2005; VIRDEN e KIDD, 2009; LEINONEN et al., 2014; BLAS, 2015).

A questão do estresse ambiental tornou-se um tema chave na produção avícola, principalmente, pela conscientização e preocupação dos consumidores referentes a condições

em que a ave é criada (BROOM, 2010; DAWKINS, 2016). Nessa linha, o estresse térmico se tornou uma área de pesquisa constante, especialmente, pelas questões relacionadas ao aquecimento global e à segurança alimentar (LARA e ROSTAGNO, 2013; NAWAB et al., 2018), pelo impacto de ondas de calor cada vez mais frequentes e com mais dias de duração (ALEXANDER et al., 2006; INMET, 2020) e pela influência no desempenho produtivo da ave.

O clima quente é um problema mundial que causa perdas econômicas agropecuárias (DAGHIR, 2009; ATTIA e HASSAN, 2017; SAEED et al., 2019) ocasionada pelo baixo desempenho em frangos de corte, principalmente, a partir da terceira semana de idade da ave (CANGAR et al., 2008; ATTIA et al., 2011), período de maior susceptibilidade das aves ao calor. No Brasil, o impacto das ondas de calor é devido a grande porcentagem de aviários abertos que acabam sendo dependentes das condições climáticas externas (NÄÄS et al., 2010; ROJANO et al., 2016; LIMA et al., 2020; SANTOS et al., 2021).

Podemos citar duas categorias de estresse térmico: o estresse a curto prazo e o estresse crônico. O estresse a curto prazo refere-se a um aumento curto e rápido da temperatura ambiente (VIRDEN e KIDD, 2009; CIRULE et al., 2012). Já, o estresse crônico refere-se a uma alta temperatura ambiental por um longo período (dias e/ou semanas), permitindo aclimação ao meio ambiente. Portanto, existe uma necessidade crucial de estudar os efeitos do estresse térmico na produção de aves a fim de desenvolver várias estratégias eficazes de mitigação para reduzir as perdas produtivas, além de visar ao desenvolvimento de aves resistentes ao calor para que a produção de aves seja melhor sucedida em regiões de clima quente (ABDELQADER e AL-FATAFTAH, 2014; BLAS, 2015).

Para minimizar fatores estressores, o controle ambiental em galpões de frangos de corte tem importância primordial; realizado, principalmente, pelo cuidado no isolamento da instalação aos fatores climáticos externos, de forma a conseguir manter o ambiente interno mais adequado possível para a criação dos frangos de corte. Com isso, o uso de sensores se torna o primeiro passo para o controle do ambiente interno. A alocação de sensores de temperatura e umidade em locais e quantidades adequadas mantém o microclima mais homogêneo possível (CURI et al., 2017). E, aliar práticas de gestão rápidas e precisas são necessárias para identificação de problemas adversos, fazendo com que minimize mais rapidamente problemas com a mínima interferência sobre o desempenho produtivo das aves.

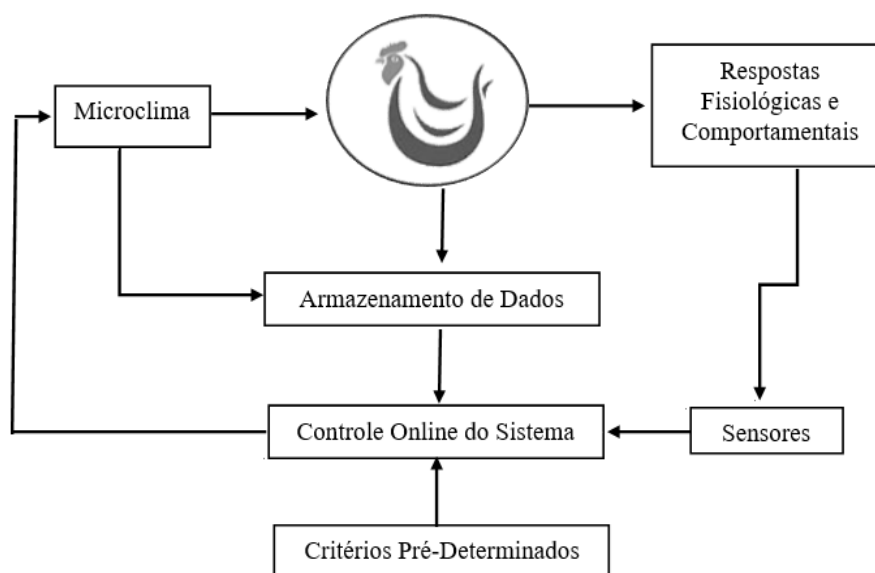
3.1 Controle ambiental em aviários de frangos de corte

Garantir um ambiente adequado para que o frango de corte possa expressar o seu potencial genético é fundamental para a viabilidade econômica da avicultura industrial

brasileira. Também, a preocupação com o estresse térmico por calor aumentou a redução da tolerância ao calor em genótipos de aves modernas (DEEB e CAHANER, 2002; SAEED et al., 2019). Soluções para minimizar o estresse térmico em frangos de corte demandam estratégias multifatoriais (SAEED et al., 2019) que são vistas, principalmente, pelo sistema de controle do ambiente interno empregado no aviário.

A avicultura de corte industrial requer um adequado sistema de controle ambiental para maximizar o bem-estar e a produtividade animal. Um eficaz controle do ambiente interno das instalações de frangos de corte requer alguns elementos (Figura 4). Dentre os principais componentes de controle ambiental, citam-se: (a) detecção contínua dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar, radiação solar, etc.), respostas fisiológicas (temperatura corporal, taxa de respiração, etc.), comportamentais (movimentos, grau de aglomeração; ingestão de água e alimento, etc.) e zootécnicas (peso corporal, conversão alimentar, etc.); (b) armazenamento de dados; (c) interpretação dos dados por meio de modelos de simulação de biorresposta, índices de conforto animal ou modelos bioenergéticos; e (d) um sistema de controle em tempo real capaz de modificar automaticamente o microclima do ambiente de acordo com critérios pré-determinados (WATHES et al., 2008; BANHAZI et al., 2012; FOURNEL et al., 2017).

Figura 4 – Visão esquemática dos principais elementos de controle ambiental.



Fonte: Adaptado de Fournel et al. (2017).

Sabemos que a determinação das necessidades térmicas das aves é uma abordagem de múltiplos fatores (FOURNEL et al., 2017) e não somente de um único fator como, por

exemplo, a temperatura do ar que é vista como único controlador na avicultura de corte industrial. Desse modo, os índices de conforto ambiental são desenvolvidos para melhorar a tomada de decisão e melhor explicar o desempenho, saúde e bem-estar animal (TAO e XIN, 2003; CHEPETE, 2005; FOURNEL et al., 2017).

O controle do ambiente pode evitar perdas drásticas que podem ser evitadas pelo uso de tecnologias simples já disponíveis (BLACK, 2014). Portanto, pesquisas relacionadas ao controle ambiental são necessárias a fim de maximizar as condições de bem-estar das aves.

3.2 Efeitos do estresse térmico na produção de frangos de corte

O estresse térmico ocorre quando a quantidade de calor produzida pela ave ultrapassa sua capacidade de dissipar o calor para o ambiente. A influência negativa do estresse térmico é vista, principalmente, no desempenho de frangos de corte devido ao seu metabolismo rápido, ocasionando um aumento da produção de calor e tornando a ave com baixa tolerância ao calor (DEEB e CAHANER, 2002; SOLEIMANI et al., 2011; FISININ e KAVTARASHVILI, 2015; PAWAR et al., 2016; NAWAB et al., 2018). A vulnerabilidade de frangos de corte a temperaturas ambientais elevadas se dá pela sua incapacidade de dissipar calor, resultante de não possuírem glândulas sudoríparas e devido à camada de penas.

Uma maneira de minimizar os efeitos do estresse térmico na avicultura industrial é o conhecimento dos fatores ambientais e das condições climáticas da região de forma a definir artifícios de construção e mudanças nas instalações a fim de melhorar o conforto das aves. Modificações no ambiente são feitas através de equipamentos de ventilação (manual ou mecânica), aquecedores, painéis evaporativos, umidificadores e desumidificadores. Os números dos equipamentos são projetados para o gerenciamento de variáveis ambientais de temperatura, umidade, velocidade do ar e gases. Ainda, devemos atentar para o clima local, densidade animal e fase de produção (FOURNEL et al., 2017), os quais também influenciam nas condições ambientais internas.

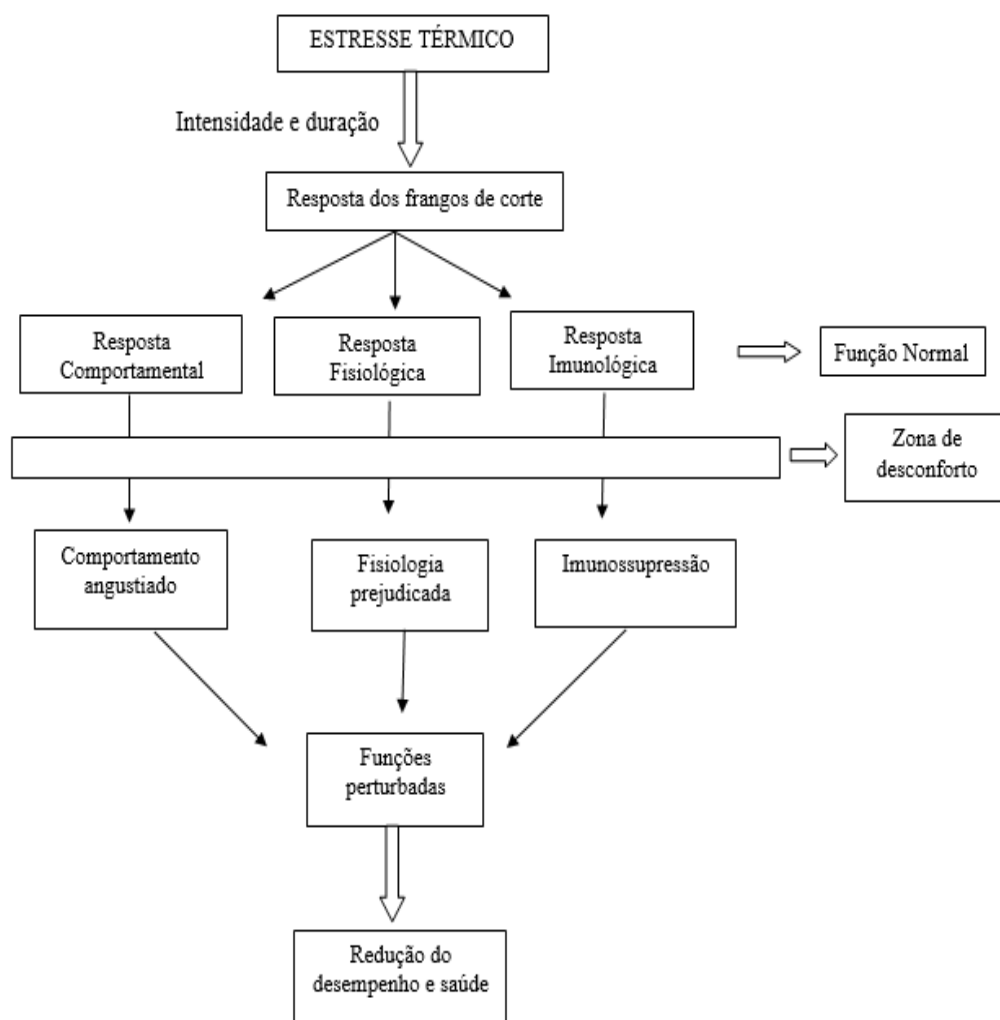
Outras maneiras de minimizar o estresse térmico são as mudanças no manejo de alimentação e nutrição (LIN et al., 2006; LARA e ROSTAGNO, 2013), assim como o condicionamento térmico (YAHAV et al., 2005; LIN et al., 2006; RENAUDEAU et al., 2012).

A aclimação de frangos de corte é o processo de exposição dos pintinhos a uma temperatura alta. Pesquisas preconizam 24 horas de temperatura alta no 3º e 5º dia de idade (YAHAV et al., 2005; LIN et al., 2006; PAWAR et al., 2016), comprovando uma significativa diminuição da mortalidade das aves em comparação às que não foram expostas ao condicionamento térmico (RATH et al., 2015). Além disso, o estudo de Fisinin e Kavtarashvili

(2015) sugeriu que os ovos expostos a altas temperaturas durante a incubação podem aumentar a tolerância térmica ao longo da vida dos pintinhos. Essas possíveis estratégias podem ajudar a reduzir a carga de estresse térmico nos frangos de corte.

Uma outra maneira de prevenir e minimizar o estresse térmico é conhecer as respostas das aves quando expostas a um ambiente adverso. Nesse sentido, a resposta da ave depende da intensidade e da duração do estresse térmico, da idade das aves, do estado fisiológico, do potencial genético (LIN et al., 2006; OGNIK e SEMBRATOWICZ, 2012), dentre outros (Figura 5).

Figura 5 – Respostas de frangos de corte ao estresse por calor.



Fonte: Adaptado de Nawad et al. (2018) e Saeed et al. (2019).

De maneira geral, algumas modificações comportamentais, fisiológicas e imunológicas são percebidas quando a ave não está em um conforto térmico adequado.

As respostas comportamentais dos frangos de corte frente a situação de estresse térmico podem ser vistas pelo índice de atividade das aves. A observação de comportamento das aves é um indicativo de seu bem-estar, sendo que, quanto maior o repertório de comportamentos executados pelas aves, maior o indicativo das mesmas estarem em melhores condições (ZHAO et al., 2014). Nesse sentido, apesar de ser um comportamento normal de frangos de corte ficar a maior parte do tempo deitados (cerca de 70 a 80% do tempo) (WEEKS et al., 2000; FEBRER et al., 2006; SAEED et al., 2019), não é interessante a ave permanecer muito tempo parada, principalmente, por causa da saúde dos pés (NÄÄS et al., 2018; VAN HERTEM et al., 2018). Meyer et al. (2020) utilizaram um dispositivo de enriquecimento ambiental baseado em laser para estimular os frangos a se deslocarem. O dispositivo de enriquecimento a laser foi bem sucedido em estimular a atividade física e a alimentação dos frangos e não impactou na capacidade de andar da ave.

Comportamentos de alimentação são alterados em resposta ao estresse térmico, como o menor consumo de ração e maior consumo de água em situações de estresse térmico por calor (SOHAIL et al., 2012; SYAFWAN et al., 2012; SAEED et al., 2019). Ainda, um comportamento que pode ser observado como mecanismo de perda de calor é o banho de cama, onde a ave pode usar o substrato da cama como forma de dissipação de calor corporal por condução (PEREIRA et al., 2007; SYAFWAN et al., 2012). De igual modo, o comportamento de elas se deitarem lateralmente, esticando as pernas (BRANCO et al., 2020) favorece a troca de calor pelo mesmo princípio.

Também, alterações fisiológicas são observadas com o aumento da temperatura corporal (GILOH et al., 2012; RENAUDEAU et al., 2012; SYAFWAN et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2014), como alteração do pH sanguíneo e do balanço eletrolítico (BORGES et al., 2004; LARA e ROSTAGNO, 2013; LOYAU et al., 2015) e mudanças metabólicas e endócrinas (GERAERT et al., 1996) afetando a saúde e a imunidade da ave (QUINTEIRO-FILHO et al., 2012; ROSTAGNO, 2020); com as suas funções perturbadas ocorre uma redução de desempenho do frango de corte.

Em relação a problemas de baixo desempenho zootécnico, pesquisas relatam um desempenho diminuído em frangos de corte sob estresse térmico. Liu et al. (2020), em uma meta-análise com 12 estudos anteriormente publicados, relataram que a ingestão de ração e o ganho de peso foram significativamente diminuídos em aves submetidas a estresse por calor; assim como a conversão alimentar e mortalidades de frangos de corte aumentaram. Sahin et al. (2017) apontaram que aves expostas a estresse térmico de 34°C por 8 horas diárias apresentaram 12,1% de diminuição da ingestão de ração, 21,1% a menos de ganho de peso e 11,2% de piora

na conversão alimentar, quando comparadas com aves mantidas em temperatura controlada de 22°C. Sob estresse térmico de 33°C, Olfati et al. (2018) relataram um consumo de ração diminuído a 14,9%, 25,71% a menos no ganho de peso e uma conversão alimentar aumentada em 13,06%, quando comparada com os valores de frangos criados na termoneutralidade (24°C). Os mesmos autores estudaram o efeito do estresse térmico por frio (12°C) e as aves apresentaram menor consumo de ração (-22,05%), menor ganho de peso (-38,32%) e maior conversão alimentar (+22,47%) em comparação com aves criadas em condições termoneutras. Sohail et al. (2012) avaliaram o desempenho zootécnico em temperatura constante de 35°C e as aves obtiveram 18,3% menos ganho de peso em 21 dias e 49,6% menos em 42 dias em comparação com a temperatura termoneutra; ainda, as aves em estresse por calor consumiram 15,4 e 25,4% menos ração em comparação com a termoneutralidade, em 21 e 42 dias, respectivamente.

Pesquisas que otimizem o conjunto de variáveis são necessárias para encontrar soluções que proporcionem padrões de bem-estar para os frangos de corte (DAWKINS, 2016), de modo a alcançar a eficiência produtiva e econômica do lote em produção. Ainda, temos o problema que algumas variáveis comumente analisadas não são, necessariamente, bons indicadores de bem-estar, pois detectam o estresse após já ter afetado negativamente a ave (LEE et al., 2015). Nesse sentido, há um esforço para medir o estresse de forma não invasiva e em tempo real, a fim de solucionar possíveis problemas de forma mais rápida possível.

4 MENSURAÇÃO DO BEM-ESTAR EM FRANGOS DE CORTE

A avicultura de corte é um mercado lucrativo, porém, o estresse térmico por calor reduz drasticamente a lucratividade do setor e não pode ser ignorado (LEE et al., 2015; RANJAN et al., 2019). Temperaturas do ar acima de 29°C já são suficientes para perceber o estresse por calor em aves (BHADAURIA et al., 2014) e, caso a umidade relativa se encontrar acima de 70%, intensifica-se o processo de estresse térmico (YAHAV et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2014). Nesse viés, o estresse térmico contribui para distúrbios fisiológicos, comportamentais, endócrinos e imunológicos (BROWN-BRANDL et al., 1997; DEEB e CAHANER, 2002; ABU-DIEYEH, 2006; DAGHIR, 2009; ATTIA et al., 2011; QUINTEIRO-FILHO et al., 2012; SYAFWAN et al., 2012; LARA e ROSTAGNO, 2013; FISININ e KAVTARASHVILI, 2015; ATTIA e HASSAN, 2017; ATTIA et al., 2018; OLFATI et al., 2018; SAEED et al., 2019), ocasionando impacto direto no desempenho, na saúde e bem-estar das aves.

As questões de bem-estar e ambiência levam em consideração uma série de fatores (LAY Jr. et al., 2011) que precisam ser mensurados para revelar o real conforto em que a ave se encontra. Para determinar o quão positivo ou negativo se encontra o bem-estar de um animal, critérios como parâmetros produtivos, comportamentais e fisiológicos são adotados (DAWKINS, 2003; SANDØE et al., 2004). Desse modo, não há um marcador para o bem-estar bom ou ruim, o importante é mensurar uma ampla quantidade de indicadores em conjunto (NICOL et al., 2009; EDGAR et al., 2013; HEMSWORTH et al., 2015).

Para a mensuração do conforto de frangos de corte, o desenvolvimento de novas tecnologias como sensores inteligentes, câmeras de monitoramento e microfones nos permitem o controle contínuo e em tempo real da produção (FOURNEL et al., 2017). A utilização de zootecnia e ambiência de precisão conseguem fornecer sistemas automatizados eficientes que monitoram processos biológicos e as biorrespostas da ave relacionadas ao bem-estar, saúde e produtividade (BANHAZI et al., 2012, BERCKMANS, 2014, 2017). Dessa forma, obtemos a real situação do aviário e conseguimos tomar decisões o mais rápido possível, minimizando perdas de produtividade e, conjuntamente, aumentando a lucratividade na produção de frangos de corte.

Há vários índices para avaliação do bem-estar como indicadores comportamentais, fisiológicos e de produtividade que interagem em conjunto (LI et al., 2020). Entretanto, a avaliação por meio do comportamento dos frangos de corte pode ser o mais indicado (de JONG et al., 2016, LI et al., 2020) por ser facilmente compreendido e por ser influenciado pelas condições sanitárias e fisiológicas de frangos de corte.

4.1 Parâmetros ambientais

O ambiente em que o frango de corte vive é decisivo para o sucesso ou fracasso da produção. Fora da zona de conforto térmico, as aves fazem ajustes fisiológicos para manter sua homeotermia, ocasionando diminuição do desempenho produtivo por utilizar energia para produção ou dissipação do calor. De modo geral, a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar têm sido os fatores ambientais mais usados para descrever o ambiente térmico ideal para os frangos de corte.

Aliado a isso, temos medidas ambientais baseadas em índices que ligam uma ou mais variáveis ambientais para visualizarmos o quão ideal está o microclima interno do aviário. Entre os índices ambientais mais utilizados, estão o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR) e a temperatura radiante média (TRM) (Tabela 2).

Tabela 2. Principais índices ambientais utilizados em pesquisas avícolas.

ITU	$ITU_{3-4s} = 0,62T_{tbs} + 0,38T_{tbu}$ $ITU_{5-6s} = 0,71T_{tbs} + 0,29T_{tbu}$ Onde: ITU_{3-4s} - Índice de temperatura e umidade para idades entre três e quatro semanas; ITU_{5-6s} - Índice de temperatura e umidade para idades entre cinco e seis semanas; T_{tbs} - Temperatura de bulbo seco; T_{tbu} - Temperatura de bulbo úmido.
ITGU	$ITGU = T_{gn} + 0,36T_{po} - 330,08$ Onde: T_{gn} - temperatura de globo negro (°C); T_{po} - temperatura do ponto de orvalho (°C).
CTR	$CTR = \sigma (TMR)^4$ Onde: σ - constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$); TMR - temperatura radiante média (K).
TMR	$TMR = 100 \cdot [2,51 \cdot (V_v)^{0,5} \cdot (T_g - T_a) + (T_g/100)^4]^{1/4}$ Onde: T_a - temperatura ambiente (K); T_g - temperatura de globo negro (K); V_v - velocidade do vento (m/s).

Fonte: Chepete et al. (2005); Buffington et al. (1981); Esmay (1969).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é utilizado para avaliar os efeitos do ambiente em animais e indica a resposta do animal frente à temperatura e umidade relativa do ar. O ITU é expresso pela temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido em semanas de idade do frango (CHEPETE et al., 2005). O ITU foi desenvolvido por idade da ave para levar em conta mudanças fisiológicas, tamanho e área de superfície das aves que influenciam sua reação aos efeitos de temperatura e umidade (BROWN-BRANDL et al., 1997). Em geral, um valor de ITU de 21 é considerado como o limite para o estresse por calor do frango (PURSWELL et al., 2012; VALE et al., 2016).

O Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) proposto por BUFFINGTON et al. (1981) é um índice em que são representados, em um único valor, os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação e da velocidade do ar. O ITGU é um indicador mais preciso do conforto térmico e da produção animal, quando comparado ao ITU, para animais alojados em condições tropicais (BUFFINGTON et al., 1981). A faixa de conforto sugerida é de 74 a 77; valores abaixo de 74 condizem com estresse por frio e acima de 77, com condições perigosas devido ao estresse por calor (MENEGALI et al., 2010).

A Carga Térmica Radiante (CTR, medida em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) é outro parâmetro importante para ajudar na compreensão do ambiente térmico animal que, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro ou pelo animal de todos os espaços ou partes da vizinhança, segundo ESMAY (1969).

De modo geral, a medição de temperatura e umidade é indicada para avaliação do ambiente interno, no entanto, devemos atentar para a distribuição de sensores ao longo do aviário, de modo a fornecer dados adequados para os controladores.

4.2 Parâmetros produtivos

O bem-estar animal pode ser caracterizado pela produtividade e nível sanitário do lote de frangos de corte e avaliado através dos índices zootécnicos. Um dos principais indicadores de produtividade do lote é o peso dos frangos de corte - parâmetro indicativo do crescimento, uniformidade, eficiência alimentar - e também pode prever a ocorrência de doenças no lote. O peso de frangos de corte, ao comparar com a curva de crescimento esperado da linhagem, é capaz de indicar problema de doença ou nutrição do lote (MOLLAH et al., 2010; MORTENSEN et al., 2016). Atualmente, tecnologias eletrônicas são empregadas para estimar o ganho de peso, como o uso de imagens (MOLLAH et al., 2010; AMRAEI et al., 2017a; AMRAEI et al., 2017b; DEMMERS et al., 2018) e balanças no interior do aviário; pois, antes de ser uma medida de bem-estar animal, o ganho de peso é uma medida de desempenho econômico.

Entre os índices de desempenho produtivos podemos citar: o peso médio, o ganho de peso, o consumo de ração, o índice de conversão alimentar, o índice de eficiência produtiva, a viabilidade e mortalidade do lote. Estes índices são aliados à combinação de fatores como genética, instalação, manejo e de variáveis ambientais, os quais conseguem indicar o nível de bem-estar das aves (DAWKINS, 2003; MANNING et al., 2007). No entanto, é válido ressaltar que, apesar dos parâmetros produtivos serem bons indicadores da condição de um animal, nem sempre um bom desempenho irá significar um bem-estar adequado que deve ser aliado a outros parâmetros.

4.3 Parâmetros fisiológicos

A condição de conforto térmico das aves pode ser avaliada por meio das suas variáveis fisiológicas. Alterações nesse parâmetro podem ser um indicativo da ave tentar manter sua homeotermia e, por consequência, ser indicativo de a mesma encontrar-se em estresse térmico ou não. Entre as principais mudanças fisiológicas que ocorrem frente ao estresse térmico por calor, que ocasiona uma resposta rápida da ave, estão: hipertermia severa, vasodilatação periférica, aumento da perda de calor sensível, ofegação severa, aumento da taxa cardíaca, dentre outros (MACARI et al., 2014).

A temperatura de superfície de frangos de corte é uma das variáveis fisiológicas que são mensuradas para avaliação de conforto ou estresse térmico (CANGAR et al., 2008), uma vez que a temperatura de superfície da ave é um parâmetro que varia rapidamente em função da temperatura do ambiente e pode ser utilizada como indicador de mudanças no fluxo sanguíneo periférico e da troca de calor da ave (NÄÄS et al., 2010; GILOH et al., 2012; NÄÄS et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2014; HERBORN et al., 2015).

A temperatura de superfície é facilmente medida com uma câmera de infravermelho de forma simples e não invasiva, justificando cada vez mais seu uso na avicultura. Nääs et al. (2010), utilizaram imagens termográficas para estimar a troca de calor entre frangos de corte aos 42 dias de idade com seu ambiente de criação; foi verificado alta correlação entre as regiões sem penas e a temperatura ambiente, indicando que áreas sem penas respondem rapidamente a alterações do ambiente. Na pesquisa de Giloh et al. (2012), a temperatura superficial da face dos frangos de corte foi utilizada como indicador de estresse térmico. Nascimento et al. (2014) utilizaram modelos de regressão linear para prever a temperatura corporal e relataram que as temperaturas corporais de áreas com e sem penas podem ser previstas com base em parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro). Xiong et al. (2019) utilizaram a mineração de dados, através do algoritmo *K-means*, para avaliação automática da temperatura de superfície da cabeça de frangos. A temperatura da superfície da cabeça extraída pelo referido algoritmo estabeleceu o desenvolvimento de um sistema automático para identificação de frango em estado febril; essa variação da temperatura da superfície na cabeça pode ser usada como um indicador de seu estado de saúde. Bloch et al. (2020) projetaram e validaram um método que estima a temperatura corporal de frangos de corte e encontraram uma alta correlação entre a temperatura corporal medida em relação à temperatura interna das aves (medido por meio de um sistema RFID implantado na cabeça da ave que coletava dados internos de temperatura da ave).

Outro tipo de variável fisiológica que pode ser medida para efeito do estresse térmico é a frequência respiratória, facilmente mensurada por ser uma medida visual, porém, sem trabalhos específicos para essa variável.

Outras medidas são mais invasivas como os parâmetros endócrinos em que é preciso a contenção da ave para retirada de sangue para análise ou a análise é realizada *pós-mortem*. Quinteiro-Filho et al. (2010) relataram o aumento de corticosterona plasmática – biomarcador comumente utilizado como indicador de estresse – em aves sob estresse térmico de 31 e 36°C. Soleimani et al. (2011) também relataram o aumento da concentração de corticosterona quando as aves com 30 dias de idade foram expostas a uma temperatura de 36°C

por 3 horas. Olfati et al. (2018) observaram um maior nível de concentração de corticosterona em aves submetidas a estresse térmico por calor de 33°C e por frio de 12°C aos 42 dias, quando comparado com a termoneutralidade.

Em contra mão, estudos relataram a dificuldade na diferenciação entre estresse fisiológico e indicadores produtivos de estresse que, às vezes se, contradizem (MARÍA et al., 2004). As mudanças de comportamento são instantâneas, portanto, os sistemas de monitoramento em tempo real são de grande importância para avaliação em conjunta dos parâmetros ambientais, fisiológicos e comportamentais.

4.4 Parâmetros comportamentais

O comportamento de frangos de corte é fortemente influenciado pelo ambiente em que se encontram. O comportamento é um parâmetro facilmente monitorado por meio de imagens digitais que utilizam as aves como um biossensor (CORDEIRO et al., 2011), tornando-se uma ferramenta não invasiva (VAN HERTEM et al., 2018). Além de ser capaz de fornecer informações em tempo real sobre o conforto térmico em resposta aos reflexos do ambiente (SCHIASSI et al., 2015; MORTENSEN et al., 2016), pois as alterações comportamentais podem ocorrer rapidamente e a menor custo metabólico do que os ajustes fisiológicos (PEREIRA et al., 2007).

O uso do comportamento na avaliação do bem-estar é usado há décadas e, atualmente, pesquisado para implementação de tecnologias inteligentes em aviários de frangos de corte. Os principais comportamentos que são utilizados em pesquisas e que formam o banco de dados dos principais comportamentos de aves são descritos no etograma da Tabela 3.

Tabela 3 – Etograma dos principais comportamentos de frangos de corte.

COMPORTAMENTOS DE FRANGOS DE CORTE	
Comer	Ave se posiciona na frente do comedouro e ingere alimento
Beber	Ave se posiciona na frente do bebedouro e bebe água
Ciscar	Ave em “fuçar” a cama com o bico ou pés
Deitar	Ave se encontra com seu peito em contato com a cama
Em pé	Ave permanece em pé, sem exercer nenhuma atividade
Andar	Ave movimenta um pé à frente do outro
Correr	Ave movimenta em velocidade maior que a observada normalmente
Limpar penas	Ato em que a ave arruma ou coça as penas com o bico
Arrepiar penas	Ação de arrepiar e sacudir todas as penas do corpo
Abrir asas	Movimento de abrir as duas asas em movimento amplo
Banho de cama	Ação de uma ave deitar e jogar substrato da cama em seu corpo
Espreguiçar	Ave estica uma asa e/ou uma perna do mesmo hemisfério do corpo
Deitar lateralmente	Ave deita lateralmente, em contato com a cama, com perna esticada

Anteriormente, o comportamento da ave era observado esporadicamente pelos tratadores e o monitoramento era limitado (AERTS et al., 2003). Atualmente, temos uma variedade de sensores que são usados para medir variáveis ambientais, fisiológicas e comportamentais de forma automatizada (WATHES et al., 2008; FOURNEL et al., 2017). A tecnologia automatizada para monitoramento do comportamento das aves permite uma coleta contínua e eficiente dos dados, além da simultaneidade de aves (SIEGFORD et al., 2016); sendo cada vez mais utilizada em pesquisas como indicativo de bem-estar (KASHIHA et al., 2013; SIEGFORD et al., 2016; FOURNEL et al., 2017). Essas novas tecnologias automatizadas surgiram há alguns anos, como a metodologia que utiliza o sistema de câmera com padrões de fluxo óptico (DAWKINS et al., 2021; GEBHARDT-HENRICH et al., 2021), a câmera Kinect – usada nos últimos anos por ser uma câmera acessível e rápida (MORTENSEN et al., 2016; WANG et al., 2017; OKINDA et al., 2019; LIU et al., 2021) e o sistema de câmera *eYeNamic* (BERCKMANS, 2014; SILVEIRA et al., 2017). Além do uso de novas tecnologias permitirem um melhor monitoramento, elas garantem maior atenção e cuidado diário do lote de frangos de corte. Isso garante o menor trabalho do produtor nas vistorias diárias, otimizando o melhor bem-estar da ave vs. produtor.

Em relação ao comportamento da ave, conseguimos identificar padrões que influenciam o bem-estar. Variações repentinas no índice de atividade de comportamentos podem estar ligadas a algum tipo de estresse pelo qual a ave está passando, seja desconforto térmico, alimentação ou bebida insuficiente ou outra questão que prejudique o bem-estar da ave. E assim, por meio do comportamento dos frangos de corte, consegue-se detectar problemas em linhas de alimentação e bebedouro ou efeitos no grau de temperatura (aquecimento/ventilação), tornando-se um sistema de alarme disponível para os avicultores (KASHIHA et al., 2013; GUO et al., 2020); detectar possíveis distúrbios no sistema locomotor de frangos de corte (AYDIN et al., 2010; KRISTENSEN e CORNOU, 2011); além de identificar comportamentos indicadores de estresse térmico (BORGES et al., 2004; FEBRER et al., 2006; MANNING et al., 2007; PEREIRA et al., 2013; DAIGLE et al., 2014; BRANCO et al., 2020, 2021) e avaliar os índices de atividade de frangos de corte (FEBRER et al., 2006; KRISTENSEN e CORNOU, 2011; RUSHEN et al., 2011; DAWKINS et al., 2012; ZHAO et al., 2014).

Em outro viés, nos últimos anos, a análise do som tornou-se uma ferramenta que tem a possibilidade de ser utilizada como um indicador de bem-estar (MANTEUFFEL et al., 2004; LEE et al., 2015; FONTANA et al., 2016), sendo facilmente mensurada com uso de microfones capturando sons continuamente e não invasivamente, podendo ser acoplados em câmeras de

videomonitoramento. Sadeghi et al. (2015) utilizaram a análise de som para diferenciar as aves saudáveis e infectadas por *Clostridium perfringens*. Os referidos autores relataram que foram capazes de diferenciar aves doentes de saudáveis com uma precisão de 66,6% no 2º dia e 100% no 8º dia após a infecção.

Monitorar o comportamento da ave, seja por imagem ou por som, é um meio não invasivo e que demonstra a situação real do bem-estar das aves. E que não deve ser negligenciado quando se pensa em um controlador inteligente do ambiente interno de frangos de corte.

5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO E BEM-ESTAR DE FRANGOS DE CORTE

Conseguimos manter a alta produtividade de frangos de corte pelas pesquisas constantes. Em meio a isso, há o crescimento de volume de dados coletados que dependem de uma análise mais rápida, uma vez que a vida do frango de corte se resume a menos de dois meses de idade. A tomada de decisão rápida e precisa alia a utilização da zootecnia, da ambiência e da nutrição de precisão, juntamente com a área da mineração de dados em que se consegue extrair informações desconhecidas e padrões até então ocultos em grandes bancos de dados. Ainda, temos novas tecnologias, como a pecuária de precisão que consegue avaliar em tempo real a situação do aviário.

5.1 Mineração de dados

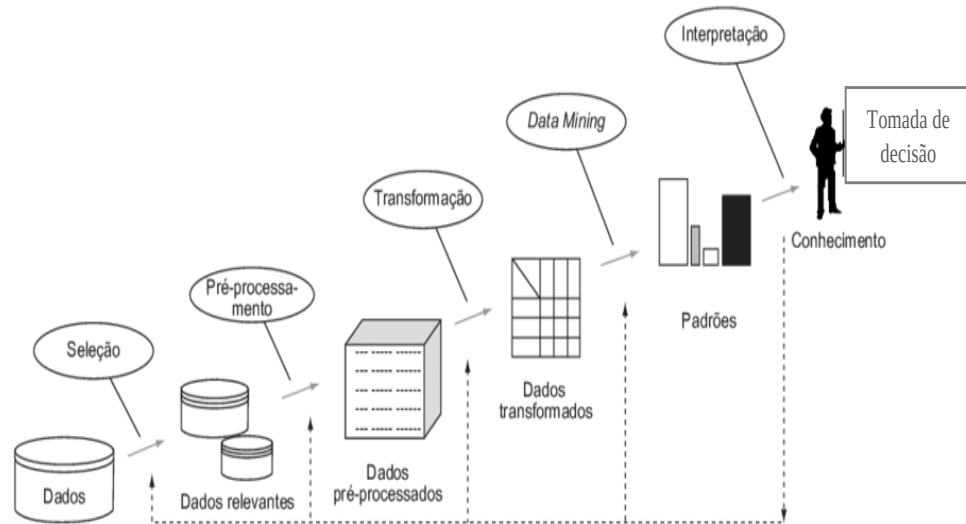
A Mineração de Dados (*Data Mining*, em inglês) surge no início dos anos 80 a partir da preocupação de empresas que começaram a armazenar um grande volume de informações e pela necessidade de analisar esses grandes volumes de dados. Para isso, foi necessário a utilização de técnicas e ferramentas que conseguissem manipular e analisar tais conjuntos de dados de forma a obter informações rápidas e úteis a partir deles.

A extração de informações úteis, relevantes e compreensíveis se dá através da descoberta de conhecimento, conhecida como o processo de descoberta de conhecimento em base de dados – KDD (*Knowledge Discovery in Database*, sigla em inglês) (FAYYAD et al., 1996).

O KDD se divide em cinco etapas: (a) a seleção de dados, que consiste em coletar e selecionar os dados mais relevantes; (b) o pré-processamento de dados, o qual consiste na limpeza e eliminação de dados redundantes ou inconsistentes; (c) a transformação dos dados, que objetiva preparar o banco de dados para a implementação do algoritmo minerador; (d) a etapa de Mineração, que consiste na aplicação de algoritmos de mineração de dados para buscar

padrões ou relações no banco de dados; (e) a interpretação dos padrões, obtenção do conhecimento útil e verificação da qualidade do conhecimento gerada (Figura 6).

Figura 6 – As cinco etapas do processo de descoberta de conhecimento.



Fonte: Adaptado de Fayyad et al. (1996).

De acordo com Fayyad et al. (1996), os métodos de mineração de dados são divididos em aprendizado supervisionado (preditivo) e não-supervisionado (descritivo). A diferença entre os métodos de aprendizado supervisionados e não-supervisionados reside no fato de que os métodos não-supervisionados não precisam de uma pré-categorização para os registros, ou seja, não é necessário um atributo alvo. Já no aprendizado supervisionado, os métodos são providos com um conjunto de dados que possuem uma variável alvo pré-definida e os registros são categorizados em relação a ela.

As tarefas de mineração de dados são geralmente divididas em duas categorias principais: descritivas e preditivas (HAN et al., 2011). As tarefas preditivas tem como objetivo prever o valor de um determinado atributo com base nos valores de outros atributos, baseadas em tarefas de classificação e regressão. As tarefas descritivas são utilizadas para descrever padrões e tendências mais relevantes em bancos de dados, baseadas em tarefas de clusterização e associação.

Dando ênfase nas tarefas descritivas, a tarefa de associação consiste em encontrar subconjuntos de itens que ocorrem com certa frequência em um conjunto de dados. A tarefa de associação foi desenvolvida inicialmente por Agrawal e Srikant, (1994) e tem como objetivo principal encontrar padrões do tipo $X \rightarrow Y$, ou seja, o quanto X implica em Y onde X e Y são conjuntos distintos. Através dessa tarefa pode-se estimar que um conjunto de item “X” possui

uma tendência a se repetir frequentemente em conjunto com um valor “Y” (AGRAWAL e SRIKANT, 1994; HAN et al., 2011).

O software que realiza tais etapas é o Weka[®], que é uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina para as tarefas de *data mining*.

5.1.1 Mineração de padrão sequencial

A mineração de padrão sequencial visa evidenciar sequências de acontecimentos presentes em uma base de dados organizada em uma ordem cronológica (AGRAWAL e SRIKANT, 1995). Padrões sequenciais são eventos que ocorrem no tempo e que podem ser usados para prever eventos futuros baseados em eventos anteriores.

Os dados sequenciais são compostos por um conjunto de sequências, em que cada sequência é uma lista ordenada de eventos ou elementos discretos. A novidade na descoberta de padrões sequenciais, se comparada ao método tradicional de descoberta de regras de associação, está na inclusão de dados temporais tanto nas regras quanto no processo de mineração (AGRAWAL e SRIKANT, 1995).

O algoritmo utilizado para análise de padrão sequencial é o algoritmo *Generalized Sequential Patterns* (GSP), o qual gera regras de associação utilizando, no antecedente e no precedente das regras, atributos presentes no conjunto de dados. Seu funcionamento acontece iterativamente onde, em cada interação, a base de dados é totalmente percorrida a fim de encontrar todas as sequências ali contidas (SRIKANT e AGRAWAL, 1996; BUREVA et al., 2015).

Uma sequência temporal consiste em um conjunto de *itemsets* ordenados temporalmente. Uma sequência é uma lista ordenada de comportamentos descritos como $S = \langle e_1, e_2, e_3 \dots e_n \rangle$, em que o elemento e_1 ocorre antes do elemento e_2 , e_2 ocorre antes do elemento e_3 e assim por diante. Em uma base de dados de sequências, o suporte de padrões frequentes deve ser maior ou igual ao limite mínimo de suporte definido pelo usuário (SRIKANT e AGRAWAL, 1996; BUREVA et al., 2015).

O cálculo de suporte é executado em cada k-sequência candidata, para o qual é verificado se seu valor está abaixo do valor estipulado como mínimo, sendo eliminada em seguida e armazenadas aquelas com suporte maior; calculado pela Equação 1.

$$\text{Suporte } (S) = \frac{|\text{Número de ocorrências } S|}{|\text{Total de sequências no banco de dados}|} \rightarrow [0; 1] \quad (\text{Equação 1})$$

O algoritmo GSP baseia-se na abordagem de geração e teste de candidatos (AGRAWAL e SRIKANT, 1995). Este algoritmo funciona, basicamente, por iterações, onde a primeira varredura do banco de dados busca itens frequentes que atendem às sequências de eventos de suporte mínimo do usuário – são chamados de 1-sequências. Em uma segunda rodada, são formadas as 2-sequências, onde cada item sofre a supervisão do suporte mínimo para selecionar sequências. O processo continua para as k-sequências candidatas, aumentando (k+1)-sequências para cada etapa seguinte, até não restarem mais sequências ou não consiga gerar mais sequências candidatas, completando o processo de geração (AGRAWAL e SRIKANT, 1995; BUREVA et al., 2015).

Essa técnica já foi usada na análise do comportamento de clientes, padrões de acesso à web, análise de experimentos científicos, testes de medicamentos (WRIGHT et al., 2015), no comportamento de aprendizagem de estudantes universitários após exposição a jogos educativos (SHIH, 2017), no comportamento de eventos climáticos e de poluição atmosférica (YANG et al., 2018), na análise de comportamento de turistas (WOLFRAM, 2020) e do comportamento das transações de empréstimo de livros (ASTUTI e ANGGRAINI, 2019). Na avicultura, até o momento, foi utilizado para avaliar o comportamento sequencial de frangos de corte em crescimento e terminação submetidos a estresse térmico (BRANCO et al., 2020, 2021).

5.2 Ambiência e Zootecnia de Precisão na avicultura de corte

A zootecnia e a ambiência de precisão estão interligadas com a chamada *Precision livestock farming* (PLF – sigla em inglês), a qual é definida como a aplicação de técnicas de monitoramento, modelagem e gerenciamento automatizado (WATHES et al., 2008; BANHAZI et al., 2012; CORKERY et al., 2013; BERCKMANS, 2014; TULLO et al., 2017).

A importância da PLF se dá pelo alerta antecipado, o que permite aos produtores a tomada de decisão no início do problema (FERNANDEZ et al., 2018; LI et al., 2020), por meio do monitoramento em tempo real e de forma contínua e rápida das atividades, saúde e bem-estar de frangos de corte.

Nesse viés, diferentes sensores nos ajudam a rastrear problemas em tempo real – sensores de temperatura, câmera de imagem digital, câmera termográfica, microfones, dispositivos RFID, dentre outros – e coletam variadas informações usadas para o monitoramento ambiental, comportamental e produtivo (LI et al., 2020). Aliado a isso, as tecnologias de PLF se tornam uma maneira otimizada, não invasiva e de apoio aos produtores

para sua rotina diária de monitoramento e gerenciamento das granjas avícolas (BERCKMANS, 2014; FERNANDEZ et al., 2018); o que garante a produtividade, saúde e bem-estar das aves.

Tecnologias de monitoramento de aviários são cada vez mais utilizadas, além de técnicas avançadas na análise e processamento de dados, o que possibilita a avaliação do comportamento das aves de forma contínua, precisa e em tempo real (SASSI et al., 2016; VALLETTA et al., 2017; LI et al., 2020). Pesquisas que interligam tecnologias e análises avançadas com algoritmos de mineração de dados são capazes de monitorar os animais, detectar doenças e prever o nível de bem-estar do lote.

Estudos utilizando mineração de dados conseguiram avaliar o comportamento de aves utilizando algoritmo J48 (PEREIRA et al., 2013) e estimar o conforto térmico de aves com base na análise do comportamento de aglomeração das aves, denominado índice de agrupamento (PEREIRA et al., 2020). Aydin et al. (2015) e Aydin e Berckmans (2016) descreveram um sistema avançado de monitoramento para medir com precisão a ingestão de ração de frangos de corte por uma tecnologia de processamento de som em tempo real. Estudo mais recente utilizando a mineração de padrão sequencial, juntamente com o algoritmo GSP, na avicultura de corte foi realizado por Branco et al. (2020, 2021) para avaliar o comportamento sequencial de frangos de corte em crescimento e terminação no estresse térmico.

Alguns trabalhos utilizando ferramentas e tecnologias de PLF de monitoramento de aves para estimar variáveis e níveis de bem-estar estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Trabalhos utilizando ferramentas e tecnologias de PLF de monitoramento de aves.

Referências	Tecnologias empregadas
Aydin et al. (2010)	Avaliação de um sistema de monitoramento automático para medir níveis de atividades de frangos de corte em relação ao <i>gait score</i> .
Mollah et al. (2010)	Análise digital de imagens para estimar o peso vivo de frangos de corte
Kristensen e Cornou (2011)	Deteção de distúrbios da perna em frangos de corte através da análise do nível de atividade medido pela análise de imagens
Dawkins et al. (2012)	Utilização fluxo óptico para analisar o comportamento de aves e prever com antecedência o bem-estar das aves
Kashiha et al. (2013)	Utilização de câmeras de videomonitoramento para medir o índice de distribuição de aves para estudo do bem-estar dos frangos de corte
Sadeghi et al. (2015)	Utilização de rede neural artificial para identificar aves doentes através da vocalização
Zhang et al. (2016)	Uso de dispositivo RFID e algoritmo <i>k-means</i> para monitorar o peso e o tempo de movimentação de aves

Continua...

...Continuação.

Mortensen et al. (2016)	Previsão de peso de frangos de corte usando visão computacional 3D
Silveira et al. (2017)	Utilização de sistema de câmera <i>eYeNamic</i> para avaliar a capacidade de caminhada das aves
Aydin (2017)	Utilização de imagens digitais para propor um sistema de monitoramento totalmente automatizado para detecção precoce de problemas locomotores
Amraei et al. (2017a)	Utilização da metodologia de rede neural artificial para predição de peso de frangos de corte.
Amraei et al. (2017b)	Aplicação da visão computacional e suporte à regressão vetorial para previsão de peso de frango de corte vivo
Wang et al. (2017)	Utilização de imagem de profundidade (câmera <i>kinect</i>) para estimar o peso corporal da ave
Van Herten et al. (2018)	Modelo de previsão para a escore de marcha em frangos de corte, com base em medidas automatizadas de distribuição, níveis de atividade e massa corporal de aves
Pu et al. (2018)	Reconhecimento automático do comportamento do rebanho de galinhas por rede neural convolucional e câmera <i>kinect</i>
Fernandez et al. (2018)	Avaliação do bem-estar pelos desvios nos padrões de atividade e ocupação
Okinda et al. (2019)	Monitoramento baseado em visão computacional para avaliação e previsão precoce de aves doentes
Jørgensen et al. (2019)	Avaliação do uso da visão computacional para a estimativa de peso da carcaça do frango
Carpentier et al. (2019)	Desenvolvimento de um algoritmo para monitorar sons de espiro de aves
Xiong et al. (2019)	Utilização da mineração de dados para avaliação automática da temperatura de superfície da cabeça de frangos
Bloch et al. (2020)	Utilização de um método baseado em uma câmera infravermelho de baixo custo calibrada em tempo real para prever temperatura corporal
Pereira et al. (2020)	Índice de agrupamento para estimar o conforto térmico de aves com base na análise do comportamento de aglomeração das aves
Fang et al. (2021)	Rastrear frangos de corte baseado na tecnologia de visão computacional, usando imagem de aprendizado profundo
Del Valle et al. (2021)	Desenvolvimento de um índice de agitação, juntamente com visão computacional para avaliar automaticamente o conforto térmico das aves

Ao encontro disso, o uso de PLF é um importante avanço na avicultura de corte atual, em que conseguimos identificar e melhorar os fatores ligados ao ambiente de criação por meio de técnicas não invasivas e na maioria de baixo custo. Um dos importantes indicadores utilizados na avaliação de bem-estar é o comportamento das aves. O uso de tecnologias e de sensores podem monitorar o bem-estar e o comportamento animal de forma contínua, precisa e automática com o potencial de desenvolver sistemas de agricultura e pecuária de precisão (LI

et al., 2020). Com a utilização de técnicas automáticas, consegue-se identificar e classificar o grau de bem-estar das aves com menor interferência possível e interligar uma maior quantidade de variáveis que influenciam na produtividade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELQADER, A.; AL-FATAFTAH, A-R. Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. **Journal of Thermal Biology**, v.39, p.1-5, jan., 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.11.001>.

ABU-DIEYEH, Z.H.M. Effect of Chronic Heat Stress and Long-Term Feed Restriction on Broiler Performance. **International Journal of Poultry Science**, v.5, n.2, p.185-190, 2006. <https://doi.org/10.3923/ijps.2006.185.190>.

AERTS, J.M.; WATHES, C.M.; BERCKMANS, D. Dynamic Data-based Modelling of Heat Production and Growth of Broiler Chickens: Development of an Integrated Management System. **Biosystems Engineering**, v.84, n.3, p.257-266, mar., 2003. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00285-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00285-4).

AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. Fast Algorithms for Mining Association Rules. In Proceedings of the 20th VLDB Conference Santiago, Chile, p. 487-499, 1994. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/645920.672836>.

AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. **Mining sequential patterns**. In Proceedings of the 11th international conference on data engineering, p. 3-14, 1995. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICDE.1995.380415>.

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of geophysical research**, v.111, n.5, D05109, mar., 2006. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>.

AMRAEI, S.; MEHDIZADEH, A.S.; SALARI, S. Broiler weight estimation based on machine vision and artificial neural network, **British Poultry Science**, v.8, n.2, p.200-205, out., 2017a. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1259530>.

AMRAEI, S.; MEHDIZADEH, S.A.; SALARY, S. Application of computer vision and support vector regression for weight prediction of live broiler chicken. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.10, n.4, p.266-271, out., 2017b. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2017.04.003>.

ASTUTI, T.; ANGGRAINI, L. Analysis of sequential book loan data pattern using generalized sequential pattern (GSP) algorithm. **Int. J. Inf. Syst.**, v.2, n.1, p.17-23, 2019. <http://ijiis.org/index.php/IJIS/article/view/10>.

ATTIA, Y.; HASSAN, S. S. Broiler tolerance to heat stress at various dietary protein/energy levels. **European Poultry Science**, v.81, dec., 2017. <https://doi.org/10.1399/eps.2017.171>.

ATTIA, Y.A.; AL-HARTHI, M.A.; ELNAGGAR, A. S. Productive, physiological and immunological responses of two broiler strains fed different dietary regimens and exposed to heat stress. **Italian Journal of Animal Science**, v.17, n.3, p.686-687, dec., 2018. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1416961>.

ATTIA, Y.A.; HASSAN, R.A.; TAG EL-DIN, A.E.; ABOU- SHEHEMA, B.M. Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.95, n.6, p.744-755, dec., 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01104.x>.

AYDIN, A. Using 3D vision camera system to automatically assess the level of inactivity in broiler chickens. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.135, n.1, p.4-10, abr., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.024>.

AYDIN, A.; BAHR, C.; BERCKMANS, D. A real-time monitoring tool to automatically measure the feed intakes of multiple broiler chickens by sound analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.114, p.1-6, jun., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.03.010>.

AYDIN, A.; BERCKMANS, D. Using sound technology to automatically detect the short-term feeding behaviours of broiler chickens. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.121, p.25-31, fev., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.11.010>.

AYDIN, A.; CANGAR, O.; OZCAN, S.E.; BAHR, C.; BERCKMANS, D. Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.73, p.194–199, ago., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.05.004>.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em Edificações Rurais*. Editora UFV, 2ª ed., Viçosa, Brasil, 2010.

BANHAZI, T.M.; LEHR, H.; BLACK, J.L.; CRABTREE, H.; SHOFIELD, P.; TSCHARKE, M.; BERCKMANS, D. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.5, n.3, p.1-9, set., 2012. <http://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/599/498>.

BERCKMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v.7, n.1, p.6-11, jan., 2017. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.

BERCKMANS, D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. **Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.**, v.33, n.1, p.189-196, 2014. <http://dx.doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>.

BESSEI, W. Welfare of broilers: A review. **World's Poultry Science Journal**, v.62, n.3, p.455-466, set., 2006. <https://doi.org/10.1017/S0043933906001085>.

BHADAURIA, P.; KATARIA, J.M.; SAJUMDAR, S.; BHANJA, S.K.; KOLLURI, G. Impact of Hot Climate on Poultry Production System-A Review. **Journal of Poultry Science and Technology**, v.2, n.4, p. 56-63, out./dec., 2014.
Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315337840_Impact_of_Hot_Climate_on_Poultry_Production_System-A_Review.

BLACK, J. L. Brief history and future of animal simulation models for science and application. **Animal Production Science**, v.54, p.1883-1895, set., 2014.
<http://dx.doi.org/10.1071/AN14650>.

BLAS, J. Stress in Birds. Sturkie's Avian Physiology (Sixth Edition), **Academic Press**, p.769-810, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00033-6>.

BLOCH, V.; BARCHILON, N.; HALACHMI, I.; DRUYAN, S. Automatic broiler temperature measuring by thermal camera. **Biosystems Engineering**, v.199, p.127-134, nov., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.08.011>.

BORGES, S.A.; SILVA, A.V.F.; MAJORKA, A.; HOOGE, D M.; CUMMINGS, K.R. Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). **Poultry Science**, v.83, n.9, p.1551-1558, set., 2004. <https://doi.org/10.1093/ps/83.9.1551>.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; OLIVEIRA, S.R.M. Detection of broiler heat stress by using the generalised sequential pattern algorithm. **Biosystems Engineering**, v.199, p.121-126, nov., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.012>.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.D.; NÄÄS, I.A.; LIMA, N.D.S.; KLEIN, D.R.; OLIVEIRA, S.R.D.M. The Sequential Behavior Pattern Analysis of Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. **AgriEngineering**, v.3, p.447-457, jun., 2021.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering3030030>.

BROOM, D.M. Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public. **Journal of Veterinary Medical Education**, v.37, n.1, p.83-88, abr., 2010.
<https://doi.org/10.3138/jvme.37.1.83>.

BROWN-BRANDL, T.M.; BECK, M.M.; SCHULTE, D.D.; PARKHUST, A.M.; DeSHAZER, J.A. Physiological responses of tom turkeys to temperature and humidity change with age. **Journal of Thermal Biology**, v.22, n.1, p.43-52, fev., 1997.
[https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(96\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(96)00033-2).

BUFFINGTON, D.E.; COLLASSO-AROCHO, A.; CANTON, G.H. Black globe-humidity index (ITGU) as comfort equation for dairy cows. **ASABE**, v.24, n.3, p.711-714, 1981.
<https://doi.org/10.13031/2013.34325>.

BUREVA, V.; SOTIROVA, E.; CHOUNTAS, P. Generalized net of the process of sequential pattern mining by generalized sequential pattern algorithm (GSP). In: D. Filev, J. Jabłkowski, J. Kacprzyk, M. Krawczak, I. Popchev, L. Rutkowski, et al. (Eds.), *Intelligent systems' 2014. Advances in intelligent systems and computing* (v. 323). 2015. Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-11310-4_72.

CANGAR, O.; AERTS, J.M.; BUYSE, J.; BERCKMANS, D. Quantification of the Spatial Distribution of Surface Temperatures of Broilers. **Poultry Science**, v.87, n.12, p.2493-2499, dec., 2008. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00326>.

CARPENTIER, L.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D.; PAESHUYSE, J.; NORTON, T. Development of sound-based poultry health monitoring tool for automated sneeze detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.162, p.573-581, jul., 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.05.013>.

CHEPETE, H.J.; CHIMBOMBI, E.; TSHEKO, R. Production performance and temperature-humidity index of cobb 500 broilers reared in open-sided naturally ventilated houses in Botswana Proceedings of the Seventh International Symposium, (Beijing, China), 2005.
<https://doi.org/10.13031/2013.18408>.

CIRULE, D.; KRAMA, T.; VRUBLEVSKA, J.; RANTALA, M.J.; KRAMS, I. Rapid Effect of Handling on Counts of White Blood Cells in a Wintering Passerine Bird: A More Practical Measure of Stress. **Journal of Ornithology**, v.153, p.161-166, jun., 2012.
<https://doi.org/10.1007/s10336-011-0719-9>.

COBB AVIAN - Manual do frango de corte – Cobb Avian – Planalto. Disponível em: [MANUAL MOD REV. 03 18 09 06.CDR \(unesp.br\)](http://MANUAL_MOD_REV.03_18_09_06.CDR(unesp.br)). Data de acesso:15/09/2020.

CORDEIRO, M.B.; TINÔCO, I.F.F.; FILHO, R.M.M.; SOUSA, F.C. Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.418-426, jun., 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000300002>.

CORKERY, G.; WARD, S.; KENNY, C.; HEMMINGWAY, P. Incorporating Smart Sensing Technologies into the Poultry Industry. **J. World's Poult. Res.**, v.3, n.4, p.106-128, 2013.
[PDF] [Incorporating Smart Sensing Technologies into the Poultry Industry | Semantic Scholar](#).

CORNISH, A.R.; BRILEY, D.; WILSON, B.J.; RAUBENHEIMER, D.; SCHLISBERG, D.; MCGREEVY, P. D. The price of good welfare: Does informing consumers about what on-package labels mean for animal welfare influence their purchase intentions? **Appetite**, v.148, n.1, mai., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104577>.

COSTA, L.S.; PEREIRA, D.F.; BUENO, L.G.F.; PANDORFI, H. Some aspects of chicken behavior and welfare. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.4, p.159-232, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2012000300001>.

CURI, T.M.R.C.; CONTI, D.; VERCELLINO, R.A.; MASSARI, J.M.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z.M.; MONTANARI, R. Positioning of sensors for control of ventilation systems in broiler houses: a case study. **Scientia Agricola**, v.74, n.2, p.101-109, mar./abril., 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0369>.

DAGHIR, N.J. Nutritional Strategies to Reduce Heat Stress in Broilers and Broiler Breeders. *Lohmann Information*, v.44, n.1, p.6-15, 2009. Disponível em: [info-online 1-09.qxp](http://info-online.1-09.qxp) (lohmman-information.com). Data de acesso:15/09/2020.

DAIGLE, C.L.; RODENBURG, T.B.; BOLHUIS, J.E.; SWANSON, J.C.; SIEGFORD, J.M. Use of dynamic and rewarding environmental enrichment to alleviate feather pecking in non-cage laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v.161, p.75–85, dec., 2014. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.10.001>.

DAWKINS, M.S. Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable? **Animal Production Science**, v.57, n.2, p.201–208, jun., 2016. <https://doi.org/10.1071/AN15383>.

DAWKINS, M.S. Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. **Zoology**, v.106, n.4, p.383-387, 2003. <https://doi.org/10.1078/0944-2006-00122>.

DAWKINS, M.S.; CAIN, R.; ROBERTS, S. J. Optical flow, flock behaviour and chicken welfare. **Animal Behaviour**, v.84, n.1, p.219-223, jul., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.04.036>.

DAWKINS, M.S.; WANG, L.; ELLWOOD, S.A.; ROBERTS, J.S.; GEBHARDT-HENRICH, S.G. Optical flow, behaviour and broiler chicken welfare in the UK and Switzerland. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 234, 105180, jan., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105180>.

De JONG, I.C.; HINDLE, V.A.; BUTTERWORTH, A.; ENGEL, B.; GUNNINK, H.; MOYA, T.P.; TUYTTENS, F.A.M.; VAN REENEN, C.G. Simplifying the Welfare Quality® assessment protocol for broiler chicken welfare. **Animal**, v.10, n.1, p.117-127, 2016. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001706>.

DEEB, N.; CAHANER, A. Genotype-by-Environment Interaction with Broiler Genotypes Differing in Growth Rate. 3. Growth Rate and Water Consumption of Broiler Progeny from Weight-Selected Versus Nonselected Parents Under Normal and High Ambient Temperatures. **Poultry Science**, v.81, n.3, p. 293-301, mar., 2002. <https://doi.org/10.1093/ps/81.3.293>.

DEL VALLE, J.E.; PEREIRA, D.F.; NETO, M.M.; GABRIEL FILHO, L.R.A.; SALGADO, D.A. Unrest index for estimating thermal comfort of poultry birds (*Gallus gallus domesticus*) using computer vision techniques. **Biosystems Engineering**, v.206, p.123-134, jun., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.03.018>

DEMMERS, T.G.M.; CAO, Y.; GAUSS, S.; LOWE, J.C.; PARSONS, D.J.; WATHES, C.M. Neural predictive control of broiler chicken and pig growth. **Biosystems Engineering**, v.173, p.134-142, set., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.022>

EDGAR, J.L.; MULLAN, S.M.; PRITCHARD, J.C.; Mc FARLANE, U.J.C.; MAIN, D.C. Towards a 'Good Life' for Farm Animals: Development of a Resource Tier Framework to Achieve Positive Welfare for Laying Hens. **Animals**, v.3, n.3, p.584-605, jul., 2013. <https://doi.org/10.3390/ani3030584>.

ESMAY, M.L. Principles of animal environment. Environmental engineering in agriculture and food series. Westport, Connecticut: Avi Publ. Co. USA., 325p., 1969.

FANG, C.; HUANG, J.; CUAN, K.; ZHUANG, X.; ZHANG, T. Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network. **Biosystems Engineering**, v.190, p.176-183, fev., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.002>

FARAG, M.R.; ALAGAWANY, M. Physiological alterations of poultry to the high environmental temperature. **Journal of Thermal Biology**, v.76, p.101-105, ago., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.012>.

FAYYAD, U.; STOLORZ, P. Data mining and KDD: promise and challenges. **Future Generation Computer Systems**, v.13, p.99-115, nov., 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-739X\(97\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0167-739X(97)00015-0).

FEBRER, K.; JONES, T.A.; DONNELLY, C.A.; DAWKINS, M.S. Forced to crowd or choosing to cluster? Spatial distribution indicates social attraction in broiler chickens. **Animal Behaviour**, v.72, n.6, p.1291-1300, dec., 2006. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.03.019>

FERNANDEZ, A.P.; NORTON, T.; TULLO, E.; VAN HERTEM, T.; YOUSSEF, A.; EXADAKTYLOS, V.; VRANKEN, E.; GUARINO, M.; BERCKMANS, D. Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology. **Biosystems Engineering**, v.173, p.103-114, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.05.008>.

FISININ, V.; KAVTARASHVILI, A.S. Heat stress in poultry. II. Methods and techniques for prevention and alleviation (review). **Agricultural Biology**, v.50, n.4, p.431-443, ago., 2015. <http://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.4.431eng>.

FONTANA, I.; TULLO, E.; SCRASE, A.; BUTTERWORTH, A. Vocalisation sound pattern identification in young broiler chickens. **Animal**, v.10, p.1567-1574, 2016. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001408>.

FOURNEL, S.; ROUSSEAU, A.N.; LABERGE, B. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. **Biosystems Engineering**, v.155, p.97-123, mar., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>.

FRASER, D.; WEARY, D.M.; PAJOR, E.A.; MILLIGAN, B.N. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. **Animal welfare**, v.6, p.187-205, 1997. [A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concerns \(wellbeingintlstudiesrepository.org\)](http://wellbeingintlstudiesrepository.org/).

GEBHARDT-HENRICH, S.G.; STRATMANN, A.; DAWKINS, M.S. Groups and Individuals: Optical Flow Patterns of Broiler Chicken Flocks Are Correlated with the Behavior of Individual Birds. **Animals**, v.1, n.2, p.568, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11020568>

GENÇ, L.; PORTIER, K. M. Sensible and Latent Heat Productions from Broilers in Laboratory Conditions. **Turkish Journal of Veterinary e Animal Sciences**, n.29, p.635-643, 2005. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtkveterinary/issue/12544/151306>.

GERAERT, P.A.; PADILHA, J.C.; GUILLAUMIN, S. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. **British Journal of Nutrition**, v.75, n.2, p.195-204, fev., 1996. <https://doi.org/10.1017/BJN19960124>.

GILOH, M.; SHINDER, D.; YAHAV, S. Skin surface temperature of broiler chickens is correlated to body core temperature and is indicative of their thermoregulatory status. **Poultry Science**, v.91, n.1, p.175-188, jan., 2012. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01497>.

GREGORY, N. G. How climatic changes could affect meat quality. **Food Research International**, v 43, n.7, p 1866-1873, ago., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.05.018>

GUO, Y.; CHAI, L.; AGGREY, S.E.; OLADEINDE, A.; JOHNSON, J.; ZOCK, G. A Machine Vision-Based Method for Monitoring Broiler Chicken Floor Distribution. **Sensors**, v.20, n.11, p.3179, mai., 2020. <https://doi.org/10.3390/s20113179>.

HAVENSTEIN, G.B.; FERKET, P.R.; QURESHI, M.A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science**, v.82, n.10, p.1509-1518, out., 2003. <https://doi.org/10.1093/ps/82.10.1509>.

HEMSWORTH, P.H.; MELLOR, D.J.; CRONIN, G.M.; TILBROOK, A.J. Scientific assessment of animal welfare. **New Zealand Veterinary Journal**, v.63, n.1, p.24–30, dec., 2015. <https://doi.org/10.1080/00480169.2014.966167>

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers, 3 ed, San Francisco, CA, USA, 2011.

HENCHION, M.; MCCARTHEY, M.; RESCONI, V.C.; TROY, D. Meat consumption: Trends and quality matters. **Meat Science**, v.98, n.3, p.561-568, nov., 2014. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.007>.

HERBORN, K.A.; GRAVES, J.L.; JEREM, P.; EVANS, N.P.; NAGER, R.; McCAFFERTY, D.J.; McKEEGAN, D.E.F. Skin temperature reveals the intensity of acute stress. **Physiology and Behavior**, v.152, p.225-230, dec., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.09.032>.

INMET, 2020. Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/glossario/glossario>. Data de acesso: 21/12/2019.

JØRGENSEN, A.; DUEHOLM, J.V.; FAGERTUN, J.; MOESLUND, T.B. Weight Estimation of Broilers in Images Using 3D Prior Knowledge. In: Felsberg M., Forssén PE., Sintorn IM., Unger J. (eds) Image Analysis. SCIA, 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol. 11482. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20205-7_19.

KASHIHA, M.; PLUK, A.; BARH, C.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. Development of an early warning system for a broiler house using computer vision. **Biosystems Engineering**, v.166, n.1, p.36-45, set., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.004>.

KEHLBACHER, A.; BENNETT, R.; BALCOMBE, K. Measuring the consumer benefits of improving farm animal welfare to inform welfare labelling. **Food Polity**, v.37, n.6, p.627-633, dec., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.07.002>.

KRISTENSEN, H.H.; CORNOU, C. Automatic detection of deviations in activity levels in groups of broiler chickens e a pilot study. **Biosystems Engineering**, v.109, n.4, p.369-376, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.002>.

LARA, L.J.; ROSTAGNO, M.H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v.3, n.2, p.356-369, abr., 2013. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>.

LAY JR., FULTON, R.M.; HESTER, P.Y.; KARCHER, D.M.; KJAER, J.B.; MENCH, J.A.; MULLENS, B.A.; NEWBERRY, R.C.; NICOL, C.J.; O’SULLIVAN, N.P.; PORTER, R.E. Hen welfare in different housing systems. **Poultry Science**, v.90, n.1, p.278-294, jan., 2011. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00962>

LEE, J.; NOH, B.; JANG, S.; PARK, D.; CHUNG, Y.; CHANG, H-H. Stress Detection and Classification of Laying Hens by Sound Analysis. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)**, v.28, n.4, p 592-598, 2015. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0654>.

LEINONEN, I., WILLIAMS, A.G., KYRIAZAKIS, I. The Effects of Welfare-Enhancing System Changes on the Environmental Impacts of Broiler and Egg Production. **Poultry Science**, v.93, n.2, p.256-266, fev., 2014. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03252>.

LI, N.; REN, Z.; LI, D.; ZENG, L. Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming. **Animal**, v.14, n.3, p.617-625, 2020. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002155>.

LIMA, K.A.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; GARCIA, R.G.; MENDES, A.S. Applying multi-criteria analysis to select the most appropriate broiler rearing environment. **Information Processing in Agriculture**, In Press, mai., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.007>.

LIN, H.; JIAO, H.C.; BUYSE, J.; DECUYPERE, F. Strategies for preventing heat stress in poultry. **World's Poultry Journal**, v.62, n.1, p.71-85, mai., 2006. <https://doi.org/10.1079/WPS200585>.

LIU, D.; VRANKEN, E.; den BERG, G.; CARPENTIER, L.; FERNÁNDEZ, A.P.; HE, D.; NORTON, T. Separate weighing of male and female broiler breeders by electronic platform weigher using camera technologies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.182, 106009, mar., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106009>

LIU, L.; REN, M.; REN, K.; JIN, Y.; YAN, M. Heat stress impacts on broiler performance: a systematic review and meta-analysis. **Poultry Science**, v.99, n.11, p.6205-6211, nov., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.019>.

LOYAU, T.; BEDRANI, L.; BERRI, C.; MÉTAYER-COUSTARD, S.; PRAUD, C.; COUSTHAM, V.; MIGNON-GRASTEAU, S.; DUCLOS, M. J.; TESSERAUD, S.; RIDEAU, N.; HENNEQUET-ANTIER, C.; EVERAERT, N.; YAHAV, S.; COLLIN, A. Cyclic variations in incubation conditions induce adaptive responses to later heat exposure in chickens: a review. **Animal**, v.9, n.1, p.76-85, 2015. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001931>.

LOYAU, T.; BERRI, C.; BEDRANI, L.; MÉTAYER-COUSTARD, S.; PRAUD, C.; DUCLOS, M.J.; TESSERAUD, S.; RIDEAU, N.; EVERAERT, N.; YAHAV, S.; MIGNON-GRASTEAU, S.; COLLIN, A. Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. **Journal of Animal Science**, v.91, n.8, p.3674-3685, ago., 2013. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6445>.

MACARI, M.; MENDES, A.A.; MENTEL, J.F.M.; NÄÄS, I.A. Produção de frangos de corte. FACTA FAPESP, 2ª edição, p. 565, 2014.

MANNING, L., SHADD, S.A.; BAINES, R.N. Key health and welfare indicators for broiler production. **World's Poultry Science Journal**, v.63, n.1, p.46-62, mar., 2007. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001262>.

MANTEUFFEL, G., PUPPE, B., SCHON, P.C. Vocalization of farm animals as a measure of welfare. **Applied Animal Behaviour Science**, v.88, n.1-2, p.163-182, set., 2004. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.012>.

MCINERNEY, J. Animal welfare, economics and policy: report on a study undertaken for the farm & animal health economics. Division of DEFRA: Londres, 2004. Disponível em: [Microsoft Word - DEFRA WELFARE FINAL 23-03-04.doc \(nationalarchives.gov.uk\)](https://nationalarchives.gov.uk/microsoft-word-defra-welfare-final-23-03-04.doc).

MENEGALI, I.; BAÊTA, F.C.; TINÔCO, I.F.F.; CORDEIRO, M.B.; GUIMARÃES, M.C.C. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.8, n.6, p.461-471, dec., 2010. <https://doi.org/10.13083/reveng.v18i6.197>.

MEYER, M. M.; JOHNSON, A. K.; BOBECK, E. A. A novel environmental enrichment device increased physical activity and walking distance in broilers. **Poultry Science**, v.99, n.1, p.48-60, jan., 2020. <https://doi.org/10.3382/ps/pez581>.

MOLLAH, B.R.; HASAN, A.; SALAM, A.; ALI, A. Digital image analysis to estimate the live weight of broiler. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.72, n.1, p.48-52, jun., 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.02.002>.

MORTENSEN, A.K.; LISOUSKI, P.; AHRENDT, P. Weight prediction of broiler chickens using 3D computer vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.123, p.319-326, abr., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.011>.

NÄÄS, I.A.; LOZANO, L.C.M.; MEHDIZAHED, S.A.; GARCIA, R.G.; ABE, J.M. Paraconsistent logic used for estimating the gait score of broiler chickens. **Biosystems Engineering**, v.173, p.115-123, set., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.11.012>.

NÄÄS, I.A.; GARCIA, R.G.; CALDARA, F.R. Infrared Thermal Image for Assessing Animal Health and Welfare. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v.2, n.3, p.66-72, ago., 2014. <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72>.

NÄÄS, I.A.; ROMANINI, C.E.B.; NEVES, D.P.; NASCIMENTO, G.R.; VERCELLINO, R.A. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, v.67, n.5, p.497-502, set./out., 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500001>.

NASCIMENTO, S.T.; DA SILVA, I.J.O.; MAIA, A.S.C.; CASTRO, A.C.; VIEIRA, F.M.C. Mean surface temperature prediction models for broiler chickens - a study of sensible heat flow. **International Journal of Biometeorology**, v.58, p.195-201, jul., 2014. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0702-7>.

NASCIMENTO, S.T.; SILVA, I.J.O.; RODRIGUES, V.C.; NUNES, M.L.A. Estudos preliminares de tolerância ao estresse térmico de duas linhagens comerciais de frangos de corte na sexta semana de produção. In: XVIII Congresso de Zootecnia, II Congresso Ibero-Americano de Zootecnia, 2009, Vila Real, Portugal. Livro de Comunicações, p.474-477, 2009.

NAWAB, A.; IBTISHAM, F.; LI, G.; KIESER, B.; WU, J.; LIU, W.; ZHAO, Y.; NAWAB, Y.; LI, K.; XIAO, M.; UM, L. Heat stress in poultry production; Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. **Journal of Thermal Biology**, v.78, p.131-139, dez., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.010>.

NEETHIRAJAN, S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. **Sensing and Bio-Sensing Research**, v.29, ago., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100367>.

NICOL, C.C.J.; CAPLEN, G.; EDGAR, J.; BROWNE, W.J. Associations between welfare indicators and environmental choice in laying hens. **Animal Behaviour**, v.78, n.2, p.413-424, ago., 2009. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.05.016>.

OGNIK, K.; SEMBRATOWICZ, I. Stress as a factor modifying the metabolism in poultry. A review. *Annales UMCS*, **Zootechnica**, v.30, n.2, p.34-43, jun., 2012. <https://doi.org/10.2478/v10083-012-0010-4>.

OKINDA, C.; LU, M.; LIU, L.; NYALALA, I.; MUNERI, C.; WANG, J.; ZHANG, H.; SHEN, M. A machine vision system for early detection and prediction of sick birds: a broiler chicken model. **Biosystems Engineering**, v.188, p.229-242, dec., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.09.015>.

OKINDA, C.; NYALALA, I.; KOROHOU, T.; OKINDA, C.; WANG, J.; ACHIENG, T.; WAMALWA, P.; MANG, T.; SHEN, M. A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v.4, p.184-208, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.09.002>.

OLFATI, A.; MOJTAHEDIN, A.; SADEGHI, T.; AKBARI, M.; MARTÍNEZ-PASTOR, F. Comparison of growth performance and immune responses of broiler chicks reared under heat stress, cold stress and thermoneutral conditions. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.16, n.2, p.e0505, 2018. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018162-12753>.

ONU - Organização das Nações Unidas. Disponível em: World Population Prospects - Population Division - United Nations. Data de acesso: 18/12/2019.

PAWAR, S.S.; BASAVARAJ, S.; DHANSING, L.V.; NITIN, K.P.; SAHEBRAO, K.A.; VITTHAL, N.A.; MANOJ, B.P.; KUMAR, B. S. Assessing and Mitigating the Impact of Heat Stress in Poultry. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, v.4, p.332-341, jun., 2016. <http://doi.org/10.14737/journal.aavs/2016/4.6.332.341>.

PEREIRA, D.F.; LOPES, F.A.A.; GABRIEL FILHO, L.R.A.; SALGADO, D.A.; NETO, M.M. Cluster index for estimating thermal poultry stress (*gallus gallus domesticus*). **Computers and Electronics in Agriculture**, v.177, out., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105704>

PEREIRA, D.F.; MIYAMOTO, B.C.B.; MAIA, G.D.N.; SALES, G.T.; MAGALHÃES, M.M.; GATES, R.S. Machine vision to identify broiler breeder behavior. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.99, p.194-199, nov., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.012>.

PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A.; SALGADO, D.A.; GASPAR, C.R.; BIGHI, C.A.; PENHA, N.L.J. Correlations among behavior, performance and environment in broiler breeders using multivariate analysis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.9, n.4, p.207-213, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000400001>.

PU, H.; LIAN, J.; FAN, M. Automatic Recognition of Flock Behavior of Chickens with Convolutional Neural Network and Kinect Sensor. **International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence**, v.32, n.7, p.1850023, 2018. <https://doi.org/10.1142/S0218001418500234>.

PURSWELL, J.L.; DOZIER, W.A.; OLANREWaju, H.A.; DAVIS, J.D.; XIN, H.; GATES, R.S. Effect of temperature humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age. IX International Livestock Environment Symposium (ILES IX), 2012. <https://doi.org/10.13031/2013.41619>.

QUINTEIRO-FILHO, W.M.; RIBEIRO, A.; FERRAZ-DE-PAULA, V.; PINHEIRO, M.L.; SAKAI, M.; SÁ, L.R.M.; FERREIRA, A.J.P.; PALERMO-NETO, J. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. **Poultry Science**, v.89, n.9, p.1905-1914, set., 2010. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00812>.

RANJAN, A.; SINHA, R.; DEVI, I.; RAHIM, A.; TIWARI, S. Effect of Heat Stress on Poultry Production and their Managemental Approaches. **Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.** v.8, n.2, p.1548-1555, 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.181>.

RATH, P.K.; BEHURA, N.C.; SAHOO, S.P.; PANDA, P.; MANDAL, K.D.; PANIGRAHI, P.N. Amelioration of Heat Stress for Poultry Welfare: A Strategic Approach. **Int J Pecuária Res**, n.5, v.3, p.1-9, 2015. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20150330093915>.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; BASILIO, V.; GOURDINE, J.L.; COLLIER, R.J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v.6, n.5, p.707-728, 2012. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>

ROJANO, F.; BOURNET, P.E.; HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; KACIRA, M.; CHOI, C.Y. Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house. **Biosystems Engineering**, v.151, p.273–285, nov., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.012>.

ROSTAGNO, M. H. Effects of heat stress on the gut health of poultry. **Journal of Animal Science**, v.98, n.4, abr., 2020. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa090>.

RUSHEN, J.; BUTTERWORTH, A.; SWANSON, J.C. Animal behavior and well-being symposium: Farm animal welfare assurance: Science and application. **Journal of Animal Science**, v.89, n.4, p.1219-1228, abr., 2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3589>.

- SADEGHI, M.; BANAKAR, A.; KHAZAEI, M.; SOLEIMANI, M.R. An intelligent procedure for the detection and classification of chickens infected by *Clostridium perfringens* based on their vocalization. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.17, p.537-544, out./dec., 2015. <https://doi.org/10.1590/1516-635X1704537-544>.
- SAEED, M.; ABBAS, G.; ALAGAWANY, M.; KAMBOH, A.A.; EL-HACK, M.E.A.; KHAFAGA, A.F.; CHAO, S. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. **Journal of Thermal Biology**, v.84, p.414-425, ago., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.025>.
- SAHIN, N.; HAYIRLI, A.; ORHAN, C.; TUZCU, M.; AKDEMIR, F.; KOMOROWSKI, J.R.; SAHIN, K. Effects of the supplemental chromium form on performance and oxidative stress in broilers exposed to heat stress. **Poultry Science**, v.96, n.12, p.4317-4324, dec., 2017. <https://doi.org/10.3382/ps/pex249>.
- SANDØE, P.; FORKMAN, B.; CHRISTIANSEN, S.B. Scientific uncertainty — how should it be handled in relation to scientific advice regarding animal welfare issues? **Animal Welfare**, v.13, n.1, p.121-126, fev., 2004. <https://www.ingentaconnect.com/content/ufaw/aw/2004/00000013/A00101s1/art00017>.
- SANTOS, M. P.; DENIZ, M.; SOUZA, K. T.; KLEIN, D. R.; BRANCO, T.; PACHECO, P. S.; VALE, M. M. Efficiency of cooling systems in broiler houses during hot days. **Ciência Rural**, v. 51, n.8, 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200941>
- SASSI, N.B.; AVERÓS, X.; ESTEVEZ, I. Technology and poultry welfare. **Animals**, v.6, n.62, out., 2016 <https://doi.org/10.3390/ani6100062>.
- SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; FERRAZ, P.F.P.; CAMPOS, A.T.; SILVA, G.R.; ABREU, L.H.P. Broiler behavior under different thermal environments. **Engenharia Agrícola**, v.33, p.390-396, mai./jun., 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p390-396/2015>.
- SHIH, W.C. Mining Learners' Behavioral Sequential Patterns in a Blockly Visual Programming Educational Game. In Proceedings of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA), Seoul, South Korea, 13–15 June 2017; NJ, USA, 2017; pp. 1–2. doi: 10.1109/ICIMSA.2017.7985594.
- SIEGFORD, J.M.; BEREZOWSKI, J.; BISWAS, S.K.; DAIGLE, C.L.; GEBHARDT-HENRICH, S.G.; HERNANDEZ, C.E.; THURNER, S.; TOSCANO, M.J. Assessing Activity and Location of Individual Laying Hens in Large Groups Using Modern Technology. **Animals**, v.6, n.10, fev., 2016. <https://doi.org/10.3390/ani6020010>.
- SILVEIRA, A.M.; KNOWLES, T.G.; BUTTERWORTH, A.; BERCKMANS, D.; VRANKEN, E.; BLOKHUIS, H.J. Lameness assessment with automatic monitoring of activity in commercial broiler flocks. **Poultry Science**, v.96, n.7, p.2013-2017, jul., 2017. <https://doi.org/10.3382/ps/pex023>.

SOHAIL, M. U.; HUME, M.E.; BYRD, J.A.; NISBET, D.J.; IJAZ, A.; SOHAIL, A.; SHABBIR, M.Z.; REHMAN, H. Effect of supplementation of prebiotic, mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. **Poultry Science**, v.91, n.9, p.2235-2240, set., 2012. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02182>.

SOLEIMANI, A.F.; ZULKIFLI, I.; OMAR, A.R.; RAHA, A.R. Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress. **Poultry Science**, v.90, n.7, p.1435-1440, jul., 2011. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01381>.

SRIKANT, R.; AGRAWAL, R. Mining sequential patterns: Generalizations and performance improvements. In Proceedings of the Fifth International Conference on Extending Database Technology (EDBT), Avignon, France, March 1996. <https://doi.org/10.1007/BFb0014140>.

SYAFWAN, S.; WERMINK, G.J.D.; KWAKKEL, R.P.; VERSTEGEN, M.W.A. Dietary self-selection by broilers at normal and high temperature changes feed intake behavior, nutrient intake, and performance. **Poultry Science**, v.91, n.3, p.537-549, mar., 2012. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01559>.

TAO, X.; XIN, H. Temperature-humidity-velocity: index for market-size broilers. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, n. 034037, ASAE Annual Meeting, jan., 2003. <https://doi.org/10.13031/2013.14094>.

TULLO, E.; DONTANA, I.; DIANA, A.; NORTON, T.; BERCKMANS, D.; GUARINO, M. Application note: labelling, a methodology to develop reliable algorithm in PLF. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.142, p.424-428, nov., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.030>.

VALE, M. M.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A.; CURI, T.M.R.C; LIMA, K.A.O. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. **Engenharia agrícola**, v.36, n.2, p.271-280, mar./abr., 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p271-280/2016>.

VALLETTA, J.J.; TORNEY, C.; KINGS, M.; THORNTON, A.; MADDEN, J. Applications of machine learning in animal behaviour studies. **Animal Behaviour**, v.124, p.203-220, fev., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.12.005>.

VAN HERTEM, T.; NORTON, T.; BERCKMANS, D.; VRANKEN, E. Predicting broiler gait scores from activity monitoring and flock data. **Biosystems Engineering**, v.173, p.93-102, set., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.002>.

VANDANA, G.D.; SEJIAN, V.; LEES, A.M., PRAGNA, P.; SILPA, M.V., MALONEY, S.K. Heat stress and poultry production: impact and amelioration. **International Journal of Biometeorology**, v.65, p.163–179, out., 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02023-7>.

VIRDEN, W.S., KIDD, M.T. Physiological Stress in Broilers: Ramifications on Nutrient Digestibility and Responses. **Journal of Applied Poultry Research**, v.18, n.2, p.338-347, jul., 2009. <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00093>.

WANG, L.; SUN, C.; LI, W.; JI, Z.; ZHANG, X.; WANG, Y.; LEI, P.; YANG, X. Establishment of broiler quality estimation model based on depth image and BP neural network. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v.33, n.13, p.199-205, jul., 2017. [Establishment of broiler quality estimation model based on depth ...: Ingenta Connect.](https://doi.org/10.3382/ps/pex363)

WANG, Y.; SAELAO, P.; CHANTHVIXAY, K.; GALLARDO, R.; BUNN, D.; LAMONT, S.J.; DEKKERS, J.M.; KELLY, T. ZHOU, H. Physiological responses to heat stress in two genetically distinct chicken inbred lines. **Poultry Science**, v.97, n.3, p.770-780, mar., 2018. <https://doi.org/10.3382/ps/pex363>.

WATHES, C.M.; KRISTENSEN, H.H.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v.64, n.1, p.2-10, nov., 2008. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.005>.

WEEKS, C.A.; DANBURY, T.M.; DAVIES, H.C.; HUNT, P.; KESTIN, S.C. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. **Applied Animal Behaviour Science**, v.67, n.1, p.111-125, mar., 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00102-1).

WOLF, B.O.; WALSBURG, G.E. The Role of the Plumage in Heat Transfer Processes of Birds. **American Zoologist**, v.40, n.4, p.575-584, ago., 2000. [https://doi.org/10.1668/0003-1569\(2000\)040\[0575:TROTPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1668/0003-1569(2000)040[0575:TROTPI]2.0.CO;2).

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M-J. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, v.153, p.69-80, mai., 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.

WOLFRAM, H. Flickr data for analysing tourists' spatial behaviour and movement patterns **Journal of Hospitality and Tourism Technology**, v.11, n.1, p.69-82, 2020. <https://doi.org/10.1108/JHTT-08-2017-0059>.

WRIGHT, A.P.; WRIGHT, A.T.; MCCOY, A.B.; SITTIG, D.F. The use of sequential pattern mining to predict next prescribed medications. **Journal of Biomedical Informatics**, v.53, p.73-80, fev., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2014.09.003>.

XIONG, X.; LU, M.; YANG, W.; DUAN, G.; YUAN, Q.; SHEN, M.; NORTON, T.; BERCKMANS, D. An Automatic Head Surface Temperature Extraction Method for Top-View Thermal Image with Individual Broiler. **Sensors**, v.19, n.23, p.5286, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19235286>.

YAHAV, S. Chapter 37 - Regulation of Body Temperature: Strategies and Mechanisms. *Sturkie's Avian Physiology* (Sixth Edition), p.869-905, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407160-5.00037-3>.

YAHAV, S.; RUSAL, M.; SHINDER, D. The Effect of Ventilation on Performance Body and Surface Temperature of Young Turkeys. **Poultry Science**, v.87, n.1, p.133-137, jan., 2008. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00359>

YAHAV, S.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal**, v.61, n.3, p.419-434, 2005. <https://doi.org/10.1079/WPS200453>.

YAHAV, S.; STRASCHNOW, A.; LUGER, D.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v.83, n.2, p.253-258, fev., 2004. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.253>.

YANG, G.; HUANG, J.; LI, X. Mining sequential patterns of PM2.5 pollution in three zones in China. **Journal of Cleaner Production**, v.170, p.388- 398, jan., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.162>.

YOUSSEF, A.; EXADAKTYLOS, V.; BERCKMANS, D. Towards real-time control of chicken activity in a ventilated chamber. **Biosystems Engineering**, v.135, p.31-43, jul., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.04.003>.

ZHANG, F. Y.; HU, Y.M.; CHEN, L. C.; GUO, L.H.; DUAN, W.J.; WANG, L. Monitoring behavior of poultry based on RFID radio frequency network. **International Journal of Agriculture and Biological Engineering**, v.9, n.6, p.139-147, 2016. <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1568>.

ZHAO, Z.; LI, J.; BAO, J. Effects of Housing Systems on Behaviour, Performance and Welfare of Fast-growing Broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)**, v.27, n.1, p.140-146, jun., 2014. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13167>.

ZHUANG, X.; BI, M.; GUO, J.; WU, S.; ZHANG, T. Development of an early warning algorithm to detect sick broilers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.144, p.102-113, jan., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.032>.

ZHUANG, X.; ZHANG, T. Detection of sick broilers by digital image processing and deep learning. **Biosystems Engineering**, v.179, p.106-116, mar., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.003>.

ZUIDHOF, M.J.; SCHNEIDER, B.L.; CARNEY, V.L.; KORVER, D.R.; ROBINSON, F.E. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. **Poultry Science**, v.93, n.12, p.2970-2982, dec., 2014. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>.

CAPÍTULO II:

ARTIGO 1: DETECÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM FRANGOS DE CORTE USANDO O ALGORITMO *GENERALISED SEQUENTIAL PATTERN*

O estresse térmico é um dos fatores que mais prejudica o desempenho e bem-estar de frangos de corte. Na fase de crescimento, além do estresse térmico por calor, o estresse por frio acaba prejudicando a ótima produtividade da linhagem, uma vez que o sistema termorregulatório ainda não está bem desenvolvido. Avaliar o impacto do estresse térmico, seja por frio ou por calor, garante um melhor bem-estar que pode ser mensurado por meio do comportamento de frangos de corte. Incluir técnicas que melhor avaliem banco de dados torna-se um ponto essencial na avicultura de corte. Para tanto, este capítulo usa a mineração de padrão sequencial para avaliar o comportamento de frangos de corte na fase de crescimento em estresse térmico por frio e por calor.

Este capítulo está escrito em forma de artigo e nas normas da revista *Biosystems Engineering*, na qual o artigo se encontra publicado.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, S.R.M. Detection of broiler heat stress by using the generalised sequential pattern algorithm. **Biosystems Engineering**, v.199, p. 121-126, nov., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.012>.

Detection of broiler heat stress by using the Generalized Sequential Pattern Algorithm

Tatiane Branco¹, Daniella Jorge de Moura¹, Irenilza de Alencar Nääs¹, Stanley Robson de Medeiros Oliveira^{1,2}

¹College of Agricultural Engineering, State University of Campinas, Campinas, SP, Brazil.

²Embrapa Agricultural Informatics, Campinas, SP, Brazil.

Abstract: The sequence pattern mining method aims to identify frequent sequences that exceed a user-specified support threshold. The present study uses the same approach based on sequential standards to estimate the heat stress of broiler from a resulting behavioural pattern. Experimental data were recorded in a climate chamber where the behaviour of broilers was recorded under thermoneutral (comfort) conditions, set as standard, and when exposed to thermal stress (cold and heat). The Generalized Sequential Patterns (GSP) algorithm was used to evaluate the heat stress of broilers in the third and fourth week of growth. The results indicated that the mining of pattern sequences is a useful and straightforward technique to estimate the welfare of broiler chickens, allowing the identification of temporal relations between thermal stress and the consequent behaviour of the broiler. Temperature 8 °C below the thermal comfort zone showed that the broiler remained lying down most of the time, walking only to the drinker and feeder trough. Broilers exposed to temperatures 8 °C above the standard thermoneutral conditions tend to decrease locomotor activities, showing lower welfare status.

Keywords: animal welfare; behavioural pattern; data mining algorithm; detection of sequential frequency

Introduction

Thermal stress conditions negatively affect the development and productive performance of broiler chickens. In the first weeks of growth, low rearing temperatures might severely impact the bird's performance since the thermoregulatory system is not well developed (Cassuce et al., 2013). In the last weeks of growth, the exposure to high rearing temperatures might affect the performance since the bird's ability to dissipate heat decreases considerably (Renaudeau et al., 2012). Heat stress is one of the most critical issues when determining broiler welfare since it may easily lead to high flock mortality (Quinteiro-Filho et al., 2010).

Previous knowledge of broiler behaviour is a way to identify stressful situations that might affect the productive performance and well-being of broiler chickens (Bracke and Hopster, 2006). Change in behaviour is one of the first responses in the occurrence of stress and can be identified using video cameras. Amongst the most frequent behaviours observed to identify the thermal stress in broilers, besides water and food consumption, is the changes in pecking, dust bathing, scratching, locomotion and grouping activity (Maria et al., 2004; Costa et al., 2012). Behaviour analysis is a useful tool in understanding how animals perceive the rearing environment (Bizeray et al., 2002; Pereira et al., 2013). Since the environment implies a direct influence on the physiological responses of broilers, the sequence of behaviours, with the change of environment, might provide interesting source of information regarding the adjustments made during a known period. The evaluation and the interactive controls of the thermal comfort of animals could be done considering the animals as biosensors and the behavioural response as an input to real-time decision-making (Xin and Shao, 2002; Cordeiro et al., 2011).

Developed by Agrawal and Srikant (1995), the sequence pattern mining approach has the purpose of identifying frequent sequences that exceed a user-specified support threshold. The support of a sequence is the percentage of a finite ordered list of elements in the database that contain the sequence. The generalized sequential pattern algorithm (GSP) has been used in

predicting climate pattern (Kaur, 2012; Chauhan and Thakur, 2014), in classifying malicious sequential pattern for automatic malware detection (Fan et al., 2016), in predicting next prescribed medications (Wright et al., 2015), and in recommending personalized learning material (Salehi et al., 2014). However, although it may be a promising tool, we did not find the use of GSP in mining behavioural pattern in broiler production in current literature. Therefore, the present study aimed to apply the GSP algorithm for evaluating the sequential pattern of broiler behaviour under heat stress.

Material and methods

Birds and husbandry

A total of 27 broiler chickens (Cobb[®] genetic strain with mixed-sex flock) were selected from an experimental broiler house. The birds were reared in an open-sided house, fed *ad libitum* with commercial feed-ration, and had constant access to clean water. The broilers were 21 and 28 days-old when exposed to the experimental trial. The experiment was part of an extensive research approved by the UFSM ethics committee (087/2012).

Experimental set-up

The broilers were distributed in three boxes, each one with nine birds, inside a climatic chamber. The room had the dimensions of 0.8 m wide x 1.1 m long x 1.1 m high. The thermal isolation was done using 0.10 m Styrofoam between two walls of plywood. The environmental control of the room was done using commercial air-conditioning and monitored with digital thermometers outside the room. Inside the chamber, in the experimental boxes, there were a tubular feeder and nipple drinkers.

The birds were taken to an environmental chamber two days before starting the exposure to thermal stress, were kept under thermoneutral conditions for those two days. In their third

week of age, birds were taken to the climacteric chamber when they were 19 days old. At 21 days of age, they were subjected to three consecutive days of thermal stress (21, 22 and 23 days of age). When the exposure was over, the birds were returned to the experimental housing. In the fourth week of age, new birds were selected and the same management regime was adopted: the birds were taken to the climatic chamber when they were 26 days old. At 28 days of age, they were submitted to three consecutive days of thermal stress (28, 29 and 30 days of age).

The thermoneutral zone was assessed from Cobb (2016, p. 69) and it is shown in Table 1. For broilers 21 days old the lowest critical temperature (LCT) was considered 19.9 °C and highest critical temperature (HCT) was 22.1 °C. For broiler 28 days old LCT was 18.7 °C and HCT was 21.3 °C. The heat stress consisted of increasing 8 °C above the thermoneutral temperature range and the cold stress was considered applying 8 °C above the thermoneutral range (Table 1). Air relative humidity remained with the range of 64 to 80%; 67 to 86%, and 50 to 80% during the thermoneutral rearing condition, stress by cold, and stress by heat, respectively.

The heat stress was applied during three consecutive days when the behaviour of the broilers was recorded and analysed. A video camera with an infrared sensor was positioned facing the birds. The camera resolution was 704 x 480 pixels and recorded 30 frames per minute, 24 hours per day.

Table 1. Values of temperature used to stress the broilers at 21 and 28 days-old.

Age (day)	Thermal neutral* (°C)	Cold stress (°C)	Heat stress (°C)
21	21.0 ± 1.1	13.0 ± 0.8	29.0 ± 1.1
28	20.0 ± 1.3	12.0 ± 2.3	28.0 ± 1.0

*Values based on Cobb (2016, p. 69).

The behavioural parameters were evaluated by the scan sampling method (Altmann, 1974). The evaluations consisted of 15 continuous minutes every 3 hours for each stress tested. The dark period (8 hours; Cobb, 2016) was not analysed, as it did not allow individual identification of the bird. The total hours analysed for each week was 17 hours.

The final dataset was composed of 11 behavioural attributes (Table 2); which is related to an ethogram consisting of basic behaviours, based on previous studies related to the well-being of broilers (Weeks et al., 2000, Bokkers and Koene 2003, Pereira et al., 2005).

Table 2. Descriptive ethogram of the observed behaviours for the composition of the dataset.

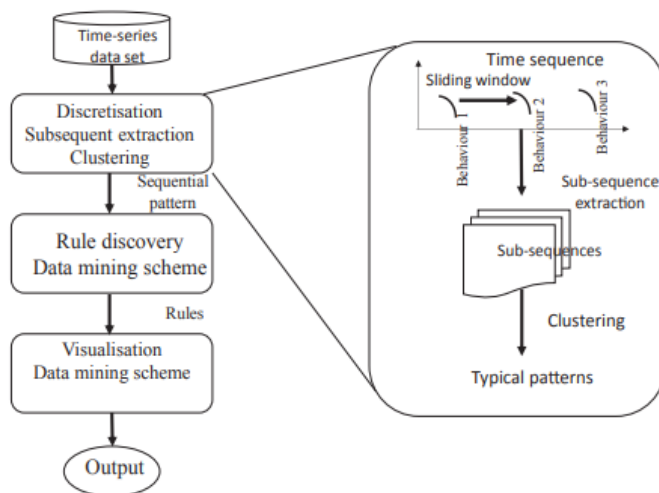
Ethogram of observed behaviours	
<u>Eating and drinking behaviour</u>	
Eating	The bird is in front of the feeder and ingests feed
Drinking	The bird is in front of the drinker and ingests water
Foraging	The bird stands in upright position, uses both feet to to peck at or move litter material in search of food
<u>Activity behaviour</u>	
Laying down	The bird lies in the litter while the head rests on the ground or is erected
Walking	The bird moves at a slow pace
Running	The bird moves at a fast pace
<u>Normal behaviour (bird in comfort)</u>	
Preening	The bird cleans and align the feathers using the beak
Litter pecking	The bird pecks the litter with the beak
Dust bathing	Bathing in the dust with the use of wings, head, neck and legs
Stretching	The bird stretches one wing and one leg of the same body hemisphere
Laying laterally	The bird lays laterally with a stretched leg

The datasets were built after the organisation of information from the observed behaviours of the 21- and 28-day-old broilers. Data were processed using the analysis of sequential patterns applying the GSP algorithm (Table 3).

Table 3. Partial data set for thermal neutral and stress exposure in the rearing environment.

21 days-old	28 days-old
bird, behaviour	bird, behaviour
bird1, "Eating, Laying down "	bird1, " Eating, Laying down "
bird2, " Eating, Walking "	bird2, " Eating, Laying down "
bird3, " Laying down, Walking "	bird3, " Laying down, Walking"
bird4, " Walking, Drinking"	bird4, " Stretching, Walking"
bird5, " Eating, Walking"	bird5, " Preening, Laying down "
bird9, " Eating, Walking"	bird9, "Walking, Eating "

A model based on sequential standards was developed to estimate the welfare of broiler chickens through their behaviour. Considering that there is a repetition of the behaviour of the broilers exposed to the stress during the present study, the sequence of observed behaviour under ideal rearing environment (thermoneutral) and under cold or heat stress was analysed. The time-series and data mining framework based on behavioural pattern extraction and classification is presented in Figure 1.

**Fig. 1** - The time-series and data mining framework based on behavioural pattern extraction and classification.

The sequence pattern mining approach is to find frequent sequences that surpass a user stated support threshold. The support of a sequence is the percentage of a finite ordered list of elements in the database that contain the sequence. The generalised sequential pattern algorithm (GSP) has been used. A sequence s is an ordered list of behaviours described as $s =$

$\langle e_1, e_2 \dots e_n \rangle$, where the element e_1 occurs before the element e_2 , e_2 occurs before the element e_3 , and so on. Another important definition is that the number of elements of a sequence is the length of that sequence. The sequence database contains tuples in the form $\langle \text{SID}, s \rangle$, where SID refers to the sequence ID and s represents a sequence of broiler behaviours. In the database of sequences, the frequent patterns (behaviours) support must be greater or equal to the minimum support threshold defined by the user (Srikant and Agrawal, 1996; Bureva et al., 2015).

The GSP algorithm mines sequential patterns by adopting a candidate subsequence generation-and-test approach (Agrawal and Srikant, 1995). At first, GSP scans the database for the named items, meeting the user's minimum support sequences of events. A seed set is used in the next steps. All mined seed set in the previous step will be used for generating candidate sequences. Each candidate sequences contain a minimum one seed sequential pattern from the generated seed set in the previous step. The candidate sequences have equal lengths, increased $k+1$ time in each following step. The sequences that do not fit the minimum support threshold are pruned. The process is repeating until there is a lack of new sequences or it cannot generate more candidate sequences (Bureva et al., 2015).

In the current study, for instance, the sequence $s = \langle \text{stretching, walking, lying down} \rangle$ has size equal to 3 and means that it is normal the bird shows the behaviours in that order. Such a sequence has the size of three different actions. The support value of a sequence s reveals the frequency. To calculate the support of a sequence Equation 1 was used.

$$\text{support}(s) = \frac{| \text{Number of occurrences } s |}{| \text{Total of sequences in the data set} |} \rightarrow [0; 1] \quad \text{Eq. 1}$$

The software Weka[®] (Frank et al., 2016) was used to perform these data mining tasks.

Results

The approach of using GSP algorithm indicates that a sequential pattern is characterised by events that occur in time and appear with significant frequency in a database; these patterns can be used to predict a future event based on the previous ones. From such assumption, from the 11 analysed behaviours the pattern “Lying down” was the most frequent with minimum threshold greater than 25%, with frequencies of 5, 6 and 3 for thermoneutral environment, cold stress and heat stress at 21 days of age; and frequencies of 3, 7, 3 for thermoneutral rearing environment, cold stress and heat stress at 28 days of age, respectively. The behaviours of “Foraging”, and “Running” was the only behavioural pattern not found in any of the studied scenarios and had a frequency lower than 25%.

In a thermoneutral environment, seven behaviour sequences were found for broilers 21days-old with sequence sizes ranging from 2 to 5, while 18 behaviour sequences were found for broilers 28 days-old with sequence sizes ranging from 2 to 7. However during the cold stress rearing environment, the found behavioural pattern were 11 and 10 behaviour sequences, for broilers 21 and 28 days-old, respectively. When exposed to heat stress, there were found two and six behavioural sequences, for broilers 21 and 28 days-old, respectively. Most of the behaviours were repeated along the trial. Therefore, pruning was added, and we show here the most relevant ones (Table 4).

Table 4 – Behavioural pattern with sequence size ranging from 2 to 7 for broilers exposed to thermalneutral rearing environment, cold and heat stress at ages of 21 and 28 days-old.

Behaviour under thermal neutral rearing environment	
21 days-old	28 days-old
Behaviour under thermal neutral rearing environment	
<Eating, Walking, Lying down>	<Eating, Lying down>
<Lying down, Walking, Drinking, Lying down>	<Lying down, Stretching, Walking, Lying down>
<Lying down, Preening>	<Lying down, Preening, Walking, Drinking>
	<Lying down, Walking, Eating, Lying down>
	<Eating, Lying down, Eating, Walking, Drinking>

Cold stress	
<Lying down, Walking, Eating>	<Eating, Lying down>
<Eating, Walking, Lying down>	<Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down>
<Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down>	<Lying down, Eating, Lying down, Preening>
	<Lying down, Eating, Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down>
Heat stress	
<Lying down, Walking, Drinking, Lying down>	<Eating, Lying down>
<Lying down, Preening, Walking, Eating>	<Dust bath, Lying laterally, Walking, Eating>

Similar sequence of behavioural pattern such as Lying down → Walking → Drinking → Lying down; Eating → Walking → Lying down; and Lying down → Preening were found in thermal neutral rearing environment and both stress exposures; however, with less frequency of occurrence when the broilers were under stress (cold or heat), independent of age.

The highest frequency of behaviours during heat stress exposure was that the bird remained inactive (Lying down), indicating that the environment was not favourable to increase the body-sensible heat production. The repetitive sequence behaviour observed in broilers 28 days-old was "<Dust bath, Lying laterally, Walking, Eating>".

The behavioural pattern of “Lying laterally” was only observed in broilers under heat stress. Such behaviour seems natural since birds exposed to acute or chronic heat stress tend to increase the body surface to dissipate heat. The sequence of the behaviours “<Eating, Walking, Lying down>” was found under the thermoneutral conditions when birds were 21 days old. The sequential pattern “<Lying down, Eating, Lying down>” was found when broilers were 28 days old and reared under heat stress. When birds were 21 days old, the sequential pattern “<Lying down, Walking, Drinking, Lying down>” was observed under the three tested conditions. When the broilers were 28 days old the sequential pattern “<Eating, Lying down>” also was observed in the three tested thermal conditions.

Discussion

Although broiler chickens spend most of their time resting (Bizeray et al., 2002), Barbosa Filho et al. (2007) report that the lying behaviour can be considered normal under heat stress conditions, in order to facilitate heat exchange with the litter, which would undoubtedly be at a lower temperature than the body of the animal. Such a condition would favour the exchange of heat by conduction. Pereira et al. (2005) reported a positive correlation between temperature and "Dust bath" and "Drinking" behaviours and negatively correlated with "Running" behaviour.

The decrease of broiler locomotor activities during heat stress is an attempt to reduce the heat generated by the movements (Maria et al., 2004). Such behaviour might also occur as indicative of cold stress when the birds cluster together to minimise heat loss (Schiassi et al., 2015). It was also observed in the evaluated cold stress exposure that the birds diminished the exploratory behaviour of the surrounding. Probably because the birds remained lying down for a long time and only getting up to drink and eat.

It is known that the longer in thermal discomfort, whether by cold or heat, the productivity of the bird decreases, resulting in problems of health, performance and well-being (Quinteiro-Filho et al., 2010). Therefore, it is vital to evaluate the thermal comfort within broiler chicken houses, since it is a highly significant factor in determining the success of broiler production (Nascimento et al., 2011). The importance of evaluating the behaviour of broiler chickens shows that the higher the repertoire of behaviours performed by the birds, the greater the indicative of the birds being in a better condition of well-being (Zhao et al., 2014). The higher the intensity, duration and incidence of a known behaviour, the better indication we might have of the bird welfare status (Bracke and Hopster, 2006). Although broilers can adapt the behaviour to the variations of the thermal rearing environment, the exposure a large

fluctuation in the temperature of the internal environment is not recommended (Quinteiro-Filho et al., 2010).

The present analysis characterises only the frequency of the behaviour related to the rearing environment, not focusing on the physiological responses (feed consumption, weight gain and feed conversion) that might lead to production losses. Such losses are difficult to forecast through behavioural analysis (Schiassi et al., 2015). The thermal environment has a direct influence on broiler behaviour, which validates the feasibility of finding welfare indicators based on the behaviour of birds (Pereira et al., 2005).

As a result of genetic improvement, the temperature range during production currently recommended by the genetic strain as optimal may be outdated (Cassuce et al., 2013), which indicates the importance of continuing research in this direction. By mapping the change, the temperature and duration of thermal stress it is possible to find arrays of behavioural pattern. Another factor to observe is that broiler chickens can acclimatise to a certain intensity of thermal stress (acute stress). Short-term adaptations lead the animal to show physiological, behavioural and immunological changes to survive stressful events. Long-term adaptations occur during animal life and include a reduction in metabolic rate, changes in behavioural response, and overall morphology of the animal (Renaudeau et al., 2012). There is the need to determine the temperature ranges and exposure periods in which the short-term thermoregulatory mechanisms of broilers (physiological and/or behavioural) are efficient in maintaining the homeothermic with minimum production cost.

The present study contributes by indicating a level of behavioural compensation to the effects of acute heat or cold stress. Also, further studies are required on levels of intensity of exposure to thermal stress to identify the onset of relevant, productive losses that might justify mitigating stress actions. Some shown behaviours may not have been a result of the video

analysis application methodology (15 continuous minutes every 3 hrs), and a continuous record and analysis might be suggested as future research.

Regarding the use of GSP for analysing the behavioural frequency, the proposed algorithm scales linearly with the number of data sequences, discovers a sequential pattern, and has excellent scale-up properties concerning the present average data sequence size (Chauhan and Thakur, 2014). Although there are other options of sequential pattern-based approach (modified Apriori and PrefixSpan algorithms), such alternatives are applied to discover underlying patterns instead of on-going frequency pattern, as behaviour (Salehi et al., 2014; Fan et al., 2016). The use of GSP is recommended when a particular condition occurs in a stepwise fashion, where one behaviour leads to another (Wright et al., 2015), or to identify patterns of ordered events (Kaur, 2012).

Conclusion

Sequencing pattern mining is a promising and straightforward technique to estimate the behavioural pattern of broiler chickens, allowing the identification of temporal relationships between thermal stress and individual behaviour. Low temperatures (8 C below the centre of the thermal comfort zone) showed that the bird remained lying down and clustered most of the time, walking only to the drinker and feeder trough. High temperature (8 C above the centre of the thermal comfort zone) showed that the birds tended to decrease locomotor activities, showing lower welfare states.

Acknowledgements

The authors would like to thank the CAPES/CNPQ for the financial support this research. We are also grateful to the UFSM Polytechnic College for their support of the research project.

References

- Agrawal, R., Srikant, R. (1995). Mining Sequential Patterns. In *Proceedings of the 11th International Conference on Data Engineering* (pp.3-14).
<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICDE.1995.380415>.
- Altmann, J. (1974). Observational Study of Behavior: Sampling Methods. *Behaviour*, 49, 227-267. <https://doi.org/10.1163/156853974X00534>.
- Barbosa Filho, J. A., Silva, I. J. O., Silva, M. A. N., & Silva, C. J. M. (2007). Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Engenharia Agrícola*, 27, 93-99. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000100002>.
- Bizeray, D., Estevez, I., Leterrier, C., & Faure, J. M. (2002). Effects of increasing environmental complexity on the physical activity of broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science*, 79, 27-41. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00083-7).
- Bracke, M. B. M., & Hopster H. (2006). Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 19, 77-89.
<https://doi.org/10.1007/s10806-005-4493-7>.
- Bureva, V., Sotirova, E., & Chountas, P. (2015). Generalized net of the process of sequential pattern mining by generalized sequential pattern algorithm (GSP). In: Filev D. et al. (eds) *Intelligent Systems' 2014. Advances in Intelligent Systems and Computing*, v. 323. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11310-4_72.
- Cassuce, D. C., Tinôco, I. F. F., Baêta, F. C., Zolnier, S., Cecon, P. R., & Vieira, M. F. A. (2013). Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola*, 33, 28-36. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004>.
- Chauhan, D., & Thakur, J. (2014). Boosting decision tree algorithm for weather prediction. *Journal of Advanced Database Management & Systems*, 1, 21-30.
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37552511/253-989-1-PB.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1551326621&Signature=Q8m7H12Dk19TNtGWRTPe7bHejcE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DBoosting_Ddecision_Tree_Algorithms_for_We.pdf
- Cobb - Vantress, Inc. Broiler Management Guide. (2016). 69p. Available at <http://cobb-vantress.com/docs/default-source/management-guides/cobb-breeder-management-guide---english.pdf>.
- Cordeiro, M. B., Tinoco, I. F. F., Filho, R. M., & Sousa, F. C. (2011). Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. *Engenharia Agrícola*, 31, 418-426. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300002>.
- Costa, L. S., Pereira, D. F., Bueno, L. G. F., & Pandorfi, H. (2012). Some aspects of chicken behavior and welfare. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 14, 159-232.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2012000300001>.
- Fan, Y., Ye, Y., & Chen, L. (2016). Malicious sequential pattern mining for automatic malware detection. *Expert Systems with Applications*, 52, 16-25.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.002>.
- Frank, E., Hall, M. A., & Witten, I. H. (2016). The WEKA Workbench. Online Appendix for Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Morgan Kaufmann, Fourth Edition.
- Kaur, G. 2012. Meteorological data mining techniques: A Survey. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2, 325-327.
- Maria, G. A., Escos, J., & Alados, C. L. (2004). Complexity of behavioural sequence and their relation to stress conditions in chicken (*Gallus gallus domesticus*): A non-invasive technique to evaluate animal welfare. *Applied Animal Behavior Science*, 89, 93-104.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.11.012>.

- Nascimento, G. R. T., Nääs, I. A., Ferreira, D. F., Dutra Junior, W. M., & Maia, A. P. A. (2011). Previsão de conforto térmico de frangos de corte utilizando mineração de dados. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 5, 36-46. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2011v5n1p36-46>. (Text in Portuguese with abstract in English).
- Pereira, D. F., Miyamoto, B. C. B., Maia, G. D. N., Sales, G. T., Magalhães, M. M., & Gates, R.S. (2013). Machine vision to identify broiler breeder behavior. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99, 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.012>.
- Pereira, D. F., Nääs, I. A., Romanini, C. E. B., Salgado, D. D., & Pereira, G. O. T. (2005). Indicadores de bem-estar baseados em reações comportamentais de matrizes pesadas. *Engenharia Agrícola*, 25, 308-314. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200003>. (Text in Portuguese with abstract in English).
- Quinteiro-Filho, W. M., Ribeiro, A., Ferraz-de-Paula, V., Pinheiro, M. L., Sakai, M., Sá, L. R. M., Ferreira, A. J. P., & Palermo-Neto, J. 2010. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poultry Science*, 89, 1905–1914. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00812>.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., Babilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R.J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6, 707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>.
- Salehi, M., Nakhai Kamalabadi, I., & Ghaznavi Ghouschi, M.B.(2014). Personalized recommendation of learning material using sequential pattern mining and attribute based collaborative filtering. *Education and Information Technologies*, 19, 713–735. <https://doi.org/10.1007/s10639-012-9245-5>.
- Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Ferraz, P. F. P., Campos, A. T., Silva, G. R., & Abreu, L. H. P. (2015). Broiler behavior under different thermal environments. *Engenharia Agrícola*, 33, 390-396. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p390-396/2015>. (Text in Portuguese with abstract in English).
- Srikant, R., & Agrawal, R. (1996). Mining Sequential Patterns: Generalizations and Performance Improvements. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Extending Database Technology (EDBT)*, Avignon, France, March 1996. <http://dx.doi.org/10.1007/BFb0014140>.
- Verma, M., Mehta, D. 2014. Sequential Pattern Mining: A Comparison between GSP, SPADE and Prefix SPAN. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2, 3016-3036. Available at < <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1403022.pdf>>.
- Weeks, C. A., Danburi, T. C., Davies, H. C., Hunt, P., & Kestin, S.C. (2000). The behaviour of broiler chicken and its modification by lameness. *Applied Animal Behaviour Science*, 67, 111-125. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00102-1).
- Wright, A. P., Wright, A. T., McCoy, A. B., Sittig, D. F. (2015). The use of sequential pattern mining to predict next prescribed medications. *Journal of Biomedical Informatics*, 53, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2014.09.003>.
- Xin, H., & Shao, J. (2002). Real-time assessment of swine thermal comfort by computer vision. In: *Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources*, ASAE, 2, 362-369. <https://doi.org/10.13031/2013.8353>.
- Zhao, Z., Li, J., Li, X., & Bao, J. (2014). Effects of housing systems on behaviour, performance and welfare of fast-growing broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*; 27, 140-146. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13167>.

CAPÍTULO III

ARTIGO 2: PADRÃO DE COMPORTAMENTO SEQUENCIAL DE FRANGOS DE CORTE EXPOSTOS A ESTRESSE TÉRMICO POR CALOR

O estresse térmico por calor altera fatores relacionados ao desempenho produtivo, aos parâmetros fisiológicos e comportamentais da ave. O comportamento de frangos de corte é uma das primeiras respostas da ave frente a um ambiente adverso. Dessa forma, o estudo do comportamento de frangos de corte pode nos indicar como o ambiente de criação se encontra. Este capítulo teve como objetivo a identificação e caracterização do padrão sequencial de comportamento de frangos de corte expostos à estresse por calor constante.

Este capítulo está escrito em forma de artigo e nas normas da revista *AgriEngineering*, na qual o artigo se encontra publicado.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.D.; NÄÄS, I.A.; LIMA, N.D.S; KLEIN, D.R.; OLIVEIRA, S.R.D.M. The sequential behavior pattern analysis of broiler chickens exposed to heat stress. **AgriEngineering**, v.3, p. 447-457, jun., 2021.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering3030030>.

Article

The Sequential Behavior Pattern Analysis of Broiler Chickens Exposed to Heat Stress

Tatiane Branco ¹, Daniella Jorge de Moura ^{1,*}, Irenilza de Alencar Nääs ², Nilsa Duarte da Silva Lima ², Daniela Regina Klein ³, Stanley Robson de Medeiros Oliveira⁴

¹ College of Agricultural Engineering, State University of Campinas, Campinas-SP, 13083-875, Brazil; tatibranco91@gmail.com (T.B.)

² Institute of Exact Sciences and Technology, Graduate Program in Production Engineering, University Paulista Jaguaré São Paulo 05347-020, São Paulo, Brazil; irenilza@gmail.com (I.D.A.N.); nilsa.silva.lima@gmail.com (N.D.S.L.)

³ Animal Science Department, Federal University of Santa Maria, Santa Maria-RS, 97105-900, Brazil; danniwk@yahoo.com.br (D.R.K)

⁴ Embrapa Agricultural Informatics, Campinas - SP, 13083-886, Brazil stanley.oliveira@embrapa.br (S.R.D.M.O.)

* Correspondence: djmoura@unicamp.br

Citation: Branco, T.; de Moura, D.; de Alencar Naas, I.; da Silva, N.; Klein, D.R.; de Medeiros Oliveira, S. The Sequential Behavior Pattern Analysis of Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. *AgriEngineering* **2021**, *3*, 447–457. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030030>

Academic Editor: Brett Ramirez

Received: 21 May 2021

Accepted: 21 June 2021

Published: 25 June 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Broiler productivity is dependent on a range of variables; among them, the rearing environment is a significant factor for proper well-being and productivity. Behavior indicates the bird's initial response to an adverse environment and is capable of providing an indicator of well-being in real-time. The present study aims to identify and characterize the sequential pattern of broilers' behavior when exposed to thermoneutral conditions (TNZ) and thermal stress (HS) by constant heat. The research was carried out in a climatic chamber with 18 broilers under thermoneutral conditions and heat stress for three consecutive days (at three different ages). The behavior database was first analyzed using one-way ANOVA, Tukey test by age, and Boxplot graphs, and then the sequence of the behaviors was evaluated using the generalized sequential pattern (GSP) algorithm. We were able to predict behavioral patterns at the different temperatures assessed from the behavioral sequences. Birds in HS were prostrate, identified by the shorter behavioral sequence, such as the {Lying down, Eating} pattern, unlike TNZ ({Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down}), which indicates a tendency to increase behaviors (feeding and locomotor activities) that guarantee the better welfare of the birds. The sequence of behaviors' Lying down' followed by 'Lying laterally' occurred only in HS, which represents a stressful thermal environment for the bird. Using the pattern mining sequences approach, we were able to identify temporal relationships between thermal stress and broiler behavior, confirming the need for further studies on the use of temporal behavior sequences in environmental controllers.

Keywords: animal welfare; animal behavior; behavioral pattern detection; sequential pattern mining

1. Introduction

Extreme weather events are responsible for considerable losses in agriculture worldwide. In countries located in topical and intertropical zones such as Brazil, climate change is increasingly visible. With forecasts of high average air temperatures, climate changes, and heatwaves capable of causing substantial losses in broiler production [1,2], the management of the internal environment in poultry broiler chicken is a critical factor in maintaining the bird's well-being and productivity, as it cannot move in search of better rearing environmental conditions.

Research that improves the environment's quality for raising broilers is essential [3,4]. Previous studies show that monitoring the behavior of broilers might provide real-time information on thermal comfort in response to exposure to different thermal environments [1,5–8], since the animal is used as a biosensor [9,10], becoming a valuable non-invasive tool for environmental analysis [11]. Behavioral changes can occur quickly and at a lower metabolic cost than physiological adjustments [12]. Nevertheless, the matters relating to the rearing environment and animal welfare are multifactorial; therefore, it is important to measure a wide range of indicators [3,13,14].

New research has been using precision livestock farming concepts, combining the automation and optimization of productive resources [15,16] to make broiler production even more competitive and reducing interference from the outside environment inside the houses. In general, merging the technology of sensors and actuators, a database of animal behavior, mathematical models, and the discovery of knowledge in the data applied together and interconnected can maximize animal production's potential concerning the environment and welfare [4,17,18]. Data mining becomes an ally for decision-making in precision livestock farming [12,19,20].

The generalized sequential pattern algorithm (GSP) is a mining method that can detect recurrent sequences that exceed a user-specified support threshold. The method was first presented by Agrawal and Srikant [21] and later applied to analyze tourist behavior [22], the learning behavior of university students after exposure to educational games [23], and the behavior of book lending transactions [24]. The mining of sequential patterns in poultry has been used to assess growing chicks' behavior under heat and cold stress [8]. However, there is no evidence of any current literature study focusing on broilers' sequential behavior close to slaughter.

This research theorizes that broilers have sequential behavior patterns, specifically under environmental rearing conditions of thermoneutrality and heat stress. We believe that identifying the behavioral sequence might help to develop a smart environmental control process based on visual flock analysis. Thus, the present study's objective is to identify and characterize the sequential behavior pattern of broilers in a thermoneutral rearing environment and under thermal stress due to constant heat exposure.

2. Materials and Methods

2.1. Housing, Animals, and Management

The experiment consisted of raising 18 male Hubbard® broilers in a controlled environment house. Birds in the fourth (aged 28 to 30 d old),

fifth (aged 35 to 37d old), and sixth (aged 42 to 44 d old) week of growth were exposed to continuous heat stress for 72 h (in total). The experiment was part of extensive research approved by the UFSM ethics committee (087/2012).

Initially, 600 birds were reared in a conventional experimental house (east–west orientation; 29°43'26' S; 53°43'07' W, and 113 m altitude), receiving water and mash commercial feed ad libitum (Table 1), and all rearing conditions were according to the breeders' recommendations [25]. When the birds reached the observation age, 18 broilers were moved into an environmental chamber beside the experimental broiler house. The birds were selected according to the homogeneity ($\pm 2.5\%$) of the initial flock.

Table 1. Nutritional levels* of diets according to bird age.

Nutritional Levels	Age (Week)		
	4th	5th	6th
Metabolizable energy (kcal/kg)	3153	3198	3247
Crude protein (%)	19.87	19.03	18.16
Calcium (%)	0.75	0.66	0.61
Digestible phosphorus (%)	0.29	0.28	0.26
Sodium (%)	0.20	0.20	0.19
Digestible lysine (%)	1.10	1.05	1.00
Digestible methionine (%)	0.57	0.56	0.53
Digestible methionine + cystine (%)	0.80	0.77	0.73

*As suggested by Rostagno et al. [26] and Hubbard [25].

Two days before starting exposure to thermal stress, the birds were taken to the chamber, remaining under thermoneutral conditions before thermal stress. This period was considered the adaptation of the birds to the new environmental conditions. At the end of the five days (two days of adaptation and three days of heat treatment), the birds returned to the experimental broiler house; in the following week, new birds were selected so that there was no thermal conditioning of the new birds. The birds were marked on the back with non-toxic ink to provide individual identification.

2.2. Experimental Set-Up

The chickens were distributed inside the chamber in two experimental rooms, each with nine birds. The rooms were 0.8 m wide $\times$ 1.1 m long $\times$ 1.1 m high (Figure 1), insulated with 0.12 m styrofoam between two plywood walls. The chamber's environmental control was carried out with commercial air conditioning (air renewal of 12 m³ h⁻¹) monitored with digital thermometers with visualization outside the room. The recommended lighting was 25 lux (white fluorescent lamp; intrutherm LDR-225 luminometer) with 16 h of light according to the breeder's manual [25]. Each pen contained a video camera positioned on the upper side; the footage was taken 24 h a day, generating videos with a resolution of 704 $\times$ 480 pixels and 30 frames per second. Inside the chamber, a tubular feeder and nipple drinker were used in the experimental pens, and rice husk was used as litter.

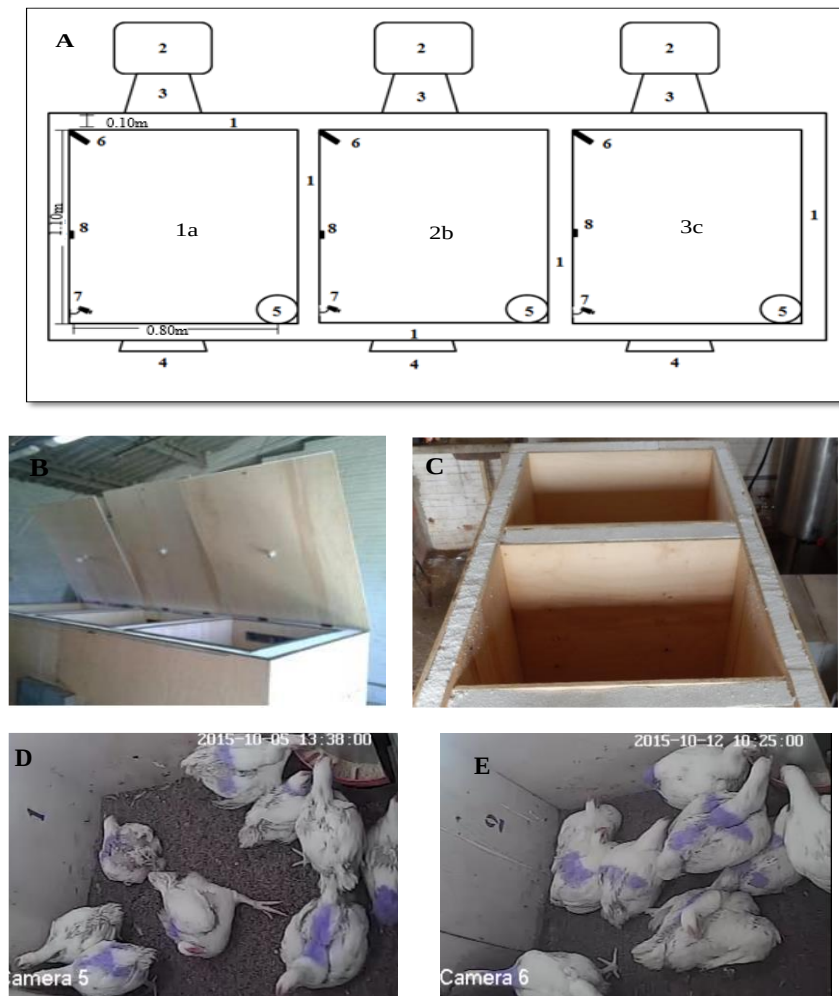


Figure 1. (A) Scheme of climate chambers. (1a: Chamber with high temperature; 2b: Chamber with comfort temperature; 3c: Chamber without experiment; 1: Internal polystyrene insulation; 2: Air conditioning; 3: Air intake; 4: Air outlet; 5: Feeder; 6: Drinker; 7: Video camera; 8: Datalogger and thermometer sensor). (B) External view of the climatic chamber and (C) inner part (under construction) showing the seal. (D) Internal view of the cameras with the birds at 35 d old and exposed to heat stress. (E) Internal view of the cameras with the birds at 42 d old exposed to thermoneutral temperature.

The thermal stress consisted of a temperature 8 °C above the thermoneutral temperature for the birds' age (Table 2). This value was chosen because it is close to the approximate values found during Brazil's broilers' lairage. The birds were kept under constant thermal stress for three days, featuring a heatwave, described as a period with uncomfortable temperatures for at least two days above 32 °C.

Table 2. The values of temperature (°C) and relative air humidity (%) that were used to stress the broilers at the fourth, fifth, and sixth weeks of growth.

Age (Week)	Thermoneutral Temperature* (°C)	Air Relative Humidity (%)	Heat Stress (°C)	Air Relative Humidity (%)
4th	20.00 ± 1.3	73.35 ± 2.1	28.00 ± 1.0	61.01 ± 2.5
5th	19.00 ± 0.9	69.45 ± 2.5	27.00 ± 1.1	57.41 ± 2.3
6th	18.00 ± 0.7	74.21 ± 2.3	26.00 ± 0.9	63.61 ± 2.0

*Values based on Hubbard [25].

Continuous video recording of the birds was performed to assess their behavior. The dark period (8 h) [25] was not analyzed since no individual identification of the bird was possible. Thus, the total hours analyzed for each day were 16 h, totaling 48 h of video recording each week, for the heat stress and thermoneutral exposure.

The final data set was composed of 1 behavioral attribute that can assume 12 different values (Table 3) corresponding to the elaborated ethogram consisting of basic behaviors, based on previous studies related to the behavior and welfare of broilers [12,27,28].

Table 3. Descriptive ethogram of the 12 observed broiler behaviors for the composition of the data set.

Ethogram of Observed Behaviors	
Eating	The bird is in front of the feeder and ingests feed
Drinking	The bird is in front of the drinker and ingests water
Foraging	The bird stands in an upright position and uses both feet to peck at or move litter material in search of food
Lying down	The bird lies in the litter while the head is resting on the ground or is erect
Walking	The bird moves at a slow pace
Running	The bird moves at a fast pace (at least three steps quicker than normal* walking)
Preening	The bird cleans and aligns the feathers using the beak
Litter pecking	The bird pecks the litter with the beak
Wing flap	Flaps wings while standing on the ground
Dust bathing	Bathing in the dust with the use of wings, head, neck, and legs
Stretching	The bird stretches one wing and one leg of the same body hemisphere
Lying laterally	The bird lies laterally with a stretched leg

* Nääs et al. [29].

After the video recording and storage, the images were analyzed using the methodology proposed by Schiassi et al. [6], equivalent to 10 continuous minutes every hour. For every 60 min, the intermediate 10 min were used for analysis continuously. The behaviors were recorded in a continuous sequence for later analysis. For example, if a bird (Bird_x) was eating after walking and drinking water and then lying down, the database sequence was described as Bird_x = <Eating, Walking, Drinking, Lying down>. A different behavior was considered when the bird presented at least 10 s performing a particular behavior and changing to a new one [30,31].

2.3. Data Analysis

The frequency data of the behaviors (lying down, eating, walking, preening, lying laterally, drinking, and dust bathing) were used for a one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey test (95% confidence) comparing the environmental condition factor—thermoneutral (TNZ) and thermal stress (HS)—with 16 repetitions per day/age (28, 29, and 30 days of age; 35, 36, and 37 days of age; and 42, 43, and 44 days of age) and in each ambient condition, totaling 48 N for the thermoneutral condition and 48 N for the thermal stress condition.

Then, we used the generalized sequential pattern (GSP) algorithm proposed by Agrawal and Srikant [21] and Srikant and Agrawal [32] to describe the birds' behavioral sequence. The GSP algorithm was designed for mining sparse and generalized sequential patterns that are repeated

over time. A description of the GSP algorithm's operation can be found in Bureva et al. [33] and Branco et al. [8].

The sequence pattern mining approach finds repeated strings that exceed the minimum support limit declared by the user. The support of a sequence is the percentage of a finite ordered list of elements in the database that contain the sequence.

The support value of any given sequence reveals how frequent this sequence is. To calculate the support of a sequence, we use Equation (1).

$$\text{support}(s) = \frac{|\text{Number of occurrences } S|}{|\text{Total of sequence in the data set}|} \rightarrow [0; 1]$$

A sequence S consists of a list of temporally ordered behaviors. For example, a sequence of behaviors is described as $S = \langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$, where item i_1 occurs before item i_2 , which occurs before item i_3 , and so forth. The number of elements in a sequence is the length of that sequence. In this study, the example sequence, $S = \langle \text{Walking, Eating, Stretching, Lying down} \rangle$ has a size of 4 and means that it is normal for the bird to show behaviors in that order. For this study, the user's support value was 40%, based on the database's initial analysis, and the value shows the most relevant and non-repeated strings (as opposed to cases with a support value below 40%).

Weka software [34] was used to perform the sequential pattern mining task (GSP), designed to aggregate algorithms from different approaches/paradigms in the sub-area of artificial intelligence dedicated to the study of machine learning.

3. Results

The current study presents the frequency of the broilers' main behaviors during the final growth period (4th, 5th, and 6th weeks; Table 4) and the most relevant behavior sequences (Table 5), taking into account the chronological occurrence order.

Table 4. Average frequencies of observed behaviors under HS and TNZ compared by the Tukey test during the 4th, 5th, and 6th week of growth.

Age (Wk)	Ambient Condition	Observed Behavior						
		Lying Down	Eating	Walking	Preening	Lying Laterally	Drinking	Dust Bathing
4th	HS	18.17 ± 6.10 a	9.31 ± 3.22 a	18.00 ± 8.88 a	4.65 ± 2.49 a	1.65 ± 1.51 a	4.00 ± 2.63 a	0.167 ± 0.78 a
	TNZ	17.35 ± 4.69 a	10.56 ± 3.75 a	15.63 ± 9.49 a	2.92 ± 2.14 b	0.40 ± 0.74 b	3.90 ± 3.23 a	0.104 ± 0.31 a
	<i>p</i> -value	0.466	0.083	0.233	0.0001	0.0001	0.863	0.607
5th	HS	18.06 ± 5.66 a	7.77 ± 3.02 a	11.54 ± 6.86 a	3.85 ± 1.87 a	2.31 ± 1.79 a	4.08 ± 2.44 a	0.19 ± 0.70 a
	TNZ	16.15 ± 4.98 a	6.63 ± 2.90 a	11.88 ± 8.06 a	3.73 ± 2.29 a	0.38 ± 0.98 b	2.79 ± 2.29 b	0.04 ± 0.20 a
	<i>p</i> -value	0.082	0.061	0.828	0.770	0.0001	0.009	0.171
6th	HS	18.86 ± 5.23 a	7.00 ± 2.82 a	11.02 ± 6.34 a	4.33 ± 2.11 a	1.54 ± 1.25 a	4.46 ± 2.70 a	0.21 ± 0.92 a
	TNZ	18.98 ± 5.61 a	8.02 ± 2.88 a	10.71 ± 7.56 a	3.48 ± 1.81 b	0.71 ± 0.94 a	3.50 ± 2.53 a	0.06 ± 0.32 a
	<i>p</i> -value	0.925	0.082	0.827	0.036	0.0001	0.076	0.303

Means that do not share the same letter (a, b) differ by Tukey test (95% confidence).

Table 5. Main patterns of sequential behavior for thermoneutral conditions and thermal stress (sequence size ranging from 2 to 7).

The Pattern of Sequential Behaviors		
Age (Week)	Thermoneutral Temperature	Heat Stress
	<{Eating, Lying down, Eating}> ($n = 6$)	<{Lying down, Preening, Walking, Eating}> ($n = 5$)
4th	<{Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down}> ($n = 5$)	<{Lying down, Preening, Lying laterally}> ($n = 4$)
	<{Lying down, Eating}> ($n = 7$)	<{Lying down, Eating}> ($n = 4$)

	<{Eating, Walking, Lying down }> (n = 4) <{Eating, Walking, Lying down, Walking, Eating}> (4) <{Lying down, Walking, Eating}> (n = 5) <{Eating, Walking, Lying down, Walking, Eating, Walking, Lying down}> (n = 4) <{Lying down, Preening}> (n = 6)	<{Eating, Lying down }> (n = 4) <{Lying down, Lying laterally}> (n = 5) <{Lying down, Preening}> (n = 5)
5th	<{Lying down, Eating }> (n = 4) <{Lying down, Preening}> (n = 8) <{Lying down, Eating, Lying down}> (n = 4) <{Lying down, Walking, Drinking}> (n = 6) <{Lying down, Walking, Eating}> (n = 4) <{Eating, Lying down}> (n = 6) <{Eating, Walking, Lying down, Walking, Eating}> (n = 4)	<{Eating, Lying down}> (n = 7) <{Lying down, Eating, Lying down}> (n = 6) <{Lying down, Preening}> (n = 4) <{Lying down, Eating, Walking, Lying down}> (n = 4)
6th	<{Lying down, Preening}> (n = 9) <{Lying down, Eating, Lying down}> (n = 8) <{Eating, Walking, Lying down}> (n = 4) <{Lying down, Eating}> (n = 5) <{Eating, Lying down}> (n = 7)	<{Lying down, Preening, Lying laterally}> n = (4) <{Lying down, Walking, Eating, Lying down}> (n = 4) <{Lying down, Preening}> (n = 7) <{Lying down, Lying laterally}> (n = 4) <{Lying down, Eating, Lying down}> (n = 5) <{Eating, Lying down }> (n = 7)

n = number of broilers performing the described behavior for the support of 40%.

3.1. The Behavioral Frequency Approach

The 'Preening' behavior showed significant frequency during the 4th week of growth (4.65 ± 2.49 , $p = 0.0001$) and during the 6th week (4.33 ± 2.11 , $p = 0.036$), indicating higher values in the tested condition HS, when compared to TNZ. The 'Lying laterally' behavior was significant during all studied ages (1.65 ± 1.51 , $p = 0.0001$; 2.31 ± 1.79 , $p = 0.0001$; 1.54 ± 1.25 , $p = 0.0001$), suggesting high incidence in the HS condition compared to TNZ. The 'Drinking' behavior was also significant in the 5th week of growth when broilers were exposed to HS compared to those inside a TNZ area (4.08 ± 2.44 , $p = 0.009$) (Table 4).

Means that do not share the same letter (a, b) differ by Tukey test (95% confidence).

When exposed to heat stress, broilers showed a higher frequency of some behaviors concerning TNZ, such as increased water cooler use, bed bath, and lying sideways under the bed, regardless of age. Birds experiencing thermal comfort usually feed regularly since the feeding behavior is the first indicator of bird welfare. In the present study, broilers have increased water consumption in HS and higher feed consumption in TNZ. We found that, during heat stress, broilers were lying on their side at all ages ($p < 0.001$), and this is a behavior related to thermal stress.

3.2. The GSP Algorithm's Approach

Unique behavior patterns were found, which corresponds to the total number of birds remaining in that behavior during the observation period, such as {Eating} and {Lying down}, comprising a unique sequence. These behaviors were observed at both ages and temperatures assessed, ensuring a natural broiler pattern. Some behaviors were not seen because they had less than 40% support, among them 'Foraging' and 'Running' [8].

The most relevant behavior sequences obtained using the GSP algorithm are shown in Table 5. The GSP algorithm's approach indicates that a sequential pattern is characterized by events that occur in a

temporal order and appear with significant frequency in a database. The support chosen was 40% for presenting the percentage of a finite ordered list of elements in the database containing the sequence and representing the most relevant sequential patterns for the proposal. The support value of any sequence reveals how frequent that sequence is.

We were able to differentiate and characterize sequences of behaviors for both temperature limits studied. Activity and feeding behaviors were more characteristic in conditions of thermal comfort, such as the behavioral sequences {Lying down, Walking, Eating}, {Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down}, and {Lying down, Walking, Drinking}, with a frequency above four birds (support 40%). Unlike HS, the birds were more prostrated, shown in the shorter behavioral sequence, such as the pattern {Lying down, Eating}. This scenario indicates that the birds decrease their locomotor activities when under heat stress.

The 'Preening' behavior is considered typical behavior of broilers, as it appears in both ages and treatments, with a primary sequence of {Lying down, Preening}. However, during HS, the behavior sequence {Lying down, Preening, Lying laterally} was more frequent. On the other hand, the sequential behavior {Lying down, Lying laterally} can be characterized to differentiate an apparent situation from thermal discomfort, appearing only at the ages of 28 and 42 days in the situation of 8 °C above the thermoneutrality range.

Behaviors that did not differ between treatments can be explained by the bird not exceeding homeothermy's critical limits and managing to guarantee the desired performance.

4. Discussion

Broilers outside the thermoneutral zone tend to change their behavior, negatively influencing their performance. Because of this, the quick and early diagnosis of problems in the flock is critical [15], and this may be done through the monitoring of the activities and behavior of the broilers. As the assessment of behavioral responses is a non-invasive measure, it can be combined with technologies allowing automated assessment in an efficient and real-time manner [16]. Therefore, data mining is becoming more popular in the poultry industry to analyze the constant and vast data sets generated by the increasing use of sensors in the current poultry industry [18,19,35–38]. Data mining also supports the development of an early warning system for precision livestock systems [11,39,40].

We recommend, in this study, the use of sequential pattern mining to characterize events that happen over time and appear with significant frequency in a database since these patterns can predict a future event based on the previous ones. Based on this assumption, we were able to identify sequences of characteristic behaviors of broilers under thermal stress or not. Ingestive behavior is the first suggestive behavior that the bird demonstrates when it is in an unsuitable environment. Although feeding behaviors were seen at both temperatures (Table 4; Table 5), a difference in the sequential pattern of behavior was observed. Food intake behavior can be an adaptive mechanism in the face of thermal stress, reducing when the ambient temperature increases [41–44]. Drinking behavior was found to be the opposite, with birds increasing their water consumption during exposure to high temperatures [41] in homeostatic response to water loss through evaporation. The sequence patterns

indicate that they remained lying down and only rose in order to drink and eat: {Eating, Lying down} and {Lying down, Eating, Walking, Lying down} (Table 5).

Nevertheless, broilers exposed to thermal stress tended to decrease their locomotor activities in an attempt to reduce the heat generated by movement [45,42]. Shorter sequences of behavior performed at lower frequency occurred under HS. On the contrary, the activity and feeding behaviors were more characteristics under conditions of thermal comfort, with a frequency above four birds: ({Lying down, Walking, Eating}, {Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down}, and {Lying down, Walking, Drinking} (Table 5).

Previous studies show that broilers spend 60 to 80% of their time resting [27,29,40]. However, aging birds decrease their activities, especially their locomotor and floor-scratching activities [30,46] and their rapid growth rate [28]. Nevertheless, both low and high rates of activity behaviors can be detrimental to the welfare of birds [15,47]. Thus, it is vital to ensure that chickens have appropriate activity levels at any age [15,48]. Activity indexes are easily visualized through automated monitoring employing video cameras, demonstrating the importance of work in this area [15,35,37].

The sequential pattern {Lying down, Lying laterally}, which appeared only under thermal stress by heat, proves that, under conditions of thermal stress, the bird uses such behavior to favor the thermal exchange of heat by conduction [49]. Although the 'preening' behavior is considered a comfort behavior [16,38], this behavior showed great frequency during HS. However, it can also be performed in stressful situations, serving as a mechanism to relieve stress [50], such as the sequence observed during HS <{Lying down, Preening, Lying laterally}>, preceding the characteristic behavior of stress that was lying on the side.

Animals modify their behavior in response to changes in the environment, indicating the animal's well-being. Although they can adapt their behavior to variations in the thermal environment, it is not recommended that there be a considerable variation in temperature [51]. Observation of birds' behavior is an indicator of bird welfare, and the greater the repertoire of behaviors performed by birds, the greater the indication that they are in better conditions [48]. Research that optimizes the set of variables is necessary to find solutions that provide adequate welfare levels for broilers [52] to achieve the flock's productive and economic efficiency.

Nowadays, most environmental control in broiler houses relies mainly on temperature monitoring, although there is the possibility of using integrated temperature, relative humidity, and gas sensors for environmental control in broiler housing. The study of broiler behavior sequential patterns might help in environmental control decision-making by integrating behavioral feedback into an environmental control process. Such a combination of knowledge might help to optimize broiler housing environmental control.

Providing faster and more accurate information is essential for current poultry to detect problems early [15,36,38]. Since a broiler's lifetime is limited to 6 weeks on average, ensuring an adequate flock thermal environment and welfare during their lifespan is a critical task. The present study's thermal stress lasted for three days, making it difficult for the bird to adapt in the short term, with no significant changes in the bird's behavior. Future studies can assess thermal stress exposure's

intensity levels to identify meat production losses since countries with tropical and subtropical climates indicate increased heatwave occurrence. Another possibility is that the sequential behavior algorithm might be the basis of the smart environmental control of livestock houses, as Morota et al. [20] suggested when implementing automation in farm animal production. Such an application might be further developed using a visual aid process.

5. Conclusions

Sequential pattern mining can identify temporal relationships between constant thermal stress and broiler behavior close to slaughter. Ingestive and locomotive behaviors are different in terms of comfort or thermal discomfort. The sequential patterns of {Lying down, Walking, Drinking} and {Lying down, Walking, Drinking, Walking, Lying down} are seen in thermoneutral conditions but not HS, in which birds become more prostrated, identified by the length of the {Eating, Lying down} sequences of behavior. Another sequential pattern characteristic of HS is {Lying down, Lying laterally}. Longer sequences are seen in TNZ, indicating that broilers' well-being is optimized.

Author Contributions: The article was part of the Ph.D. thesis of Tatiane Branco under Professor Daniella Jorge de Moura's supervision. The experiment was designed and carried out in the field by T.B. and D.R.K. The data were analyzed by S.R.M.O, T.B, N.D.S.L. and I.D.A.N. The article was written by T.B. and reviewed by I.A.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Coordination of Superior Studies (CAPES) and the National Council for the Scientific and Technological Development (CNPq) grant number 8p-4870/2019.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of UFSM (protocol code 087/2012 and date of approval 06/2013)

Informed Consent Statement: Not applicable

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest

References

1. Nääs, I.D.A.; Romanini, C.E.B.; Salgado, D.D.; Lima, K.A.O.; Vale, M.M.D.; Labigalini, M.R.; de Souza, S.R.L.; Menezes, A.G.; de Moura, D.J. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. *Sci. Agric.* **2010**, *67*, 1–8, doi:10.1590/s0103-90162010000100001.
2. Vale, M.M.D.; de Moura, D.J.; Nääs, I.A.; Curi, T.M.R.C.; Lima, K.A.O. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Eng. Agric.* **2016**, *36*, 271–280, doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n2p271-280/2016.
3. Lay, D.C., Jr.; Fulton, R.M.; Hester, P.Y.; Karcher, D.M.; Kjaer, J.B.; Mench, J.A.; Mullens, B.A.; Newberry, R.C.; Nicol, C.J.; O'Sullivan, N.P.; et al. Hen welfare in different housing systems. *Poult. Sci.* **2011**, *90*, 278–294, doi:10.3382/ps.2010-00962.
4. Lima, K.A.O.; Nääs, I.A.; Moura, D.J.; Garcia, R.G.; Mendes, A.S. Applying multi-criteria analysis to select the most appropriate broiler rearing environment. *Inf. Process. Agric.* **2020**, doi: 10.1016/j.inpa.2020.04.007.
5. Daigle, C.L.; Rodenburg, T.B.; Bolhuis, J.E.; Swanson, J.C.; Siegfors, J.M. Use of dynamic and rewarding environmental enrichment to alleviate feather pecking in non-cage laying hens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2014**, *161*, 75–85, doi: 10.1016/j.applanim.2014.10.001.

6. Schiassi, L.; Yangai, T., Jr.; Ferraz, P.F.P.; Campos, A.T.; Silva, G.R.E.; Abreu, L.H.P. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Eng. Agric.* **2015**, *33*, 390–396, doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n3p390-396/2015.
7. Mortensen, A.K.; Lisouski, P.; Ahrendt, P. Weight prediction of broiler chickens using 3D computer vision. *Comput. Electron. Agric.* **2016**, *123*, 319–326, doi: 10.1016/j.compag.2016.03.011.
8. Branco, T.; Moura, D.J.; Nääs, I.A.; Oliveira, S.R.M. Detection of broiler heat stress by using the generalised sequential pattern algorithm. *Biosyst. Eng.* **2020**, *199*, 121–126, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.10.012.
9. Xin, H.; Shao, J. Real-time assessment of swine thermal comfort by computer vision. In Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Foz do Iguaçu, Brazil, 13–15, March 2002; pp. 362–369.
10. Cordeiro, M.B.; Tinôco, I.F.F.; Filho, R.M.D.M.; de Sousa, F.C. Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. *Eng. Agric.* **2011**, *31*, 418–426, doi:10.1590/S0100-69162011000300002.
11. Van Hertem, T.; Norton, T.; Berckmans, D.; Vranken, E. Predicting broiler gait scores from activity monitoring and flock data. *Biosyst. Eng.* **2018**, *173*, 93–102, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.07.002.
12. Pereira, D.F.; Miyamoto, B.C.B.; Maia, G.D.N.; Sales, G.T.; Magalhães, M.M.; Gates, R.S. Machine vision to identify broiler breeder behavior. *Comput. Electron. Agric.* **2013**, *99*, 194–199, doi: 10.1016/j.compag.2013.09.012.
13. Nicol, C.J.; Caplen, G.; Edgar, J.; Browne, W.J. Associations between welfare indicators and environmental choice in laying hens. *Anim. Behav.* **2009**, *78*, 413–424, doi: 10.1016/j.anbehav.2009.05.016.
14. Edgar, J.L.; Nicol, C.J.; Pugh, C.A.; Paul, E.S. Surface temperature changes in response to handling in domestic chickens. *Physiol. Behav.* **2013**, *119*, 195–200, doi: 10.1016/j.physbeh.2013.06.020.
15. Kristensen, H.H.; Cornou, C. Automatic detection of deviations in activity levels in groups of broiler chickens—A pilot study. *Biosyst. Eng.* **2011**, *109*, 369–376, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2011.05.002.
16. Fraess, G.A.; Bench, C.J.; Tierney, K.B. Automated behavioural response assessment to a feeding event in two heritage chicken breeds. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2016**, *179*, 74–81, doi: 10.1016/j.applanim.2016.03.002.
17. Frost, A.R.; Schofield, C.P.; Beulah, S.A.; Mottram, T.; Lines, J.; Wathes, C.M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Comput. Electron. Agric.* **1997**, *17*, 139–159, doi:10.1016/s0168-1699(96)01301-4.
18. Diez-Olivan, A.; Averós, X.; Sanz, R.; Sierra, B.; Estevez, I. Quantile regression forests-based modeling and environmental indicators for decision support in broiler farming. *Comput. Electron. Agric.* **2019**, *161*, 141–150, doi: 10.1016/j.compag.2018.03.025.
19. Fournel, S.; Rousseau, A.N.; Laberge, B. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. *Biosyst. Eng.* **2017**, *155*, 96–123, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005.
20. Morota, G.; Ventura, R.V.; Silva, F.F.; Koyama, M.; Fernando, S.C. Big Data Analytics and Precision Animal Agriculture Symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture1. *J. Anim. Sci.* **2018**, *96*, 1540–1550, doi:10.1093/jas/sky014.
21. Agrawal, R.; Srikant, R. Mining sequential patterns. In Proceedings of the Eleventh International Conference on Data Engineering, Taipei, Taiwan, 6–10 March 1995; pp. 3–14, doi: 10.1109/ICDE.1995.380415.
22. Höpken, W.; Müller, M.; Fuchs, M.; Lexhagen, M. Flickr data for analysing tourists' spatial behaviour and movement patterns. *J. Hosp. Manage. Tour.* **2020**, *11*, 69–82, doi:10.1108/jhtt-08-2017-0059.
23. Shih, W.-C. Mining Learners' Behavioral Sequential Patterns in a Blockly Visual Programming Educational Game. In Proceedings of the 2017 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA), Seoul, South Korea, 13–15 June 2017; NJ, USA, 2017; pp. 1–2. doi: 10.1109/ICIMSA.2017.7985594.
24. Astuti, T.; Anggraini, L. Analysis of Sequential Book Loan Data Pattern Using Generalized Sequential Pattern (GSP) Algorithm. *IJIS Int. J. Inform. Inf. Syst.* **2019**, *2*, 17–23, doi: 10.47738/ijis.v2i1.10.
25. Hubbard. 2014. Hubbard. Technical Manual. 2014. Available online: <https://www.hubbardbreeders.com/pt/documentation/> (accessed on 27/10/2020).
26. Rostagno, S.R.; Albino, L.F.T.; Donzele, J.L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R.F.; Lopes, S. C.; Ferreira, A.S.; Barreto, S.L.T.; Euclides, R.F. *Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*, 3rd ed.; UFV: Viçosa, Brazil, 2011; p. 252.
27. Weeks, C.A.; Danbury, T.C.; Davies, H.C.; Hunt, P.; Kestin, S.C. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2000**, *67*, 111–125, doi: 10.1016/s0168-1591(99)00102-1.
28. Bokkers, E.A.M.; Koene, P. Behaviour of fast- and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2003**, *81*, 59–72, doi:10.1016/s0168-1591(02)00251-4.
29. Nääs, I.D.A.; Lozano, L.C.M.; Mehdizadeh, S.A.; Garcia, R.G.; Abe, J.M. Paraconsistent logic used for estimating the gait score of broiler chickens. *Biosyst. Eng.* **2018**, *173*, 115–123, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.012.

30. Bizeray, D.; Estevez, I.; Leterrier, C.; Faure, J.M. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. *Poult. Sci.* **2002**, *81*, 767–773, doi:10.1093/ps/81.6.767.
31. Roll, V.F.B.; dai Prá, M.A.; Roll, A.A.P.; Xavier, E.G.; Rossi, P.; Anciuti, M.A.; Rutz, F. Influência da altura de comedouros tubulares no comportamento ingestivo de frangos de corte. *Arch. Zootec.* **2010**, *9*, 115–122. Available online: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-05922010000100012&lng=es&nrm=iso (accessed on 27/04/2020). (In Portuguese).
32. Srikant, R.; Agrawal, R. Mining sequential patterns: Generalizations and performance improvements. In *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency XV*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin/Heidelberg, Germany, 1996; pp. 1–17.
33. Bureva, V.; Sotirova, E.; Chountas, P. Generalized Net of the Process of Sequential Pattern Mining by Generalized Sequential Pattern Algorithm (GSP). In *Advances in Intelligent Systems and Computing*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin/Heidelberg, Germany, 2015; pp. 831–838.
34. Witten, I.H.; Frank, E.; Hall, M.A.; Pal, C. J. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 4th ed.; Morgan Kaufmann: San Francisco, USA, 2016.
35. Youssef, A.; Exadaktylos, V.; Berckmans, D.A. Towards real-time control of chicken activity in a ventilated chamber. *Biosyst. Eng.* **2015**, *135*, 31–43, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2015.04.003.
36. Sassi, N.B.; Averós, X.; Estevez, I. Technology and Poultry Welfare. *Animals* **2016**, *6*, 62, doi:10.3390/ani6100062.
37. Fernández, A.P.; Norton, T.; Tullo, E.; van Hertem, T.; Youssef, A.; Exadaktylos, V.; Vranken, E.; Guarino, M.; Berckmans, D. Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology. *Biosyst. Eng.* **2018**, *173*, 103–114, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.05.008.
38. Li, G.; Hui, X.; Lin, F.; Zhao, Y. Developing and Evaluating Poultry Preening Behavior Detectors via Mask Region-Based Convolutional Neural Network. *Animals* **2020**, *10*, 1762, doi:10.3390/ani10101762.
39. Kashiha, M.; Pluk, A.; Bahr, C.; Vranken, E.; Berckmans, D. Development of an early warning system for a broiler house using computer vision. *Biosyst. Eng.* **2013**, *116*, 36–45, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.06.004.
40. Guo, Y.; Chai, L.; Aggrey, S.E.; Oladeinde, A.; Johnson, J.; Zock, G. A Machine Vision-Based Method for Monitoring Broiler Chicken Floor Distribution. *Sensors* **2020**, *20*, 3179, doi:10.3390/s20113179.
41. Chowdhury, V.S.; Tomonaga, S.; Nishimura, S.; Tabata, S.; Furuse, M. Physiological and Behavioral Responses of Young Chicks to High Ambient Temperature. *J. Poult. Sci.* **2012**, *49*, 212–218, doi:10.2141/jpsa.011071.
42. Li, G.; Zhao, Y.; Chesser, G.D.; Lowe, J.W.; Purswell, J.L. Image Processing for Analyzing Broiler Feeding and Drinking Behaviors. In Proceedings of the 2019 Boston, MA, USA, 7–10 July 2019; American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE): Boston, USA, 2019.
43. Santos, M.M.; Souza-Junior, J.B.F.; Queiroz, J.P.A.F.; Costa, M.K.O.; Lima, H.F.F.; Arruda, A.M.V.; Costa, L.L.M. Broilers' behavioural adjustments when submitted to natural heat stress and fed different maize particle sizes in the diet. *J. Agric. Sci.* **2019**, *157*, 743–748, doi:10.1017/s0021859620000131.
44. Vandana, G.D.; Sejian, V.; Lees, A.M.; Pragna, P.; Silpa, M.V.; Maloney, S.K. Heat stress and poultry production: Impact and amelioration. *Int. J. Biometeorol.* **2021**, *65*, 163–179, doi:10.1007/s00484-020-02023-7.
45. Mariá, G.A.; Escós, J.; Alados, C.L. Complexity of behavioural sequences and their relation to stress conditions in chickens (*Gallus gallus domesticus*): A non-invasive technique to evaluate animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **2004**, *86*, 93–104, doi: 10.1016/j.applanim.2003.11.012.
46. Mack, L.A.; Felver-Gant, J.N.; Dennis, R.L.; Cheng, H.W. Genetic variations alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poult. Sci.* **2013**, *92*, 285–294, doi:10.3382/ps.2012-02589.
47. Rushen, J.; Butterworth, A.; Swanson, J.C. Animal Behavior and Well-Being Symposium: Farm animal welfare assurance: Science and application 1. *J. Anim. Sci.* **2011**, *89*, 1219–1228, doi:10.2527/jas.2010-3589.
48. Zhao, Z.-G.; Li, J.-H.; Li, X.; Bao, J. Effects of Housing Systems on Behaviour, Performance and Welfare of Fast-growing Broilers. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* **2014**, *27*, 140–146, doi:10.5713/ajas.2013.13167.
49. Filho, J.A.D.B.; Silva, I.J.O.; Silva, M.A.N.; Silva, C.J.M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Eng. Agríc.* **2007**, *27*, 93–99, doi:10.1590/s0100-69162007000100002. (In Portuguese).
50. Henson, S.M.; Weldon, L.M.; Hayward, J.L.; Greene, D.J.; Megna, L.C.; Serem, M.C. Coping behaviour as an adaptation to stress: Post-disturbance preening in colonial seabirds. *J. Biol. Dyn.* **2012**, *6*, 17–37, doi:10.1080/17513758.2011.605913.
51. Quinteiro-Filho, W.M.; Ribeiro, A.; Ferraz-De-Paula, V.; Pinheiro, M.L.; Sakai, M.; Sá, L.R.M.; Ferreira, A.J.P.; Palermo-Neto, J. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poult. Sci.* **2010**, *89*, 1905–1914, doi:10.3382/ps.2010-00812.
52. Dawkins, M.S. Animal welfare and efficient farming: Is conflict inevitable? *Anim. Prod. Sci.* **2016**, *57*, 201, doi:10.1071/an15383.

CAPÍTULO IV:

DISCUSSÃO GERAL

O estresse térmico influencia negativamente na produtividade e bem-estar de frangos de corte. O comportamento de frangos de corte pode nos fornecer um indicador de bem-estar em tempo real, frente ao ambiente em que a ave se encontra no momento. A importância de aliar parâmetros comportamentais ao uso de técnicas automatizadas é devido à tomada de decisão com maior grau de certeza e maior precisão. A utilização da técnica de mineração de padrão sequencial aplicada a um conjunto de dados de comportamento de frangos de corte conseguiu nos fornecer padrões sequenciais de comportamento específicos em condições de diferentes temperaturas.

Este capítulo tem como objetivo a discussão geral sobre a aplicação da mineração de padrão sequencial no comportamento de frangos de corte submetidos a estresse térmico em diferentes idades de criação; o que englobará a discussão dos artigos aqui apresentados.

DISCUSSÃO GERAL:

Estresse térmico, comportamento animal e mineração de padrão sequencial

Este trabalho envolveu o uso de análise de imagens e avaliação por meio da mineração de padrão sequencial. Foi proposto analisar um banco de dados de comportamento de frangos de corte em sequência na fase inicial de criação (21 e 28 dias de idade) em situação de estresse térmico por frio e por calor e na fase final de criação (28, 35 e 42 dias de idade) em situação de estresse térmico por calor constante.

O objetivo das análises de padrões sequenciais de comportamento foi identificar e avaliar as mudanças comportamentais em ambientes estressores à ave. E, assim, conseguirmos avaliar o bem-estar de frangos de corte, pois, quanto maior o repertório de comportamentos, melhor o indicativo de bem-estar das aves. Ou seja, quanto maior o tamanho da sequência de comportamentos, há uma tendência de a ave estar em melhores condições de criação.

O comportamento é facilmente monitorado, sendo possível identificar e quantificar o bem-estar animal, já que as alterações comportamentais podem ocorrer rapidamente e a menor custo metabólico do que os ajustes fisiológicos (PEREIRA et al., 2007). O controle do ambiente é realizado de forma a propor uma temperatura adequada para que a genética da ave seja potencializada. Temperaturas fora da zona de termoneutralidade causam prejuízos produtivos e diminuem o bem-estar da ave. Conseguimos identificar comportamentos alterados para idades analisadas em estresse térmico (Artigo 1 e Artigo 2).

As aves em estresse por frio permaneceram mais agrupadas e sem muita atividade (Artigo 1); observadas por sequências curtas e basicamente relacionadas a comportamentos de ingestão ({Comer, Deitar} e {Deitar, Andar, Comer}). O mesmo ocorreu para estresse térmico por calor. Sequências longas, ao contrário, são características de termoneutralidade ({Deitar, Limpar penas, Andar, Beber}, {Deitar, Andar, Comer, Deitar} e {Comer, Deitar, Comer, Andar, Beber}), o que é o ideal do ponto de vista de bem-estar animal; ocorrendo em todas as idades avaliadas (Artigo 1 e Artigo 2). Com isso, conseguimos prever um maior grau de bem-estar na condição de termoneutralidade, confirmado pelo tamanho dos comportamentos nas sequências.

Uma sequência de comportamento característica que ocorreu somente em aves que foram submetidas a 8°C acima da termoneutralidade, foi de {Banho de cama, Deitar lateralmente, Andar, Comer}, na 4ª semana de idade da ave (Artigo 1). Assim como o padrão sequencial {Deitar, Deitar lateralmente} foi característico para o estresse por calor na fase final de criação de frangos de corte (Artigo 2). Pode-se observar dois comportamentos que, se

analisados separadamente, são um indicativo de estresse por calor, uma vez que a ave tende a se deitar lateralmente, esticando as pernas para favorecer a troca de calor por condução; o mesmo princípio do banho de cama (PEREIRA et al., 2007; SYAFWAN et al., 2012).

Através da abordagem do uso do algoritmo GSP, conseguimos caracterizar eventos de padrões comportamentais que aparecem com frequência no banco de dados em análise e identificamos comportamentos que são considerados característicos de estresse térmico através de sequências curtas de comportamentos. Quanto menor o repertório de comportamentos, menor o indicativo de bem-estar de frangos de corte (ZHAO et al., 2014).

Atualmente, o controle ambiental em grande parte dos aviários depende do monitoramento da temperatura e umidade. O estudo de padrões sequenciais de comportamento de frangos de corte pode ajudar na tomada de decisão de controle ambiental, integrando o *feedback* comportamental em um processo de controle ambiental. Tal combinação de conhecimento pode ajudar a otimizar o controle ambiental no alojamento de frangos de corte.

Pesquisas que otimizem um conjunto de variáveis são necessárias para encontrar soluções que proporcionem níveis adequados de bem-estar aos frangos de corte (DAWKINS et al., 2016) para atingir a eficiência produtiva e econômica do rebanho; além do mais, o fornecimento de informações mais rápidas e precisas é essencial para que consigamos detectar os problemas precocemente. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico empregado que oferece detecção automatizada e contínua do comportamento de aves, a manutenção dos níveis adequados de bem-estar é facilitada (LIU et al., 2020). Nesse viés, a utilização do algoritmo GSP demonstrou tendências de diferenças sequenciais de comportamento para determinadas idades e temperaturas ambientais e, futuramente, podem ser incorporadas em sistemas inteligentes de gerenciamento de aviários.

Pesquisas futuras podem validar em escala industrial o uso de padrões sequenciais de comportamento para estimar o bem-estar de frangos de corte. Além de poder propor um modelo de controle ambiental baseado em sequencias comportamentais de frangos de corte como o principal indicador no gerenciamento de controladores ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de mineração de padrões sequenciais, proposto neste trabalho, é uma técnica que permitiu a previsão e a identificação das relações temporais entre o estresse térmico e o consequente comportamento de frangos de corte.

O bem-estar de frangos de corte pode ser estimado por meio do comprimento das sequências de comportamento; em que frangos de corte expostos a temperaturas 8°C, tanto acima como abaixo das condições termoneutras, tendem a diminuir as atividades locomotoras, apresentando menor sequências comportamentais e, consequentemente, menor o estado de bem-estar de frangos de corte.

Comportamentos que são considerados característicos de estresse térmico somente apareceram nos padrões comportamentais sequenciais de frangos em estresse por calor constante; confirmando que o algoritmo GSP é útil na identificação do comportamento sequencial de frangos de corte.

Concluimos que o algoritmo GSP é capaz de identificar relações temporais entre estresse térmico e comportamento de frangos de corte, reafirmando a necessidade de mais estudos sobre o uso de sequências temporais de comportamento para aliar a resposta animal aos controladores ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL). Relatório Anual. 2020 Disponível em: <http://abpa-br.org/relatorios/> >. Data de acesso: 27/04/2020.

AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. Mining sequential patterns. In Proceedings of the 11th international conference on data engineering, p.3-14, 1995.
<https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICDE.1995.380415>.

ASTUTI, T.; ANGGRAINI, L. Analysis of sequential book loan data pattern using generalized sequential pattern (GSP) algorithm. **Int. J. Inf. Syst.**, v.2, n.1, p.17-23, 2019.
<http://ijjis.org/index.php/IJIS/article/view/10>.

BANHAZI, T.M.; BLACK, J.L. Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. **Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering**, v.7, n.1, p.1-14, set., 2009.
<https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.D.; NÄÄS, I.A.; LIMA, N.D.S; KLEIN, D.R.; OLIVEIRA, S.R.D.M. The Sequential Behavior Pattern Analysis of Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. **AgriEngineering**, v.3, p.447-457, jun., 2021.
<https://doi.org/10.3390/agriengineering3030030>.

BRANCO, T.; MOURA, D.J.; NÄÄS, I. A.; OLIVEIRA, S.R.M. Detection of broiler heat stress by using the generalised sequential pattern algorithm. **Biosystems Engineering**, v.199, p.121-126, out., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.012>.

DAWKINS, M. S. Animal welfare and efficient farming: is conflict inevitable? **Animal Production Science**, v.57, n.2, p.201–208, jun., 2016. <https://doi.org/10.1071/AN15383>.

DIEZ-OLIVAN, A.; AVERÓS, X.; SANZ, R, SIERRA, R.; ESTEVEZ, I. Quantile regression forests-based modeling and environmental indicators for decision support in broiler farming. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.161, p.141-150, jun., 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.025>.

FARAG, M.R.; ALAGAWANY, M. Physiological alterations of poultry to the high environmental temperature. **Journal of Thermal Biology**, v.76, p.101-105, aug., 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.012>.

FAYYAD, U.; STOLORZ, P. Data mining and KDD: promise and challenges. **Future Generation Computer Systems**, v.13, p.99-115, nov., 1997. [https://doi.org/10.1016/S0167-739X\(97\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0167-739X(97)00015-0).

FERNANDEZ, A. P.; NORTON, T.; TULLO, E.; van HERTEM, T.; YOUSSEF, A.; EXADAKTYLOS, V.; VRANKEN, E.; GUARINO, M.; BERCKMANS, D. Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology. **Biosystems**

Engineering, v.173, p.103-114, set., 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.05.008>.

FOURNEL, S.; ROUSSEAU, A.N.; LABERGE, B. Rethinking environment control strategy of confined animal housing systems through precision livestock farming. **Biosystems Engineering**, v.155, p.97-123, mar., 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.005>.

GONZALEZ-RIVAS, P.; CHAUHAN, S.S.; HA, M.; FEGAN, N.; DUNSHEA, F.A R.; WARNER, D. Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. **Meat Science**, v.162, n.108025, abr., 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers, 3 ed, San Francisco, CA, USA, 2011.

HENCHION, M.; MCCARTHEY, M.; RESCONI, V. C.; TROY, D. Meat consumption: Trends and quality matters. **Meat Science**, v.98, n.3, p.561-568, nov., 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.007>.

KASHIHA, M.; PLUK, A.; BARH, C.; VRANKEN, E.; BERCKMANS, D. Development of an early warning system for a broiler house using computer vision. **Biosystems Engineering**, v.166, n.1, p.36-45, set., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.004>.

KRISTENSEN, H.H.; CORNOU, C. Automatic detection of deviations in activity levels in groups of broiler chickens e a pilot study. **Biosystems Engineering**, v.109, n.4, p.369-376, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.002>.

LARA, L.J.; ROSTAGNO, M.H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v.3, n.2, p.356-369, abr., 2013. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>.

LAY JR., FULTON, R. M.; HESTER, P. Y.; KARCHER, D. M.; KJAER, J. B.; MENCH, J. A.; MULLENS, B. A.; NEWBERRY, R. C.; NICOL, C. J.; O'SULLIVAN, N. P.; PORTER, R. E. Hen welfare in different housing systems. **Poultry Science**, v.90, n.1, p.278-294, jan., 2011. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00962>

LIMA, K.A.; NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; GARCIA, R.G.; MENDES, A.S. Applying multi-criteria analysis to select the most appropriate broiler rearing environment. **Information Processing in Agriculture**, In Press, mai., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.04.007>.

LIU, L.; REN, M.; REN, K.; JIN, Y.; YAN, M. Heat stress impacts on broiler performance: a systematic review and meta-analysis. **Poultry Science**, v.99, n.11, p.6205-6211, nov., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.019>.

MANNING, L., SHADD, S. A.; BAINES, R. N. Key health and welfare indicators for broiler production. **World's Poultry Science Journal**, v.63, n.1, p.46-62, mar., 2007. DOI: [10.1017/S0043933907001262](https://doi.org/10.1017/S0043933907001262)

MOGH DAM, E.K.; SHARIFI, M.; RAFIEE, S.; SORESENSEN, C.A.G. Broiler management using fuzzy multi-objective genetic algorithm: A case study. **Livestock Science**, v.233, n.103941, mar., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.103941>.

MOROTA, G.; VENTURA, R.V.; SILVA, F.F.; KOYAMA, M.; SAMODHA, F.C. Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. **Journal of Animal Science**, v.96, n.4, p.1540-1550, mar., 2018. <https://doi.org/10.1093/jas/sky014>.

MOURA, D.J.; BUENO, L.G.L.; LIMA, K.A.O.; CARVALHO, T.M.R.; MAIA, A.P.A. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, Sup. Especial, p.311-316, jul., 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300034>.

NÄÄS, I.A.; ROMANINI, C.E.B.; NEVES, D.P.; NASCIMENTO, G.R.; VERCELLINO, R.A. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, v.67, n.5, p.497-502, set./out., 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500001>.

NAWAB, A.; IBTISHAM, F.; LI, G.; KIESER, B.; WU, J.; LIU, W.; ZHAO, Y.; NAWAB, Y.; LI, K.; XIAO, M.; UM, L. Heat stress in poultry production; Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. **Journal of Thermal Biology**, v.78, p.131-139, dez., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.010>.

OKINDA, C.; NYALALA, I.; KOROHO, T.; OKINDA, C.; WANG, J.; ACHIENG, T.; WAMALWA, P.; MANG, T.; SHEN, M. A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v.4, p.184-208, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.09.002>

PEREIRA, D.F.; NÄÄS, I.A.; SALGADO, D.A.; GASPAR, C.R.; BIGHI, C.A.; PENHA, N.L.J. Correlations among behavior, performance and environment in broiler breeders using multivariate analysis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.9, n.4, p.207-213, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000400001>.

ROJANO, F.; BOURNET, P.-E.; HASSOUNA, M.; ROBIN, P.; KACIRA, M.; CHOI, C.Y. Computational modelling of thermal and humidity gradients for a naturally ventilated poultry house. **Biosystems Engineering**, v.151, p.273-285, nov., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.09.012>.

SAEED, M.; ABBAS, G.; ALAGAWANY, M.; KAMBOH, A.A.; EL-HACK, M.E.A.; KHAFAGA, A.F.; CHAO, S. Heat stress management in poultry farms: A comprehensive overview. **Journal of Thermal Biology**, v.84, p.414-425, aug., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.07.025>.

SCANES, C.J. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. **Poultry Science**, v.95, n.9, p.2208-2215, set., 2016. <https://doi.org/10.3382/ps/pew137>.

SHIH, W. Mining learners' behavioral sequential patterns in a blockly visual programming educational game. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA), pp.1-2, 2017. <https://doi.org/10.1109/ICIMSA.2017.7985594>.

SONG, D.J.; KING, A.J. Effects of heat stress on broiler meat quality. **World's Poultry Science Journal**, v.71, n.4, p.701-70, set., 2015. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002421>.

ST-PIERRE, N.R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal Dairy Science**, v.86, Sup. Especial, p.52-57, Jun., 2003. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5).

SYAFWAN, S.; WERMINK, G.J.D.; KWAKKEL, R.P.; VERSTEGEN, M.W.A. Dietary self-selection by broilers at normal and high temperature changes feed intake behavior, nutrient intake, and performance. **Poultry Science**, v.91, n.3, p.537-549, mar., 2012. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01559>.

VAN HERTEM, T.; NORTON, T.; BERCKMANS, D.; VRANKEN, E. Predicting broiler gait scores from activity monitoring and flock data. **Biosystems Engineering**, v.173, p.93-102, set., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.002>.

WANG, Y.; SAELAO, P.; CHANTHVIXAY, K.; GALLARDO, R.; BUNN, D.; LAMONT, S.J.; DEKKERS, J.M.; KELLY, T. ZHOU, H. Physiological responses to heat stress in two genetically distinct chicken inbred lines. **Poultry Science**, v.97, n.3, p.770-780, mar., 2018. <https://doi.org/10.3382/ps/pex363>.

WOLFRAM, H. Flickr data for analysing tourists' spatial behaviour and movement patterns **Journal of Hospitality and Tourism Technology**, v.11, n.1, p.69-82, 2020. <https://doi.org/10.1108/JHTT-08-2017-0059>.

WRIGHT, A.P.; WRIGHT, A.T.; MCCOY, A.B.; SITTIG, D.F. The use of sequential pattern mining to predict next prescribed medications. **Journal of Biomedical Informatics**, v.53, p.73-80, fev., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2014.09.003>.

YANG, G.; HUANG, J.; LI, X. Mining sequential patterns of PM2.5 pollution in three zones in China. **Journal of Cleaner Production**, v.170, p.388- 398, jan., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.162>.

ZHAO, Z.; LI, J.; BAO, J. Effects of Housing Systems on Behaviour, Performance and Welfare of Fast-growing Broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)**, v.27, n.1, p.140-146, jun., 2014. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13167>.