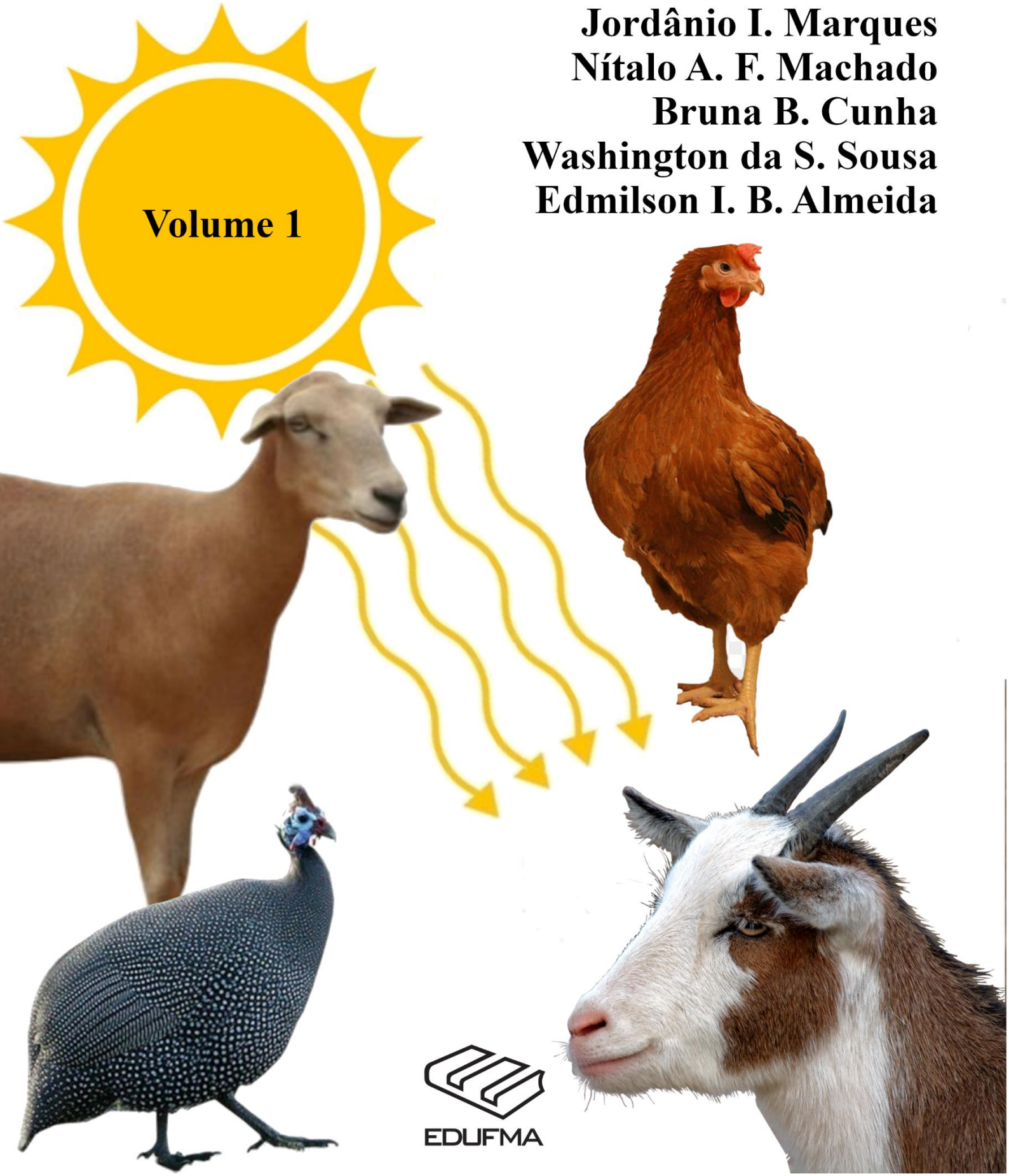


Pesquisas em Ambiência Animal

Jordânio I. Marques
Nítalo A. F. Machado
Bruna B. Cunha
Washington da S. Sousa
Edmilson I. B. Almeida

Volume 1



EDLIFMA

Organizadores

Jordânio Inácio Marques

Nítalo André Farias Machado

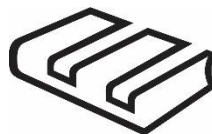
Bruna Bezerra Cunha

Washington da Silva Sousa

Edmilson Igor Bernardo Almeida

Pesquisas em ambiência animal

São Luís



EDUFMA

2022

Copyright © 2022 by EDUFMA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Natalino Salgado Filho
Reitor

Prof. Dr. Marcos Fábio Belo Matos
Vice-Reitor

EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Prof. Dr. Sanatiel de Jesus Pereira
Diretor

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Luís Henrique Serra
Prof. Dr. Elídio Armando Exposto Guarçoni
Prof. Dr. André da Silva Freires
Prof. Dr. Jadir Machado Lessa
Profª. Dra. Diana Rocha da Silva
Profª. Dra. Gisélia Brito dos Santos
Prof. Dr. Marcus Túlio Borowiski Lavarda
Prof. Dr. Marcos Nicolau Santos da Silva
Prof. Dr. Márcio James Soares Guimarães
Profª. Dra. Rosane Cláudia Rodrigues
Prof. Dr. João Batista Garcia
Prof. Dr. Flávio Luiz de Castro Freitas
Bibliotecária Suênia Oliveira Mendes
Prof. Dr. José Ribamar Ferreira Junior

Revisão

Pedagoga Bruna Bezerra Cunha

Projeto Gráfico

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pesquisas em ambiência animal./ Organizadores: Jordânio Inácio Marques...[et al.].— São Luís, EDUFMA, 2022.

160 p.:il.
ISBN: 978-65-5363-084-0

1. Ambiência animal. 2 Fisiologia animal. I. Machado, Nítalo André Farias. II. Cunha, Bruna Bezerra. III. Sousa, Washington da Silva. IV. Almeida, Edmilson Igor Bernardo.

CDD 59
CDU 591.1

Elaborada por Anna Caroline C. Mendes – Bibliotecária CRB-13/793

Impresso no Brasil [2019]

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotocópia, microimagem, gravação ou outro, sem permissão do autor.

EDUFMA | Editora da UFMA

Av. dos Portugueses, 1966 – Vila Bacanga

CEP: 65080-805 | São Luís | MA | Brasil

Telefone: (98) 3272-8157

www.edufma.ufma.br | edufma@ufma.br

SUMÁRIO

Capítulo 1

MODELAGEM FUZZY DAS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE DESEMPENHO DE OVINOS SOB ESTRESSE TÉRMICO E SALINO..... 5

Capítulo 2

APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA A ESTIMATIVA DA TEMPERATURA RETAL DE CAPRINOS 19

Capítulo 3

RESPOSTAS PUPILARES DE GALINHAS D'ANGOLA SUBMETIDAS À DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS..... 31

Capítulo 4

TROCAS TÉRMICAS DE CAPRINOS SUBMETIDOS À DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS..... 40

Capítulo 5

TROCAS TÉRMICAS E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE GALINHAS-D'ANGOLA (NUMIDIA MELEAGRIS) SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR..... 61

Capítulo 6

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TROCAS TÉRMICAS DE FRANGOS CAIPIRAS SUBMETIDOS A DIFERENTES DENSIDADES E NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA..... 81

Capítulo 7

TERMOGRAFIA APLICADA NO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL CORPÓREA DE ANIMAIS 100

Capítulo 8

MODELAGEM PARAMÉTRICA DAS VARIÁVEIS DE DESEMPENHO PRODUTIVO E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE OVINOS SUBMETIDOS À DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS..... 114

Capítulo 9

ANÁLISE PUPILAR PARA O MONITORAMENTO DE ESTRESSE TÉRMICO EM CAPRINOS 129

Capítulo 10

EFEITO DO TEMPO DE TRANSPORTE NO BEM-ESTAR DE LEITÕES..... 149

MODELAGEM FUZZY DAS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E DE DESEMPENHO DE OVINOS SOB ESTRESSE TÉRMICO E SALINO

Patrício Gomes Leite¹

Bruna Bezerra Cunha²

Washington da Silva Sousa¹

Jordânio Inácio Marques¹

Dermeval Araújo Furtado³

Nítalo André Farias Machado¹

RESUMO

O semiárido nordestino é caracterizado por apresentar elevadas temperaturas do ar e possuírem reservas de água com concentrações salinas diversificadas. Esses fatores podem ser limitantes quanto à produtividade na criação de ovinos, sobretudo para a raça Morada Nova. Com base nesse pressuposto, este trabalho objetivou apresentar um modelo *fuzzy*, para a predição do desempenho produtivo e respostas fisiológicas de ovinos da raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas do ar e consumindo água com crescentes níveis de salinidade. O modelo desenvolvido teve, como variáveis de entrada: a temperatura do ar (TA, °C) e o nível salino da água (NS, dS/m), sendo que as variáveis de saída consideradas foram: consumo de água (CA, kg), consumo de ração (CR, kg), frequência respiratória (FR, mov/min), frequência cardíaca (bat/min), temperatura superficial (TS, °C) e temperatura retal (TR, °C). Com base na comparação entre os resultados gerados pelo modelo e os experimentais, obtiveram-se coeficientes de determinação (R²) na ordem de 0,98; 0,95; 0,96; 0,95; 0,89 e 0,97, para CA, CR, FR, FC TS e TR, respectivamente. Concluindo-se assim que a modelagem *fuzzy*, mostrou-se uma ferramenta confiável na mensuração das condições fisiológicas e produtivas dos ovinos Morada Nova, quando submetidos a condições de estresse térmico e consumindo água com diferentes níveis de salinidade.

PALAVRAS-CHAVE: águas salinas, conforto térmico, lógica *fuzzy*, lógica nebulosa

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

A ovinocultura nacional é vista atualmente como uma das mais rentáveis e promissoras atividades pecuárias, especialmente na região Nordeste, onde o ambiente semiárido predomina e estes pequenos ruminantes representam uma importante atividade geradora de renda, especialmente para os pequenos produtores (Silva et al., 2016). A interação do animal com o ambiente deve ser considerada quando se busca maior produtividade, sendo as diferentes respostas do animal às peculiaridades da região que determinam o sucesso da atividade (Costa et al., 2012). Cada espécie animal possui uma faixa de temperatura de conforto ou zona termoneutra, definida como a faixa de temperatura em que a produção é ótima e o gasto de energia para termorregulação é mínimo (Oliveira et al., 2013).

Segundo Oliveira et al. (2013) a adaptabilidade dos animais homeotérmicos (como é o caso dos ovinos) às condições de estresse térmico pode ser mensurada por meio da observação de algumas respostas fisiológicas e de produção, por meio da verificação da temperatura retal, frequência respiratória e ganho de peso, como forma de estimar esta tolerância. Através do acompanhamento dessas respostas fisiológicas é possível inferir a condição do animal em relação ao ambiente e como seu organismo modula respostas para adequar o metabolismo a condição de estresse (Figueiredo et al., 2013). Nas regiões semiáridas os mecanismos fisiológicos são evocados frequentemente pelos ovinos como forma de dissipação de calor (Lima et al., 2014).

Além da preocupação referente à adaptabilidade dos animais ao clima quando se trata da criação de ovinos nas regiões semiáridas, os produtores necessitam observar outros fatores limitantes à produção como, por exemplo, a escassez e qualidade de água potável para consumo humano e animal. Um dos principais fatores que afetam a qualidade das águas nas regiões semiáridas e áridas é a alta concentração de sais, ou seja, a quantidade de sais dissolvidos totais (TDS) torna estas águas impróprias para o consumo humano podendo ser utilizada para a dessedentação animal, em períodos de estiagem prolongada, sendo de fundamental importância o conhecimento da tolerância máxima de sais que os animais podem suportar sem o comprometimento do rebanho (Moura et al., 2016). Com isso, as condições de estresse térmico e salino não podem ser tratadas separadamente, e sim a interação entre estes fatores e o quanto esta associação pode influenciar na produção desses animais.

A estimativa do conforto térmico dos animais, considerando todas as possíveis associações críticas do ambiente de produção e da água de consumo, é um problema em que a aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy* se mostra promissora, podendo-se trabalhar com a interação de grandes quantidades de informações necessárias para descrever as condições dos animais, gerando respostas precisas do quanto esses fatores estão influenciando na fisiologia e produção dos animais.

A aplicação de metodologias utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy* tem sido utilizada em várias áreas, como conforto animal (Marques et al., 2016), desempenho produtivo de frangos de corte (Ponciano et al., 2012), previsão de incidência de radiação solar (Chen et al., 2013), avaliação e previsão da qualidade do ar (Assimakopoulos et al., 2013) e ainda, respostas fisiológicas de vacas Holandesas (Julio et al., 2015).

As contribuições deste trabalho frente ao estado da arte são: Metodologia para predição de parâmetros fisiológicos e desempenho produtivo de ovinos pelo método de inferência *fuzzy* e a descrição detalhada do método quando aplicado no desenvolvimento de conhecimentos visando maior entendimento das respostas dos animais frente a condições estressantes, elevando-se assim a eficiência na tomada de decisão dos produtores quanto a escolha das técnicas de criação desses animais a serem implementadas.

Diante disso, este trabalho objetivou apresentar um modelo *fuzzy*, para a predição do desempenho produtivo e das respostas fisiológicas de ovinos da Raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas do ar e consumindo água com crescentes níveis de salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara climática nas dependências do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência (LaCRA) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *campus* de Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" de latitude Sul, 35° 52' 54" de longitude Oeste). Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram previamente aprovados pela Comissão de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP n° 284-2015.

Foram utilizados 18 animais da raça Morada Nova, todas fêmeas, com idade média de 10 meses e pesando em torno de 25±3 kg cada, sendo estes animais avaliados

em duas fases experimentais cada uma com 9 animais, em função da capacidade da câmara climática.

Os animais foram alojados em baias individuais (Figura 1A) dispostas no interior de uma câmara climática (Figura 1B) que possui 17,0 m² de área construída com 2,6 m de pé-direito, em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 2 (temperaturas do ar) x 3 (níveis de salinidade) com seis repetições (animais), considerando-se as duas fases experimentais. Os dezoito animais foram submetidos às duas condições de temperatura do ar que foram determinadas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para ovinos, mencionada por Baeta & Souza (2010) que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%, adotando-se assim: T1 = 26 °C (zona de conforto térmico) e T2 = 32 °C (acima da zona de conforto) com umidade relativa do ar e velocidade do vento constantes de 60% e 1 m/s, respectivamente. Os três níveis de salinidade experimentados foram: 1200, 4800 e 7200 mg/L, correspondendo às condutividades elétricas da água de 3,0; 6,0 e 9,0 dS/m, respectivamente.

As soluções salinas foram confeccionadas em caixa d'água de 200 litros, adicionando-se cloreto de sódio sem iodo à água proveniente da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), até se alcançar a condutividade elétrica desejada. Diariamente, foram realizadas leituras das condutividades da água de cada tratamento com um condutivímetro digital portátil, sendo realizadas correções nos níveis de sais quando necessário.

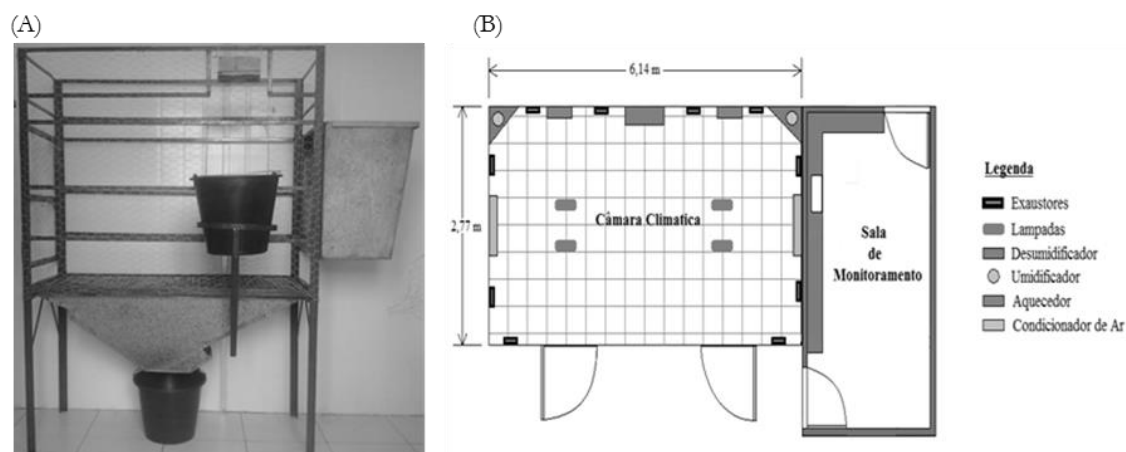


Figura 1. (A) Baia para o alojamento dos animais; e (B) Ilustração da câmara climática para simulação das condições ambientais.

Em cada etapa experimental, os animais foram submetidos às duas temperaturas-teste e aos três níveis crescentes de sais sendo que, para cada temperatura, foi adotado

um período de 5 dias de adaptação ao ambiente controlado, manejo e alimentação e 10 dias de coleta de dados, desta forma, cada etapa teve duração de 30 dias, totalizando-se um período experimental total de 60 dias.

Em cada etapa de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um programa de 10/14 h (temperatura controlada/temperatura ambiente). Este procedimento visava submeter os animais a cada temperatura experimental por um período diário de 10 h contínuas. O preparo diário da câmara para o experimento consistia em ligá-la às 06:00 h da manhã, permitindo um tempo de 1 h para estabilização da temperatura interna. Após essa estabilização (07:00 h da manhã), iniciava-se de fato o período de 10 h em temperatura experimental, permanecendo os animais com a câmara fechada até às 17:00 h, onde, a partir deste momento, a câmara era desligada e aberta para que fosse iniciado o período de 14 h contínuas em temperatura ambiente.

A ração e a água foram fornecidas *ad libitum*. A dieta utilizada no experimento foi comum a todos os tratamentos, sendo constituída por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 55,0% do volume total da ração, farelo de milho (25,0%), farelo de soja (18,0%) e sal mineral (2,0%), com base de matéria seca que pode proporcionar ganhos de até 200 g dia⁻¹ de peso vivo por animal, conforme indica a NRC (2007). A ração foi fornecida duas vezes por dia, às 06:00 e 17:00 h. A quantidade de ração oferecida foi calculada baseando-se no consumo do dia anterior, sendo a quantidade consumida mais uma porcentagem de 15% de sobras. Já os bebedouros eram abastecidos diariamente às 06:00 h da manhã.

A iluminação do interior da câmara foi feita com lâmpadas fluorescentes, que permaneceram acesas das 06:00 às 17:00 h. Para o resfriamento e aquecimento da câmara, foram utilizados dois condicionadores de ar do tipo SPLIT com capacidade de 18.000 Btus, e dois aquecedores. A umidade relativa do ar foi controlada utilizando-se umidificadores e a velocidade do vento através de ventiladores e exaustores laterais. Para a aquisição, controle, monitoramento e visualização das condições climáticas no interior da câmara foi utilizado um controlador do tipo MT-530 PLUS da *Full Gauge Controls*[®] associado ao software livre *SITRAD*[®].

Como respostas do desempenho produtivo dos animais foram coletados dados de Consumo de Ração (CR) e Consumo de Água (CA). O consumo da ração dos animais foi obtido pela diferença entre a quantidade de ração que era ofertada e as sobras dos comedouros, sendo quantificado nos mesmos horários de oferta da ração (06:00 e 17:00

h). O consumo de água foi contabilizado a partir da pesagem da água fornecida menos a massa das sobras nos bebedouros, sempre no horário das 06:00 h da manhã.

Além das respostas produtivas, foram coletados dados de frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR). Essas variáveis foram coletadas a cada três dias em cada temperatura testada, sendo sempre coletadas no período da manhã (1 h após a estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara, com o intuito de evitar interferências e ruídos na observação dos dados).

A frequência respiratória foi obtida por meio da contagem direta dos movimentos do flanco durante o período de 20 s, realizando-se a extrapolação para um minuto (mov/min). O procedimento para obtenção da frequência cardíaca foi com o auxílio de um estetoscópio flexível, posicionado diretamente sobre a região torácica esquerda na altura aproximada do arco aórtico, contando-se o número de movimentos durante 20 s, sendo o valor coletado multiplicado por três para determinação da frequência cardíaca em bat/min

A temperatura superficial foi obtida através da média aritmética das temperaturas da frente, do pescoço, do lombo, do costado, do ventre e da canela com auxílio de um termômetro de infravermelho digital, conforme Lucena et al. (2013). A temperatura retal foi determinada através da introdução de um termômetro clínico veterinário introduzido diretamente no reto do animal (a uma profundidade de 2 cm) com o bulbo junto à mucosa, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura.

Para a elaboração dos modelos *fuzzy* foi utilizado o software *Matlab*[®], sendo definidas como variáveis de entrada, a Temperatura do Ar (TA) e os Níveis de Salinidade (NS). Com base nas variáveis de entrada e se utilizando como referência os dados experimentais, os modelos *fuzzy* tiveram como variáveis de saída: o Consumo de Água (kg), Consumo de Ração (kg), Frequência Respiratória (mov/min), Frequência Cardíaca (bat/min), Temperatura Superficial (°C) e Temperatura Retal (bat/min).

Para a montagem do sistema de inferência *fuzzy*, os dados de temperatura do ar e salinidade da água que foram obtidos experimentalmente, foram representados por curvas de pertinência do tipo triangular (Figura 2A e 2B), que ficaram definidos como TA26 e TA32 para as curvas de temperatura do ar e NS3, NS6 e NS9, que correspondem as faixas de salinidade da água experimentadas. Na Figura 2C a 2F estão representadas as funções de pertinências triangulares para as variáveis de saída: Consumo de Água (CA1 a CA4, kg), Consumo de Ração (CR1 a CR4, kg), Frequência

Respiratória (FR1 a FR4, mov/min), Frequência Cardíaca (FC1 a FC5, bat/min), Temperatura Superficial (TS1 a TS4, °C) e Temperatura Retal (TR1 a TR3, °C).

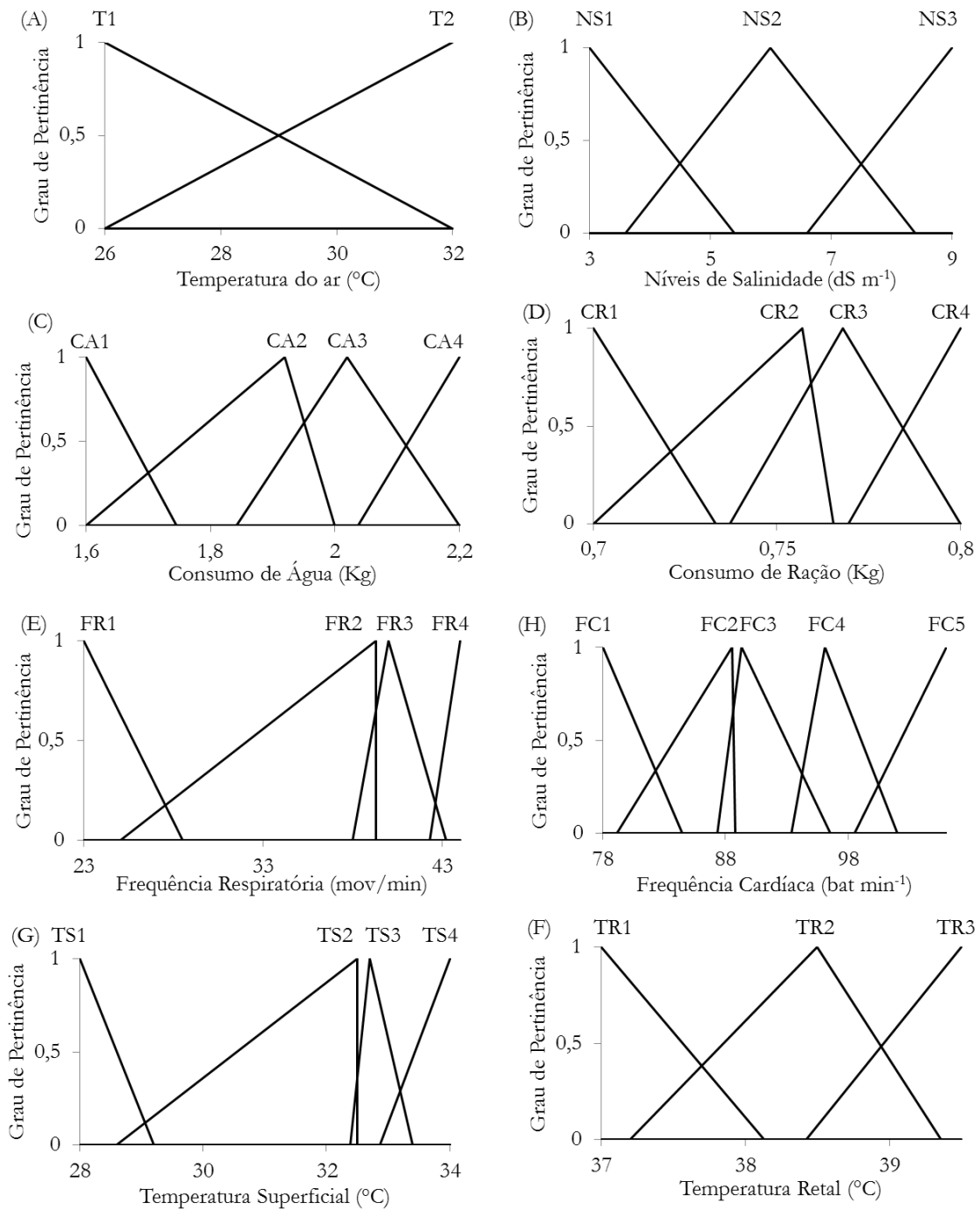


Figura 2. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (A) TA (°C) e (B) NS (dS/m); e Funções de pertinência para as variáveis de saída: (C) CA (Kg); (D) CR (Kg); (E) FR (mov/min); (F) FC (bat/min) (G) TS (°C); e (H)TR (°C).

Para a modelagem dos dados utilizou-se o método de inferência de Mamdani, como proposto por Han-Xiong li & Gatland (1996) e também utilizado por Schiassi et

al. (2015) e Marques et al. (2016), que gera como resposta um conjunto *fuzzy* originado da interação dos valores de entrada com seus respectivos graus de pertinência através do operador mínimo e, em seguida, pela superposição das regras através do operador máximo. A defuzzificação foi feita utilizando-se o método do centro de gravidade (Centróide ou Centro de Área) que considera todas as possibilidades de saída transformando o número *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (Leite et al., 2010).

Com a combinação dos intervalos *fuzzy* de entrada e saída, foram definidas 6 regras para a modelagem das respostas fisiológicas e produtivas dos animais (Tabela 1) e para cada regra foi atribuído um fator de ponderação igual a 1. Este valor tem sido adotado em diversos modelos *fuzzy* encontrados na literatura (Campos et al., 2013; Marques et al., 2016).

Tabela 1. Sistema de regras da inferência *fuzzy* para as variáveis de entrada e saída consideradas para o desempenho produtivo e respostas fisiológicas dos animais.

Regras	Variáveis de Entrada				Variáveis de Saída			
	TA (°C)	NS (dS/m)	CA (kg)	CR (kg)	FR (mov/min)	FC (bat/min)	TS (°C)	TR (°C)
1	T-26	S-3	CA-1	CR-4	FR-1	FC-5	TS-1	TR-2
2	T-26	S-6	CA-3	CR-2	FR-4	FC-2	TS-3	TR-3
3	T-26	S-9	CA-1	CR-3	FR-1	FC-3	TS-1	TR-1
4	T-32	S-3	CA-3	CR-3	FR-3	FC-4	TS-2	TR-2
5	T-32	S-6	CA-2	CR-1	FR-2	FC-2	TS-2	TR-3
6	T-32	S-9	CA-4	CR-4	FR-5	FC-1	TS-4	TR-3

Onde: TA – temperatura do ar; NS – níveis de salinidade da água; CA – consumo de água; CR – consumo de ração; FR – frequência respiratória; FC – frequência cardíaca; TS – temperatura superficial; e TR – temperatura retal.

A avaliação da precisão do modelo *fuzzy* proposto foi feita através da comparação dos dados de saída do modelo proposto e os dados obtidos no experimento realizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se as repostas fisiológicas e produtivas dos animais frente às condições impostas nessa pesquisa, pôde-se notar uma amplitude de 0,41 kg; 0,06 kg; 17,78 mov/min; 15,00 bat/min; 3,47 °C e 0,28 °C nos dados coletados de consumo de água (CA), consumo de ração (CR), frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR), respectivamente.

Os dados das repostas fisiológicas e produtivas dos animais coletados experimentalmente e os gerados pelo modelo *fuzzy* proposto para a simulação dessas respostas, conforme as variáveis de entrada (Temperatura do ar e níveis de salinidade) estão apresentados na Tabela 2 acompanhados dos respectivos desvios padrões e erros absolutos (Tabela 3) gerados pela comparação desses dados.

Tabela 2. Dados médios das respostas fisiológicas e produtivas dos animais, obtidos por meio da coleta experimental e da modelagem *fuzzy*, respectivamente.

Tratamentos		Dados experimentais						Dados simulados					
TA	NS	CA	CR	FR	FC	TS	TR	CA	CR	FR	FC	TS	TR
26	3	1,7	0,8	26,4	103,6	29,1	38,5	1,7	0,8	24,7	103,6	28,4	38,4
26	6	2,0	0,8	40,0	88,6	32,7	38,6	2,0	0,7	41,0	85,6	32,8	39,2
26	9	1,7	0,8	26,3	89,3	29,5	38,3	1,6	0,78	24,7	91,1	28,4	37,4
32	3	2,0	0,8	39,5	96,1	32,4	38,5	2,0	0,8	39,6	97,2	31,2	38,4
32	6	1,9	0,7	39,3	88,8	32,6	38,6	1,8	0,7	36,5	85,6	31,2	39,2
32	9	2,1	0,8	41,1	80,9	33,1	38,6	2,2	0,8	43,5	80,1	33,6	39,2

Onde: consumo de água (CA, kg); consumo de ração (CR, kg); frequência respiratória (FR, mov/min); frequência cardíaca (FC, bat/min); temperatura superficial (TS, °C); e temperatura retal (TR, °C).

Tabela 3. Comparação dos dados obtidos experimentalmente e através do modelo *fuzzy*.

Tratamentos		Erro (%)						Desvio padrão					
TA	NS	CA	CR	FR	FC	TS	TR	CA	CR	FR	FC	TS	TR
26	3	2,8	1,3	6,7	0,0	2,5	0,4	0,0	0,0	1,3	0,0	0,5	0,1
26	6	0,2	2,1	2,5	3,3	0,3	1,5	0,0	0,0	0,7	2,1	0,1	0,4
26	9	4,9	0,4	6,3	2,0	3,8	2,7	0,1	0,0	1,2	1,2	0,8	0,7
32	3	0,3	0,4	0,0	1,1	3,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9	0,1
32	6	4,0	1,6	7,1	3,5	4,2	1,4	0,1	0,0	2,0	2,2	1,0	0,4
32	9	2,4	1,0	5,8	1,0	1,6	1,4	0,0	0,0	1,7	0,6	0,4	0,4

Onde: consumo de água (CA, kg); consumo de ração (CR, kg); frequência respiratória (FR, mov/min); frequência cardíaca (FC, bat/min); temperatura superficial (TS, °C); e temperatura retal (TR, °C).

Os valores médios de desvio padrão obtidos para as variáveis de CA; CR; FR; FC; TS e TR foram de 0,03 kg; 0,01 kg; 1,14 mov/min; 1,15 bat/min; 0,60 °C e 0,35 °C, respectivamente, e os correspondentes valores de erro percentual médio dos dados preditos foram de 2,43%; 1,13%; 4,74%; 1,82%; 2,70% e 1,29%, respectivamente. Schiassi et al. (2015) ao criarem um modelo *fuzzy* para avaliação do desempenho de frangos de corte, obtiveram desvios padrões de 4,15; 3,10 e 0,03 g e erros percentuais médios de 2,12; 2,74 e 1,94% para os dados de consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar, respectivamente, levando-os a concluir que o modelo apresentou alta precisão e acurácia na modelagem desses dados. Reforçando assim o alto grau de

precisão e confiabilidade alcançado pelo modelo proposto neste trabalho para a predição das respostas fisiológicas e produtivas dos animais em estudo.

Para avaliar a precisão da estimativa dos dados simulados, foram calculados os coeficientes de determinação (R^2). O coeficiente de determinação, expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor será a aproximação do modelo. Na Figura 3 estão representadas as interações lineares entre os valores de saída do desempenho produtivo e respostas fisiológicas dos animais gerados através do modelo *fuzzy* em relação aos dados experimentais.

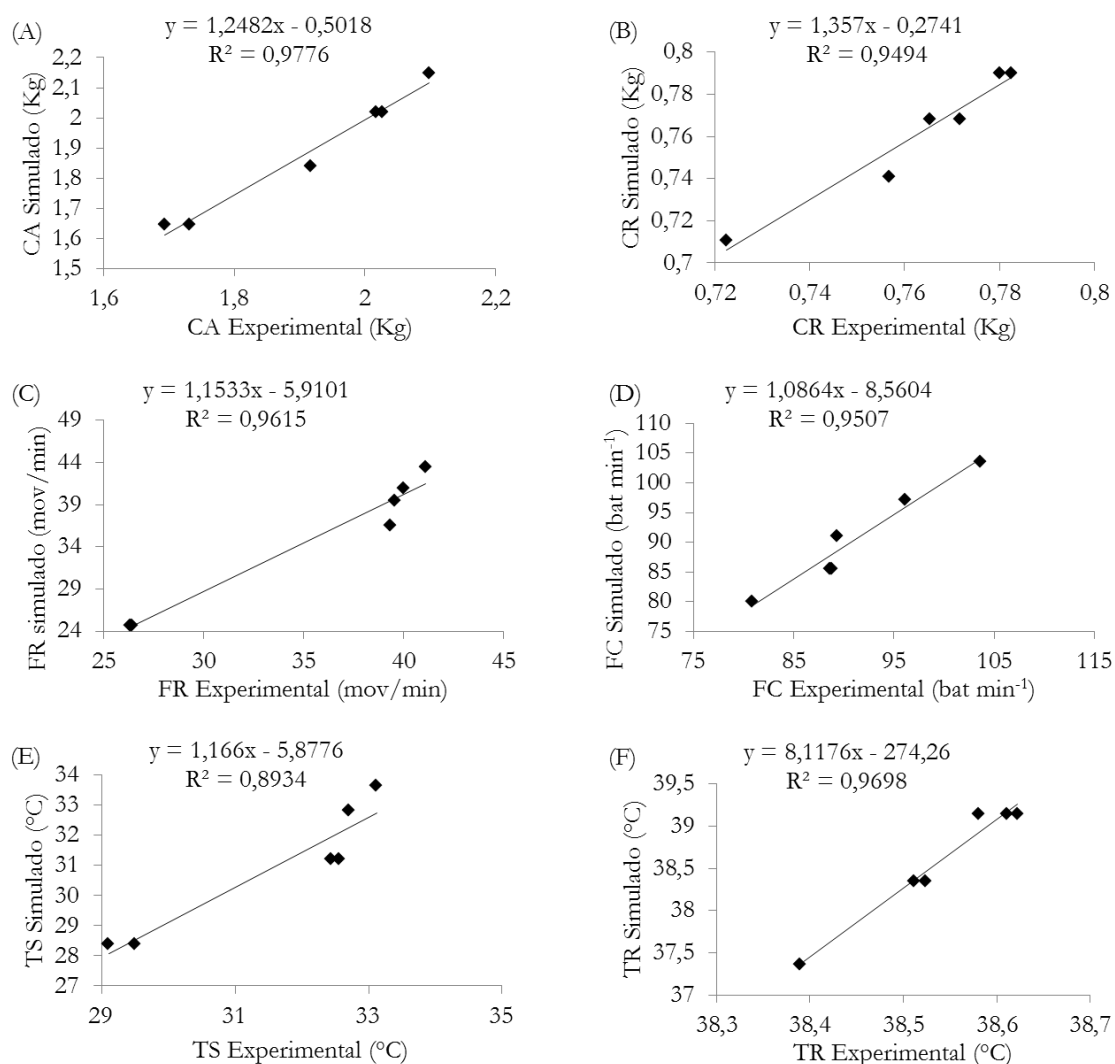


Figura 3. Interações lineares entre os valores preditos e experimentais para as variáveis de saída: (A) consumo de água; (B) consumo de ração; (C) frequência respiratória; (D) frequência cardíaca; (E) temperatura superficial; e (F) temperatura retal.

Com base nas regressões lineares simples, os resultados apresentaram coeficiente de determinação $R^2 = 0,9776$; $0,9494$; $0,9615$; $0,9507$; $0,8934$ e $0,9698$, para CA, CR,

FR, FC, TS e TR, respectivamente. Dessa forma, tendo em vista os elevados valores dos coeficientes de determinação (próximos de 1), verifica-se que o modelo proposto se mostrou com boa precisão, podendo retratar de forma realística as respostas fisiológicas e de desempenho produtivo dos ovinos.

Com os resultados obtidos foi possível observar a precisão na predição dos dados pelo método *fuzzy*, isso implica dizer que com a aplicação da metodologia seria possível à redução do número de parcelas experimentais em projetos como este que envolvem condições delicadas de análises, como a utilização de animais, além de poder fazer previsões acerca de pontos inacessíveis às análises experimentais (Marques et al. 2016).

Os resultados obtidos para os dados numéricos modelados pelo sistema FIS (*Fuzzy Inference System*) usando o método Mamdani mostrou-se viável e confiável na predição dos dados experimentais. Contudo, os resultados podem ser melhorados pela divisão do intervalo de domínio em várias regiões (várias funções de pertinência), pois como consequência desta ação será gerada uma base de regras maior, com mais proposições lógicas e uma superfície entrada-saída mais precisa dos resultados, porém este fato implica no aumento do número de operações feitas pela máquina (computador) aumento assim o seu tempo de resposta.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo *fuzzy* proposto permite estimar, com eficiência, o consumo de água, consumo de ração, frequência respiratória e temperatura retal, de ovinos da raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas e níveis de salinidade. Permitindo a previsão realista das condições de conforto térmico dos ovinos confinados, $R^2 = 0,9776$; 0,9494; 0,9615; 0,9507; 0,8934 e 0,9698, para CA, CR, FR, FC, TS e TR, respectivamente.

De acordo com os resultados encontrados nesta pesquisa tem-se que o modelo *fuzzy* proposto pode ser utilizado para prever as respostas fisiológicas e produtivas em função da temperatura do ar e quantidade de sais na água de consumo, além disso, torna possível a descrição do comportamento produtivo dos animais, em função do ambiente térmico.

Como eventuais trabalhos futuros destacam-se: desenvolvimento e validação de sistemas especialistas para ambientes climatizados de criação de ovinos e projeto de

controladores baseados em lógica *fuzzy* para controlar as variáveis de decisão do sistema.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao grupo de Estudos em Construções Rurais e Ambiência (GCAMB) da UFCG, pelo apoio em prol da realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Assimakopoulos, M. N.; Dounis, A.; Spanou, A.; Santamouris, M. Indoor air quality in a metropolitan area metro using fuzzy logic assessment system. **Science of the Total Environment**, v. 449, n. 1, p. 461-469, 2013.
- Baêta, F. C.; Souza, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. 2.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. 269 p.
- Campos, A. T.; Castro, J. de O.; Schiassi, L.; Pires, M. F.; Mattioli, C. C. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 6, p. 1079-1089, 2013.
- Chen, S. X.; Gooi, H. B.; Wang, M. Q. Solar radiation forecast based on fuzzy logic and neural networks. **Renewable Energy**, v. 60, n. 1, p. 195-201, 2013.
- Costa, N. L. de.; Gianluppi, V.; Moraes, A. Morfogênese de *Trachypogon vestitus*, durante o período seco, nos cerrados de Roraima. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2012.
- Figueiredo M. R. P.; Saliba E. O. S.; Borges, I.; Rebouças G. M. N.; Silva, F. A.; Sá, H. C. M. Comportamento ingestivo de ovinos alimentados com diferentes fontes de fibra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 2, p. 485-489, abr. 2013.
- Han-Xiong, LI; Gatland, H. B. Conventional Fuzzy Control and Its Enhancement. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-part b: cybernetics**, v. 26, N. 5, 1996.
- Julio, Y. F. H.; Yanagi Junior, T.; Pires, M. F. A.; Lopes, M. A.; Lima, R. R. Fuzzy system to predict physiological responses of Holstein cows in southeastern Brazil. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v. 28 n. 1, p. 42-53, 2015.

- Leite, M. S.; Fileti, A. M. F.; Silva, F. V. Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores Fuzzy e convencional em um bioprocesso. **Revista Controle & Automação**, v. 21n. 2, p. 147-158, 2010.
- Lima, C. B.; Costa, T. G. P.; Nascimento, T. L.; Lima Júnior, D. M.; Silva, M. J. M. S.; Mariz, T. M. A. Comportamento ingestivo e respostas fisiológicas de ovinos em pastejo no semiárido. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 1, p. 26-34, 2013.
- Lucena, L. F. de; Furtado, D. A.; Nascimento, W. B. do; Medeiros, A. N. de; Souza, B. B. de. Respostas fisiológicas de caprinos nativos mantidos em temperatura termoneutra e em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 672-679, 2013.
- Marques, J. I.; Neto, J. P. L.; Lopes, F. F. M.; Furtado, D. A.; Araújo, T. G. P. Fuzzy modeling in the prediction of climate indices and productive performance of quails kept in climate chamber. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 4, p. 604-6012, 2016.
- Moura J. H. de A.; Araujo, G. L de; Saraiva, E. P.; Albuquerque, Í. R. R. de; Turco, S. H. N. Ingestive behavior of crossbred Santa Inês sheep fed water with different salinity levels. **Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 1057-1068, 2016.
- National Research Council - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and New World camelids**. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2007. 362 p.
- Oliveira; F.; Turco, S. H. N.; Borges, I.; Clemente, C. A. A.; Nascimento, T. V. C.; Loiola Filho, J. B. Parâmetros fisiológicos de ovinos Santa Inês submetidos a sombreamento com tela de polipropileno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 1014–1019, 2013.
- Ponciano, P. F.; Yanagi Júnior, T.; Schiassi, L.; Campos, A. T.; Nascimento, J. W. B. do. Sistema Fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 446-458, 2012.
- Schiassi, L.; Yanagi Júnior, T.; Reis, G. M.; Abreu, L. H. P.; Campos, A. T.; Castro, J. de O. Modelagem fuzzy aplicada a avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 140-160, 2015.
- Silva, C. M.; Araújo, G. G. L. de.; Oliveira, B. Y. S. de.; Azevêdo, J. A. G. de.; Furtado, D. A. Performance and economic viability of feedlot sheep fed diferents levels of

roughage, concentrate, and water. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n.3, p. 1595-1606, 2016.

**APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA A
ESTIMATIVA DA TEMPERATURA RETAL DE CAPRINOS**

Jordânio Inácio Marques¹

Patrício Gomes Leite¹

Bruna Bezerra Cunha²

Washington da Silva Sousa¹

José Pinheiro Lopes Neto³

Dermeval Araújo Furtado³

RESUMO

A termografia por infravermelho (IR) é uma ferramenta não invasiva com potencial para indicar alterações nas condições térmicas do animal em resposta ao ambiente termicamente estressante. O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação da IR para estimar a temperatura retal de caprinos mestiços da raça Boer. Seis caprinos mestiços foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos às temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C e 68% de umidade relativa. Foram coletados dados de temperatura retal (RT) e termogramas dos animais em cada temperatura do ar (AT) avaliada. Nos termogramas foram coletadas as temperaturas das regiões do globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ) e temperatura de infravermelho máxima (IR_{Max}) da superfície dos animais. A correlação dos dados de PT, HT, ST, HQ e IR_{Max} com a RT foram avaliadas através da análise do coeficiente de Pearson e a concordância através de diagramas de Bland-Altman. Dentre as temperaturas superficiais avaliadas a PT foi a que apresentou melhor correlação ($r = 0.956$) com a RT. Nenhuma temperatura superficial apresentou concordância com a RT.

PALAVRAS-CHAVE: Bland-Altman, estresse térmico, termografia

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

A exploração de caprinos de corte é uma atividade em potencial, principalmente em regiões áridas e semiáridas, por se tratarem de animais rústicos e adaptados às condições climáticas específicas destas regiões. Porém, quando estes são expostos a elevadas temperaturas do ar, ocorre a redução do seu potencial produtivo devido aos estímulos dos receptores periféricos e do núcleo corpóreo que são enviados aos centros específicos do hipotálamo para o acionamento dos sistemas de resfriamento evaporativo e não evaporativo, alterando assim o funcionamento do centro de controle do apetite. Os impulsos supressivos transmitidos para o centro do apetite causam uma diminuição da ingestão alimentar. Assim, menos substratos ficam disponíveis para as atividades enzimáticas, sínteses hormonais e produção de calor o que ajuda a resfriar o corpo reduzindo assim a eficiência produtiva animal (Marai & Haeeb, 2010).

A avaliação do estado térmico de animais destinados à exploração comercial é geralmente feita por meio da termometria retal, onde está é adotada como sendo a temperatura representativa do núcleo corporal e seu aumento indica que os mecanismos termorreguladores não estão sendo eficientes, para a dissipação do calor metabólico produzido, este método na maioria dos casos requer que os animais sejam manipulados diretamente pelo experimentador. Este método é laborioso podendo influenciar no comportamento dos animais, o que por sua vez pode afetar as respostas termorregulatórias (Kammersgaard et al., 2011). Conforme Kammersgaard et al. (2013), existem métodos não invasivos que podem ser utilizados na avaliação do estado térmico dos animais, destacando-se a termografia por infravermelho (IR) que possui boa precisão e dispensa o contato direto com os indivíduos apresentando, portanto, elevado potencial tanto para o desenvolvimento de pesquisas quanto para o monitoramento dos animais nas instalações de exploração.

A IR mede a radiação térmica da superfície do animal e traduz esta para temperatura superficial. Comparando-se os métodos termometria retal e IR têm-se que os dois são distintos não apenas na técnica, onde a termometria retal baseia-se na transferência de calor condutora para o sensor, enquanto o equipamento termográfico mede a radiação. Além disso, a termografia mede a temperatura na superfície do corpo, que está constantemente envolvido em trocas de calor com o ambiente, enquanto que temperatura da cavidade retal depende da situação térmica do núcleo do corpo (George et al., 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação da IR para estimar a temperatura retal de caprinos mestiços $\frac{3}{4}$ da raça Boer + $\frac{1}{4}$ sem padrão racial definido (SPRD).

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015, em cumprimento dos Princípios Orientadores Internacionais de Pesquisa Biomédica Envolvendo Animais, conforme publicado pelo Conselho de Organizações Internacionais de Ciências Médicas (CIOMS, 2012).

Foram avaliados seis caprinos machos mestiços ($\frac{3}{4}$ raça Boer e $\frac{1}{4}$ sem padrão racial definido (NDRP)), selecionados de rebanhos destinados à reprodução de animais com aptidão à produção de carne, apresentando peso médio de 25.06 ± 4.43 kg e idade média de seis meses. Os animais foram alojados em baias de metal com dimensões de $1.15 \times 0.50 \times 0.84$ m de comprimento, largura e altura, respectivamente, dispostas no interior de uma câmara climática.

Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais). As temperaturas do ar utilizadas na experimentação foram determinadas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, os animais foram submetidos às três diferentes temperaturas médias controladas: T1 = 26 °C (ZCT), T2 = 30 °C (temperatura limite entre as zonas de conforto e estresse térmico) e T3 = 34 °C (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de 68% e 1 m/s, respectivamente.

Para cada condição térmica estudada, foi adotado um período de cinco dias para adaptação dos animais ao ambiente controlado, bem como ao manuseio e alimentação. A coleta de dados foi realizada em um período de dez dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os animais foram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por cinco dias.

Em cada estágio de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um ciclo de 8/16 h (temperatura do ar experimental / temperatura do ar ambiente). A câmara era ligada sempre às 7:00 h, onde a primeira hora destinava-se à estabilização da

temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara. Após a estabilização, o período experimental iniciava-se às 8:00 h. estendendo-se até às 16:00 h.

A ração e água foram fornecidas *ad libitum*. A ração ofertada aos animais foi composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43.0% do volume total da ração, farelo de milho (26.6%), melaço (2.5%), farelo de soja (24.0%), óleo de soja (2.0%), sal mineral (1.5%) e calcário calcítico (0.4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

Os termogramas e a temperatura retal (RT) foram adquiridos no terceiro, sexto e nono dias após o início de cada fase experimental. A RT foi tomada manualmente, inserindo-se um termômetro digital (Incoterm®, Med flex, Termômetro Digital, Rio Grande do Sul, Brasil, variação de 32~43 °C e precisão de $\pm 0,20$ °C) ~2 cm no reto de cada animal.

Para os termogramas foi utilizada uma câmera termográfica modelo Ti55FT (Fluke®, Washington, EUA, 60 Hz, versão de firmware v.1.22, 320x240, precisão ± 2 °C). Nos termogramas, foram avaliadas a temperatura de infravermelho média do globo ocular (PT) e da superfície da pele nas regiões da cabeça (HT), espádua (ST) e quarto traseiro (HQ) que foram previamente depiladas, conforme Figura 1. Além das temperaturas mencionadas, foi ainda avaliada a temperatura de infravermelho máxima (IR_{Máx}) da superfície dos animais identificada na região inferior da mucosa do olho.

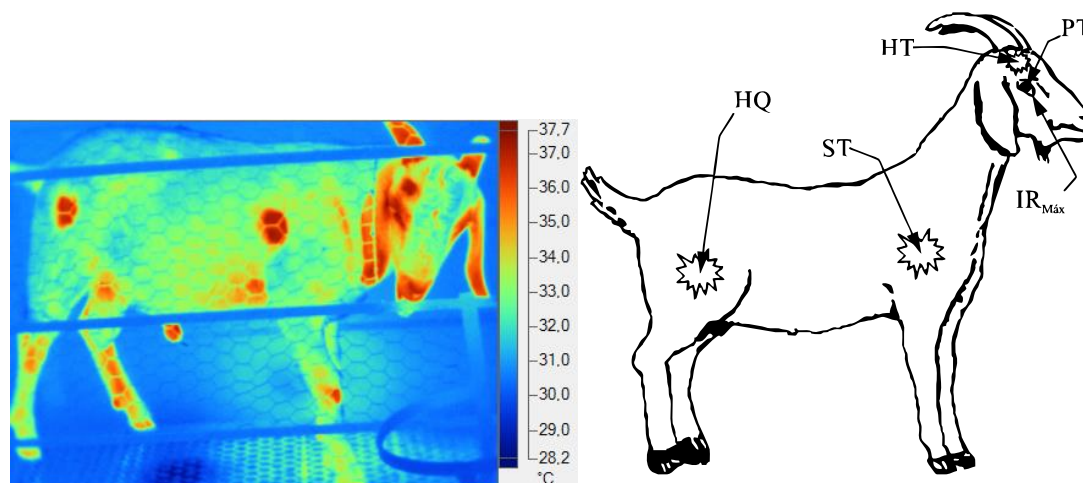


Figura 1. Termograma e configuração experimental dos pontos de coleta das temperaturas da superfície do animal, sendo estas: globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ) e temperatura de infravermelho máxima (IR_{Máx}).

Foram selecionados três termogramas de cada animal, obtidos em cada temperatura do ar testada para a análise das regiões em estudo. A emissividade foi

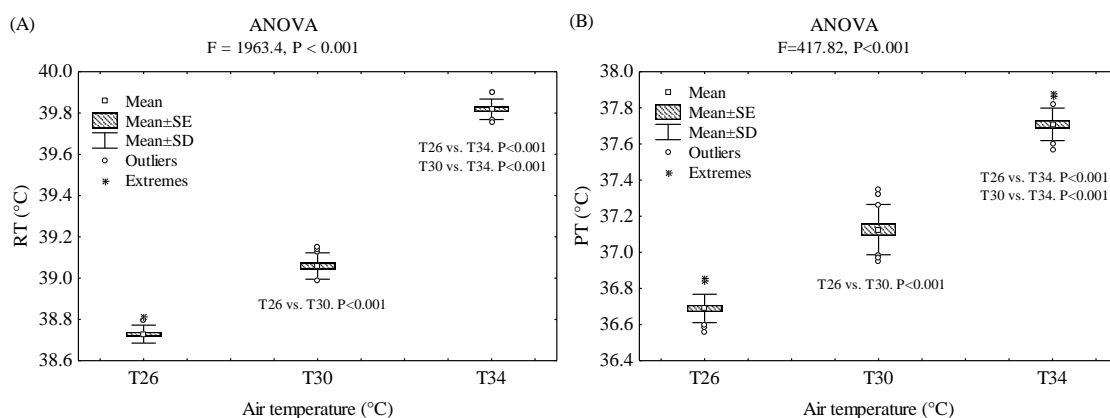
ajustada para 0,98, com base em dados para seres humanos (Steketee, 1973), levando-se em consideração que as regiões avaliadas estão ausentes de pelos e que as características da pele sejam semelhantes entre o homem e os animais avaliados. A distância ao alvo foi de ~2 m, permitindo uma visão completa do animal, do focinho até a cauda.

Os dados foram apresentados em diagramas de caixa (*boxplot*). A normalidade dos dados foi verificada, utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk e, posteriormente, os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do *software* estatístico R versão 3.4.1. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias, admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ($P < 0.05$).

As correlações dos dados de PT, HT, ST, HQ e IR_{Max} com a RT foram analisadas através de regressões lineares simples com intervalo de confiança de 95% e da avaliação do grau de elevação do coeficiente de correlação de Pearson. A concordância entre os dados de termografia com a RT foi avaliada através de diagramas de Bland-Altman, sendo estabelecido um limite de concordância para a heterogeneidade entre as amostras de 5%. A presença de polarização entre os dados foi testada verificando-se a ocorrência de significância ($P < 0.05$) de inclinação da linha de regressão ajustada aos gráficos de Bland-Altman.

RESULTADOS

O efeito do aumento da temperatura do ar nas respostas RT, PT, HT, ST, HQ e IR_{Max} , respectivamente, é mostrado na Figura 2. Pode-se observar o aumento significativo ($P < 0,05$) de todas as respostas fisiológicas em função da elevação da temperatura do ar de 26 para 30 e, posteriormente, para 34 °C.



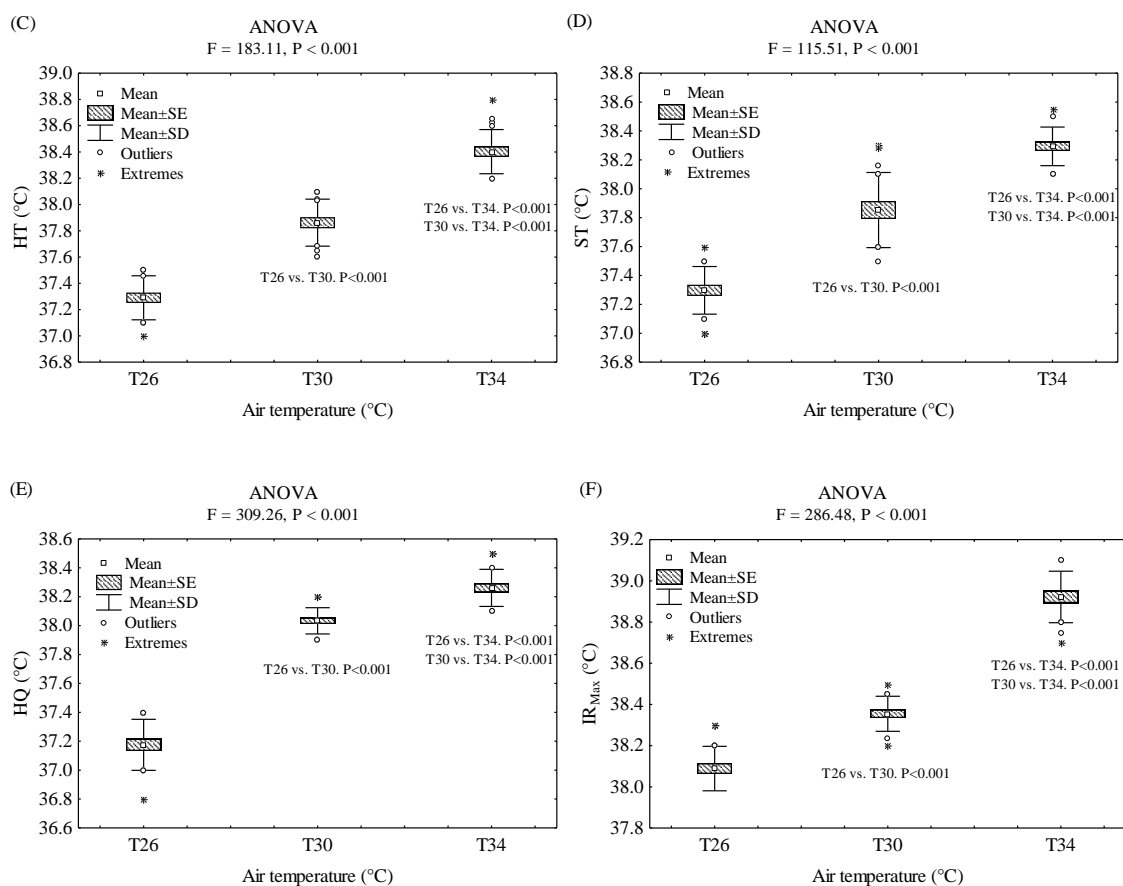


Figura 2. Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal - RT; (B) temperatura do globo ocular - PT; (C) temperatura da cabeça - HT; (D) temperatura da espádua – ST; (E) temperatura do quarto traseiro - HQ; e (F) temperatura de infravermelho máxima - IR_{Max}; SE: erro padrão; e SD: desvio padrão.

As correlações entre a resposta fisiológica RT e as temperaturas PT, HT, ST, HQ e IR_{Max}, conforme a elevação da temperatura do ar são apresentadas na Figura 3 com um intervalo de confiança de 95%. Todas as respostas avaliadas apresentaram correlação positiva significativa ($P < 0,05$) com a RT, com coeficiente de correlação de Pearson de 0.956, 0.904, 0.862, 0.824 e 0.951 para PT, HT, ST, HQ e IR_{Max}, respectivamente, destacando-se assim as respostas fisiológicas PT e IR_{Max} como sendo as que apresentaram maiores correlações com a RT.

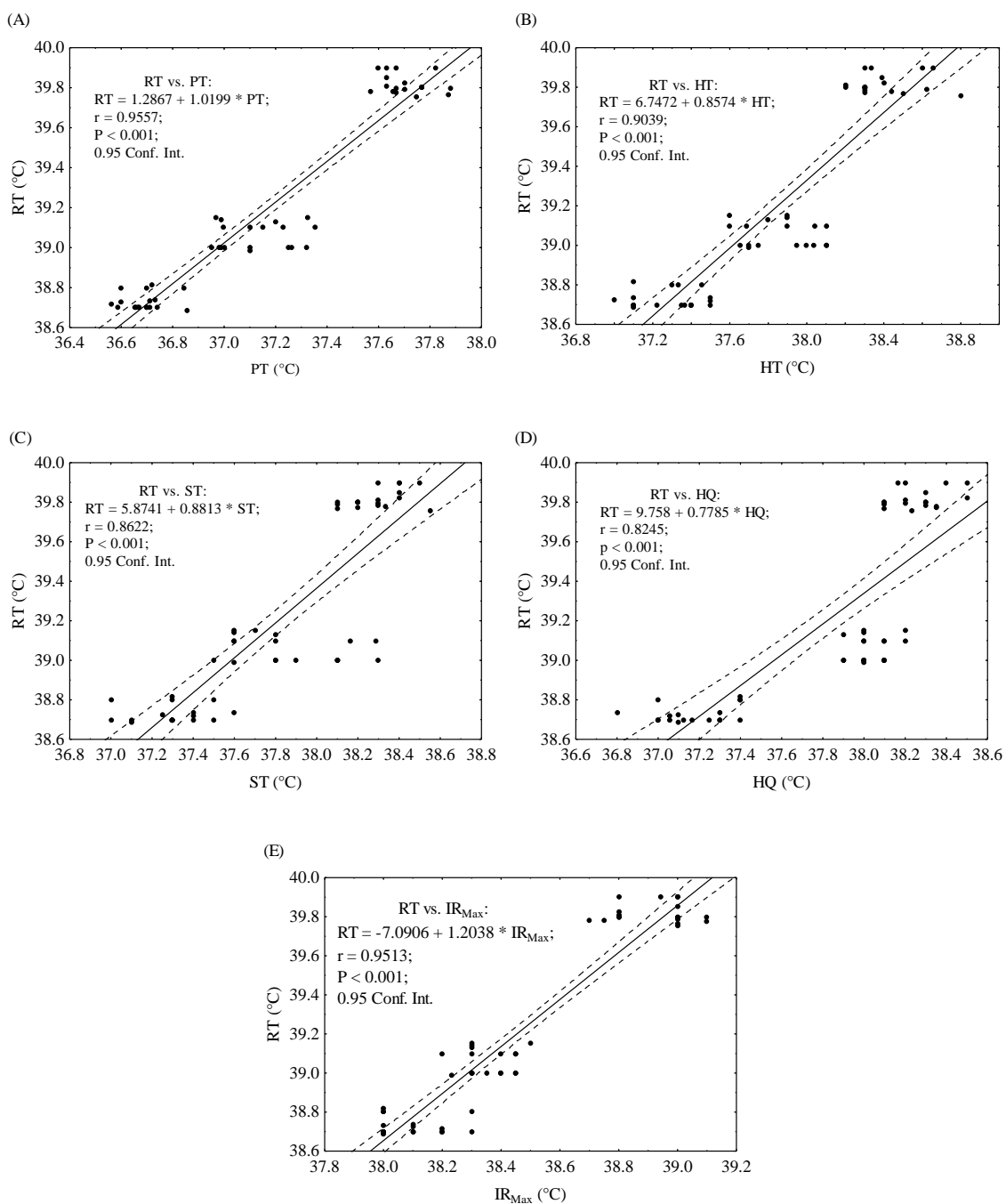


Figura 3. Correlação entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) temperatura da cabeça (HT); (C) temperatura da espádua (ST); (D) temperatura do quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima (IR_{Max}).

Diagramas de Bland-Altman são apresentados na Figura 4, pode-se observar que todas as respostas avaliadas apresentaram viés significativo ($P < 0.05$) com a RT. Apenas a temperatura de IR_{Max} apresentou inclinação da linha de tendência significativamente ($P < 0,05$) diferente de zero, subestimando de forma crescente a RT

em condições de temperaturas médias mais elevadas e seu limite de conformidade foi ± 0.32 °C (intervalo de confiança de 95%). As repostas PT, HT, ST e HQ apresentaram limites de acordo de ± 0.74 , ± 0.41 , ± 0.47 e ± 0.56 , respectivamente.

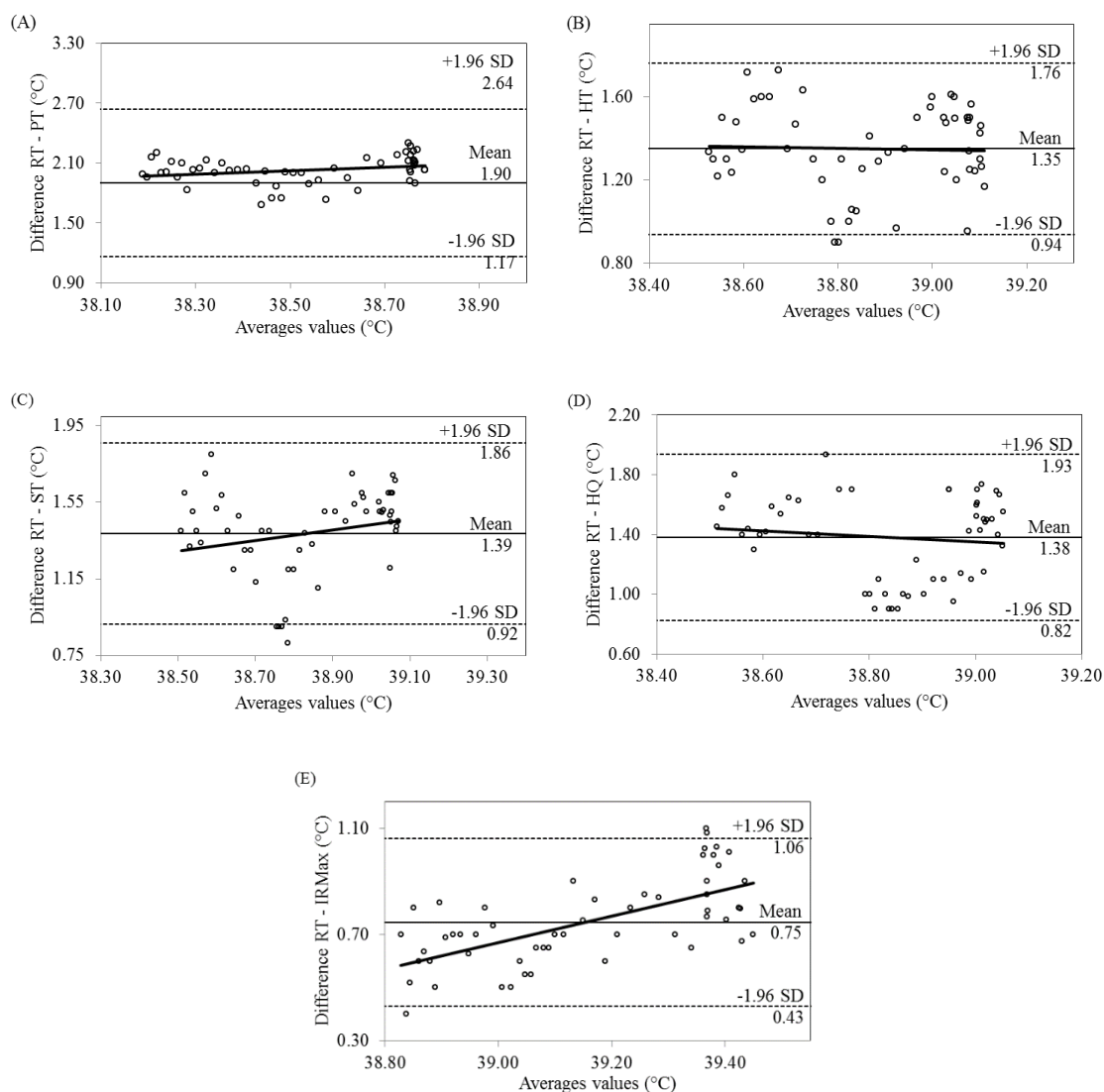


Figura 4. Concordância entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) cabeça (HT); (C) espádua (ST); (D) quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima (IR_{Max}), respectivamente; SD, desvio padrão.

DISCUSSÃO

Ao serem submetidos aos ambientes com temperaturas do ar acima da zona termoneutra, os animais homeotérmicos empregam vários mecanismos termorreguladores para compensar o ganho de calor, por perda equivalente e manter a temperatura corporal interna em limites estreitos de variação e atingir o equilíbrio térmico (McKinley et al., 2017). O presente estudo mostra que a PT, HT, ST, HQ e

IR_{Max} aumentaram ($P < 0,05$) conforme a elevação da temperatura do ar, sugerindo que tal fato se deve ao aumento significativo ($P < 0,05$) da temperatura representativa do núcleo corporal dos animais (RT) em função da geração de calor devido as reações metabólicas e a redução do gradiente térmico entre o animal e o ambiente, o que reduz a capacidade dos animais de dissipar calor de forma sensível, sendo este um mecanismo fisiológico primário responsável pela dissipação de calor do núcleo corporal através da circulação sanguínea para as periferias e, posteriormente, para o ambiente (Rizzo et al., 2017).

Nas três condições térmicas avaliadas pôde-se observar a maior temperatura superficial (IR_{Max}) na região da mucosa inferior dos olhos dos animais, podendo-se este fato ser justificado pela existência de camadas mais finas de pele e maior vascularização dessa região, quando comparada as demais regiões avaliadas (Rizzo et al., 2017). As áreas dos arredores do olho, especialmente em torno da borda posterior da pálpebra e da carúncula lacrimal, possuem uma rica vascularização capilar que responde sensivelmente às mudanças no fluxo sanguíneo resultantes da variação da temperatura interna do animal (Stewart et al., 2008).

Todas as temperaturas superficiais avaliadas (PT, HT, ST, HQ e IR_{Max}) se correlacionaram significativamente ($P < 0,05$) com a temperatura retal mostrando que estas são respostas sensíveis e podem detectar com elevado grau de precisão as alterações na temperatura do núcleo corporal dos caprinos quando submetidos à condições de estresse térmico. Além disso, com base nos resultados apresentados na Figura 3, observa-se que a temperatura de PT e IR_{Max} apresentaram maior correlação com a RT que as demais temperaturas superficiais (HT, ST e HQ) com coeficiente de correlação de Pearson de $r = 0.956$ e 0.951 , respectivamente.

Conforme Steck et al. (2011) a substituição do método da termometria retal por métodos não invasivos para a mensuração do estresse térmico é potencialmente benéfica, por estes dispensarem o contato direto do avaliador com o animal, evitando influências externas, o que pode mascarar os resultados. Com base apenas na análise das correlações têm-se que a RT dos caprinos pode ser mensurada de forma precisa e remotamente através das temperaturas de PT e IR_{Max} .

O coeficiente de correlação não pode ser utilizado isoladamente para avaliar a relação entre dois métodos uma vez que não fornece uma indicação da discrepância de igualdade entre os valores dos dados. Em segundo lugar, o coeficiente de correlação não

revela informações sobre a presença de uma diferença sistemática entre os métodos (van Stralen et al., 2008).

Com base na análise dos diagramas de dispersão Bland-Altman (Figura 4), para identificar os erros sistemáticos entre os métodos avaliados (IR e RT), pode-se observar que a linha de polarização zero está fora dos limites de concordância para todas as temperaturas avaliadas em comparação com a RT, o que demonstra a não concordância entre os métodos utilizados. Em outras palavras, o viés das diferenças médias são significativamente ($P < 0,05$) diferentes, indicando a não concordância entre as PT, HT, ST, HQ e IR_{Max} em relação a RT. Dessa forma, tem-se que a substituição da coleta da RT por PT, HT, ST, HQ ou IR_{Max} estão sujeitas a erros sistemáticos (Cecconi et al., 2009).

Dentre as temperaturas superficiais coletadas pode-se observar que a de IR_{Max} (Figura 4E) foi a que apresentou melhor concordância com a RT, com viés médio de 0.75 °C, porém apresentou uma diferença sistemática entre as duas leituras. Observando-se a Figura 4, nota-se que a IR_{Max} foi a única temperatura que apresentou uma linha de tendência com inclinação positiva significativa ($P < 0.05$) indicando que, com a elevação da temperatura do ar de 26 para 30 °C e, posteriormente, para 34 °C, a IR_{Max} tende cada vez mais a subestimar a RT.

CONCLUSÕES

Apesar das PT, HT, ST, HQ e IR_{Max} apresentarem elevados valor de coeficiente de correlação ($0.82 < r < 0.95$) não podem ser adotadas em substituição à RT, devido a baixa existência de concordância entre essas medidas. Diante das análises dos diagramas de Bland-Altman, tem-se então que o método da termografia não se mostrou adequado para a mensuração de forma não invasiva da RT, devido à existência de diferença significativa ($P < 0.05$) nos níveis dos erros sistemáticos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e financiamento da pesquisa processo nº 445393/2014-9.

REFERÊNCIAS

Cecconi, M.; Rhodes, A.; Poloniecki, J.; Della Rocca, G., Grounds, R. M. Bench-to-bedside review: The importance of the precision of the reference technique in

- method comparison studies – with specific reference to the measurement of cardiac output. **Critical Care**, v. 13, n. 1, p. 201-201, 2009.
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. ExpDes.pt: **Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.1.2., 2013.
- George, W. D.; Godfrey, R. W.; Ketring, R. C.; Vinson, M. C.; Willard, S. T. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle1. **Journal of animal science**, v. 92, n. 11, p. 4949-4955, 2014.
- Kammersgaard, T. S.; Malmkvist, J.; Pedersen, L. J. Infrared thermography--a non-invasive tool to evaluate thermal status of neonatal pigs based on surface temperature. **Animal**, v. 7, n. 12, p. 2026-2034, 2013.
- Kammersgaard, T. S.; Pedersen, L. J.; Jorgensen, E. Hypothermia in neonatal piglets: interactions and causes of individual differences. **Journal of animal science**, v. 89, n. 9, p. 2073-2085, 2011.
- Marai, I. F. M.; Haezeb, A. A. M. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. **Livestock Science**, v. 127, n. 1, p. 89-109, 2010.
- McKinley, M.; Trevaks, D.; Weissenborn, F.; McAllen, R. Interaction between thermoregulation and osmoregulation in domestic animals. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 9, p. 783-790, 2017.
- National Research Council (US). Institute for Laboratory Animal Research. The Development of Science-based Guidelines for Laboratory Animal Care: Proceedings of the November 2003 International Workshop. Washington (DC): National Academies Press (US); 2004. D: International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (1985) Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK25438/>
- NRC. **Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids**, p.1-362, 2007.
- Rizzo, M.; Arfuso, F.; Alberghina, D.; Giudice, E.; Gianesella, M.; Piccione, G. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. **Journal of Thermal Biology**, v. 69, n. 1, p. 64-68, 2017.
- Souza, B. B.; Souza, E. D.; Silva, R. M. N.; Cezar, M. F.; Santos, J. R. S.; Silva, G. A. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 314-320, 2008.

- Steck, L. N.; Sparrow, E. M.; Abraham, J. P. Non-invasive measurement of the human core temperature. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 4, p. 975-982, 2011.
- Steketee, J. Spectral emissivity of skin and pericardium. **Physics in Medicine & Biology**, v. 18, n. 5, p. 686-694, 1973.
- Stewart, M.; Stafford, K. J.; Dowling, S. K.; Schaefer, A. L.; Webster, J. R. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior**, v. 93, n. 4-5, p. 789-797, 2008.
- van Stralen, K. J.; Jager, K. J.; Zoccali, C.; Dekker, F. W. Agreement between methods. **Kidney International**, v. 74, n. 9, p. 1116-1120, 2008.

**RESPOSTAS PUPILARES DE GALINHAS D'ANGOLA SUBMETIDAS À
DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Patrício Gomes Leite¹

Airton Gonçalves de Oliveira²

Bruna Bezerra Cunha³

Washington da Silva Sousa¹

Jordânio Inácio Marques¹

Dermeval Araújo Furtado²

Nítalo André Farias Machado¹

RESUMO

A criação de galinhas d'angola (*Numidia meleagris*) é uma alternativa viável para pequenas propriedades rurais em regiões áridas e semiáridas, por serem aves rústicas e capazes de suportar as adversidades climáticas dessas regiões. O objetivo do trabalho foi avaliar a temperatura pupilar, diâmetro pupilar menor, diâmetro pupilar maior e área pupilar de galinhas d'angolas alojadas em ambiente controlado, sob duas temperaturas do ar: 26 °C (zona de conforto térmico) e 32 °C (acima da zona de conforto térmico). As aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (temperaturas do ar) e quatro repetições (box experimental), com doze aves cada. A elevação da temperatura do ar resultou em aumento significativo ($P < 0,05$) médio de 6,0; 17,9; 18,6 e 38,4% na temperatura pupilar, diâmetro pupilar menor, diâmetro pupilar maior e área pupilar das aves, respectivamente, podendo estas medidas serem precisas na avaliação do estresse térmico em animais homeotérmicos.

PALAVRAS-CHAVE: dilatação pupilar, estresse térmico, pupilometria

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

INTRODUÇÃO

A manutenção dos animais em ambiente dentro da zona de conforto térmico é fundamental para o sucesso da avicultura, sendo que, dentre as causas do baixo desempenho financeiro da produção de frangos de corte destacam-se as questões ambientais (Mendes et al., 2014). Lamarca et al. (2018) analisando o efeito das ondas de calor nos cenários de mudanças climáticas previstos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) na produção de ovos na região de Bastos, SP, concluíram que em todos os cenários a temperatura média e o número de eventos extremos, como ondas de calor, devem aumentar, o que pode reduzir a produção na região.

A condição de estresse térmico pode ser identificada através de respostas etológicas, fisiológicas e produtivas das aves, como elevação da temperatura superficial em aves (Baracho et al., 2011; Camerim et al., 2016). Segundo Marques et al. (2018) uma das ferramentas viáveis para quantificação do estresse térmico dos animais de produção seria através da análise da temperatura e da dilatação pupilar, já que estas reagem sensivelmente aos estressores externos e internos (Stewart et al., 2008; Laeng et al., 2012).

A pupila pode refletir as atividades do sistema nervoso autônomo, podendo-se ampliar-se (midríase) como consequência de esforço mental e exposição às variantes estressoras (Lempert et al., 2015), como também elevar sua temperatura em animais sob estresse térmico (Marques et al., 2018). A função primária da pupila é a regulação da quantidade de luz que entra na retina, através da dilatação ou constrição da íris. A reação da pupila a estímulos luminosos ocorre para evitar a exposição excessiva e danos na retina (Helene & Helene, 2011), podendo ser afetada também por fatores como excitação, emoção e estresse.

A dilatação da pupila representa, também, um estado de vigilância ou de excitação do ser, o que indica que o indivíduo detectou uma situação importante no ambiente em que se encontra (Demos et al., 2008). A pupilometria pode ser um método utilizado para avaliação de situação de conforto/estresse térmicos de animais homeotérmicos, principalmente por ser não invasivo, já que não ocorre contato direto entre operador e o animal (Marques et al., 2018), bem como por fornecer informações precisas, possibilitando o desenvolvimento de modelos matemáticos para descrever os diferentes níveis de estresse, a partir da área pupilar dilatada (Pedrotti et al., 2014).

Ao avaliarem a área pupilar de caprinos da raça Boer, Lopes Neto et al. (2018) verificaram aumento nesta área quando comparadas as temperaturas do ar de 26 e 33 °C, evidenciando a influência desta variável sobre as reações pupilares dos animais. Resultados semelhantes são encontrados em seres humanos, onde as situações estressoras também interferiram no diâmetro da pupila, demonstrando que este método funciona como um indicativo para reconhecimento e quantificação dos níveis de estresse aos quais o ambiente pode proporcionar aos indivíduos (Pedrotti et al., 2014; Charier et al., 2017).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a temperatura pupilar, diâmetro pupilar menor, diâmetro pupilar maior e área pupilar de galinhas d'angolas alojadas em ambiente controlado, sob duas temperaturas do ar: 26 °C (zona de conforto térmico) e 32 °C (acima da zona de conforto térmico).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas câmaras climáticas pertencentes ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiência, da Universidade Federal de Campina Grande, campus de Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste), sendo a pesquisa previamente aprovada pela Comissão de Ética e Pesquisa da UFCG, processo nº 020/2019.

Foram adquiridos 96 pintainhos de galinhas d'angola com um dia de idade, adotando-se um período de 21 dias de adaptação às condições ambientais e de manejo, após este período teve início as coletas dos dados, estendendo-se até o 91º dia, totalizando 13 semanas de vida das aves. Os animais foram pesados individualmente e marcados com anéis plásticos com diferentes cores, para suas respectivas identificações e, durante o período experimental as aves foram expostas a 24 h de iluminação diária.

As aves foram alojadas em boxes de 1 m² de área, no interior das câmaras climáticas, que possuíam dimensões de 3,07 x 2,77 x 2,50 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, com densidade de alojamento de 12 aves/m², conforme recomendação de Nahashon et al. (2009) para galinha d'Angola. Os boxes eram equipados com comedouros tubulares e bebedouros pendulares e o piso coberto por cama de maravalha. Após o período de adaptação de 21 dias, os animais foram submetidos a ciclos de 24 h em temperatura do ar experimental (com a câmara ligada 24 h por dia durante todo o período experimental), sendo que às 6:30 e 17:00 h as câmaras eram abertas para o fornecimento de ração e água. Ao atingirem a terceira semana de

idade, as aves foram distribuídas nos boxes experimentais em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (temperaturas do ar) e 4 repetições (box experimental) com 12 aves em cada box.

O período experimental foi subdividido em três fases, quais sejam: F1 da quarta a sexta semana de vida; F2: da sétima a decima semana de vida; e F3 da decima primeira a decima terceira semana de vida. As temperaturas do ar adotadas foram tomadas com base nas faixas de conforto e estresse térmico para aves proposto por Furlan & Macari (2002), quais sejam: T1 = 26 °C (zona de conforto térmico) e T2 = 32 °C (acima da zona de conforto térmico), com valores médios de 70,2% e 0,5 m/s de umidade relativa e velocidade do ar, respectivamente.

A temperatura e a umidade relativa do ar no interno da câmara climática foram controladas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD[®] interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da *Full Gauge Controls*[®]. Cada câmara climática era equipada com condicionadores de ar, aquecedores e exaustores. As variáveis ambientais coletadas foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento na altura do centro geométrico das aves. Para a coleta das variáveis climáticas foram instalados no interior das câmaras climáticas hardwares constituídos por sensores de temperatura e umidade do ar (DHT22) interligados a um microcontrolador específico Arduino[®], modelo Mega 2560 e para a leitura da velocidade do vento foi utilizado um anemômetro digital portátil Lutron[®], modelo LM8000A.

O início da coleta das imagens para o monitoramento da dilatação pupilar dos animais ocorreu após a terceira semana de idade das aves, mensuradas semanalmente nas temperaturas experimentais, no período em que as câmaras permaneciam fechadas. As imagens foram capturadas por meio de uma câmera Canon[®] modelo A2600 com 16 Mp de resolução, com flash desativado, posicionada de maneira a captar as imagens das pupilas dos animais.

Foram fixadas escalas de referência no bico dos animais (Figura 1 e 2), previamente adaptados a esta situação, com intervalos de 5 mm para permitir a conversão das dimensões da pupila que foram coletadas nas imagens em escala de pixel e, posteriormente convertidas para milímetros em suas reais dimensões. A temperatura da pupila dos animais foi monitorada através da captura de termogramas do globo ocular, utilizando-se para isso uma câmera termográfica Flir[®] modelo TG-165. As imagens térmicas foram coletadas semanalmente em cada tratamento proposto. A partir

dos termogramas foi obtida a temperatura média da pupila dos animais nas duas condições térmicas avaliadas, adotando-se a emissividade de 0,98 (emissividade de tecido biológico).



Figura 1. Imagem da pupila de um dos animais com escala de referência fixada ao bico

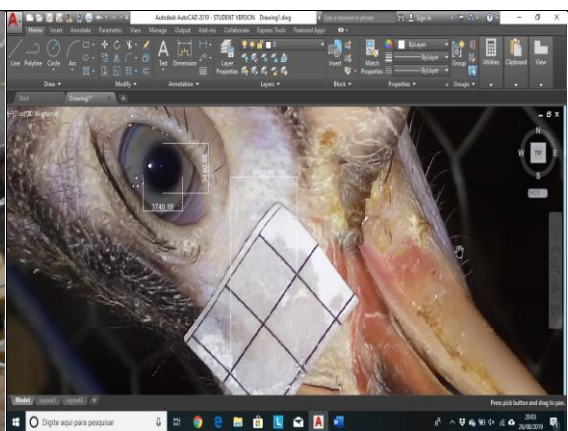


Figura 2. Medidas pupilares de um dos animais avaliados

As respostas fisiológicas, temperatura pupilar (TP), diâmetro pupilar menor (D_{menor}), diâmetro pupilar maior (D_{maior}) e área pupilar (AP) foram apresentados em Tabelas. A normalidade dos dados foi verificada, utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) e, posteriormente, os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F, utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software estatístico R versão 3.4.1., de acordo com o modelo estatístico descrito na Equação 1, em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (temperaturas do ar) e 4 repetições (box experimental) com 12 aves em cada box, para avaliação das respostas fisiológicas foram utilizadas quatro aves por box experimental totalizando 32 parcelas. O teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias, com probabilidade de erro de 5% ($P < 0,05$).

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Onde,

y_{ij} – é o valor observado para a variável resposta obtido para o i -ésimo tratamento em sua j -ésima repetição;

μ_i – é a média de cada tratamento μ_i ;

μ – é a média das médias de cada tratamento μ_i ;

τ_i – e o efeito do tratamento i no valor observado y_{ij} ;

ε_{ij} – e o erro experimental associado ao valor observado y_{ij} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode-se observar na Tabela 1 a elevação da temperatura do ar influenciou significativamente ($P < 0.05$) nas respostas pupilares: temperatura pupilar (TP), diâmetro pupilar menor (Dmenor), diâmetro pupilar maior (Dmaior) e área pupilar (AP), independentemente da idade das aves avaliadas.

Tabela 1. Médias da temperatura pupilar (TP), diâmetro pupilar menor (Dmenor), diâmetro pupilar maior (Dmaior) e área pupilar (AP) das aves nas duas temperaturas, em cada fase experimental e na média geral.

Item	T26				T32			
	F1	F2	F3	Média	F1	F2	F3	Média
TP (°C)	31,7±0,8b	31,4±0,8b	31,5±1,0b	31,5±0,8b	33,3±0,9a	33,5±0,7a	33,5±0,6a	33,4±0,7a
Dmenor (mm)	3,8±0,6b	4,0±0,5b	4,0±0,8b	3,9±0,6b	4,2±0,4a	4,7±0,7a	4,9±0,7a	4,6±0,6a
Dmaior (mm)	4,4±0,6b	4,2±0,5b	4,3±0,8b	4,3±0,6b	4,6±0,4a	5,3±1,0a	5,5±0,9a	5,1±0,8a
AP (mm ²)	13,9±3,3b	13,5±2,8b	14,0±5,3b	13,8±4,5b	15,4±2,6a	20,0±6,7a	21,8±6,8a	19,1±5,4a

F1: da quarta a sexta semana de vida; F2: da sétima a decima semana de vida; e F3: da decima primeira a decima terceira semana de vida. Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($P < 0,05$).

As galinhas d'angola elevaram significativamente ($P < 0,05$) a temperatura pupilar em todas as fases experimentais avaliadas e também na média entre as fases, constatando um aumento médio de 6,0% na TP, devido à elevação da temperatura do ar e, esse comportamento é devido ao olho conter muitos canais capilares inervados, que elevam o fluxo sanguíneo devido à ativação de mecanismos sensíveis de perda de calor para a manutenção da homeotermia e, este acréscimo na irrigação sanguínea no globo ocular reflete o aumento da vasodilatação como uma ferramenta de dissipação de calor sensível do núcleo corporal dos animais, que se intensifica devido ao aumento da temperatura do ar (Marques et al., 2018).

O aumento da temperatura ocular como resultado do estresse térmico, ocorre devido ao aumento correspondente das atividades no eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HPA), que constituem o sistema de controle central responsável pela regulação da

temperatura corporal (Stewart et al., 2008) e, que esta medida pode ser precisa na avaliação do estresse térmico em animais homeotérmicos, sendo obtida sem interferência da pele ou pelos, provando ser uma medida consistente das mudanças de temperatura como resposta ao estresse do que outras áreas anatômicas.

Camerim et al. (2016) citam que a elevação da temperatura do ar provocou o aumento significativo da temperatura da cabeça de galinhas poedeiras, sendo que a elevação da temperatura desta parte do corpo das aves, se deu devido essa região ser membranosa e possuir uma rica rede vascular, fazendo desta uma importante região de termólise, onde ocorre grande parte das trocas de calor sensível dos animais para o ambiente, fato este que também pode ser evidenciado ao se verificar o aumento da temperatura pupilar das aves que foram avaliadas na presente pesquisa, conforme a elevação da temperatura do ar.

Constatou-se aumento significativo ($P < 0.05$) médio de 17.9, 18.6 e 38.4%, respectivamente, nas dimensões pupilares Dmenor, Dmaior e da AP, respectivamente, das galinhas d'Angola, conforme a elevação da temperatura do ar, fatos também observados por Lopes Neto et al. (2018) e Marques et al. (2018), ao avaliarem caprinos da raça Boer submetidos a diferentes temperaturas do ar. Isso possivelmente se deve à dilatação pupilar dos animais estar associada à ativação do sistema nervoso autônomo (feixe simpático) (Laeng et al., 2012), em resposta ao estresse térmico, pois, a pupila reflete as atividades do sistema nervoso autônomo em particular, ampliando-se (midríase) como consequência da exposição à elevadas temperaturas do ar (exposição ao estresse térmico) (Lempert et al., 2015). O aumento do diâmetro pupilar das aves também pode estar associado à descarga de adrenalina no corpo dos animais, que ocorre quando as glândulas suprarrenais secretam uma quantidade excessiva deste hormônio, em resposta a determinados estímulos, como o estresse térmico.

Dessa forma, as alterações nas dimensões e na temperatura pupilar dos animais, quando submetidos a diferentes temperaturas do ar, estão intensamente relacionadas com as respostas dos mecanismo termorregulatórios acionados pelo sistema nervoso autônomo, refletindo as alterações nas respostas fisiológicas, devido ao esforço realizado pelos animais na tentativa de manter a temperatura corporal em estreitos limites de variação, mesmo quando submetidos a condições de temperaturas do ar estressantes.

CONCLUSÃO

Com a elevação da temperatura do ar, observou-se o aumento da dilatação pupilar e da temperatura pupilar dos animais, podendo estas medidas serem utilizadas na avaliação da condição de conforto ou estresse térmico das galinhas d'angola.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/CAPES pela concessão de bolsa de pesquisa aos autores do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Baracho, M.S.; Nääs, I. A.; Nascimento, G. R.; Cassiano, J. A.; Oliveira, K. R. Surface Temperature Distribution in Broiler Houses. **Revista Brasileira Ciência Avícola**, v.13, n.3, p. 177-182, 2011.
- Camerini, N. L.; Silva, R. C.; Nascimento, J. W. B.; Oliveira, D. L.; Souza, B. B. Variação da temperatura superficial de aves poedeiras criadas em dois sistemas de criação utilizando termografia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.12, n.2, p.145-152, 2016.
- Charier, D. J.; Zantour, D.; Pichot, V.; Chouchou, F.; Barthelemy, J. C. M.; Molliex, S. B. Assessing Pain Using the Variation Coefficient of Pupillary Diameter. **The Journal of Pain**, v.18, n.11, p. 1346-1353, 2017.
- Demos, K. E.; Kelley, W. M.; Ryan, S. L.; Davis F. C.; Whalen P. J. Human Amygdala Sensitivity to the Pupil Size of Others. **Cerebral Cortex**, v. 18, n. 12, p. 2729-2734, 2008.
- Ferreira E. B.; Cavalcanti P. P.; Nogueira D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.1.2. 2013.
- Helene, O.; Helene, A. F. Some aspects of the optics of the human eye. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1-8, 2011.
- Lamarca, D. S. F.; pereira, D. F.; Magalhaes, M. M.; Salgado, D. D. Climate Change in Layer Poultry Farming: Impact of Heat Waves in Region of Bastos, Brazil. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, n. 4, p. 657-664, 2018.
- Laeng, B.; Sirois, S.; Gredebäck, G. G. Pupillometry: a window to the preconscious? Perspect. **Psychological Science**, v. 1, n. 7, p. 18-27, 2012.

- Lempert, K. M.; Chen, Y. L.; Fleming, S. M. Relating Pupil Dilation and Metacognitive Confidence during Auditory Decision-Making. **PLoS One**, v. 10, n. 5, p. 1-12, 2015.
- Lopes Neto, J. P.; Marques, J. I.; Furtado, D. A.; Lopes, F. F. M.; Borges, V. P.; Araújo, T. G. P. Pupillary stress index: A new thermal comfort index for crossbred goats. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 866-871, 2018.
- Furlan, R. L.; Macari, M. Termorregulação. In: Macari, M.; Furlan, R.L.; Gonzales, E. (Eds.) **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p.209-230.
- Marques, J. I., Lopes-Neto, J. P., Nascimento, J. W. B., Talieri, I. C., Medeiros, G. R., Furtado, D. A. Pupillary dilation a thermal stress indicator in Boer crossbred goats maintained in a climate chamber. **Small Ruminant Research**, v. 158, n. 1, p. 26-29, 2018.
- Mendes, A. S. I.; Gudoski, D. C. I.; Cargnelutti A. F. I. I.; Silva, E. J. I.; Carvalho, E. H. I.; Morello, G. M. I. I. I. Factors that Impact the Financial Performance of Broiler Production in Southern States of Paraná, Brazil. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 16, n. 1, p. 113-120, 2014.
- Nahashon, S. N.; Adefope, N.; Amenyenu, A.; Tyus, J.; Wright, D. The effect of floor density on growth performance and carcass characteristics of French guinea broilers. **Poultry Science**, v. 88, n. 11, p. 2461–2467, 2009.
- Pedrotti, M.; Tedesco, A.; Mirzaei, M.A.; J Chardonnet, J.R. Automatic stress classification with pupil diameter analysis. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 30, n. 1, p.1-17, 2014.
- Stewart, M., Stafford, K. J., Dowling, S. K., Schaefer, A. L., Webster, J. R. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior**, v. 93, n. 1, p. 789-797, 2008.

**TROCAS TÉRMICAS DE CAPRINOS SUBMETIDOS À DIFERENTES
CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Jordânio Inácio Marques¹

Patrício Gomes Leite¹

Bruna Bezerra Cunha²

Washington da Silva Sousa¹

José Pinheiro Lopes Neto³

Dermeval Araújo Furtado³

RESUMO

A exposição de caprinos a temperaturas do ar elevadas induz a um aumento na dissipação do excesso de calor corporal na forma latente, podendo acarretar em danos fisiológicos e produtivos aos animais. Com isso, o objetivo da presente pesquisa foi quantificar os níveis de estresse térmico e as perdas de calor sensíveis e latentes de caprinos mestiços Boer submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática. Seis caprinos mestiços foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos às temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C e 68% de umidade relativa. A temperatura e a umidade relativa do ar foram coletadas para o cálculo do índice de temperatura e umidade (ITU) e das trocas térmicas. Foram coletadas as seguintes respostas fisiológicas: temperatura retal (TR) e superficial (TS) e frequência respiratório (FR), com isso, foram estimadas as trocas de calor por radiação (L), convecção (C_r), sensível total (G_s), latente do trato respiratório (E_r), cutâneo (E_c), latente total (E_t) e troca de calor total (W_t). Foram constatados valores de ITU classificados nas faixas de conforto térmico, estresse moderado e muito estressante, respectivamente, nas três condições avaliadas, onde verificou-se o aumento da TR, TS e FR. Em condições muito estressante os animais eliminaram cerca de 92% do excedente de calor metabólico de forma latente.

PALAVRAS-CHAVE: estresse térmico, repostas fisiológicas, trocas latentes, trocas sensíveis

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

Em regiões de clima semiárido o estresse térmico causa perdas significativas para os sistemas de produção animal (Hansen, 2009). Tais regiões são caracterizadas por apresentarem elevadas temperaturas do ar o que afeta direta e indiretamente a produção e a saúde dos animais explorados (Gaughan et al., 2009). O balanço térmico dos animais é afetado por diferentes elementos climáticos (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, movimentação do ar e precipitação), nível de adaptação dos animais e também pela intensidade de utilização dos mecanismos termorregulatórios (Collier et al., 2008).

Para se obter o máximo de produtividade na exploração comercial de caprinos em regiões de clima quente é necessário se adotar práticas visando manter estes, em ambiente térmico adequando onde a temperatura do ar se encontre dentro da zona de conforto térmico (ZCT) ou zona de termoneutralidade, em que não há gasto de energia ou atividade metabólica para aquecer ou resfriar o corpo (Marai & Haebe, 2010). Em condições de termoneutralidade as trocas de calor sensíveis são eficazes para a perda do excedente de calor metabólico (Leon & Gordon, 2011). Já quando a temperatura do ar excede a ZCT os mecanismos de trocas latentes passam a desempenhar um papel fundamental para o arrefecimento dos animais (Leon & Gordon, 2011).

A exposição a elevadas temperaturas do ar induz os animais a tentarem dissipar a carga excessiva de calor metabólico produzido, intensificando a utilização dos mecanismos de troca de calor por via latente. Caso os meios de troca de calor sensível e latente não sejam suficientes para a eliminação dessa carga térmica, têm-se o aumento da temperatura do núcleo corporal refletido na elevação da temperatura retal. Para lidar com isso, os mecanismos fisiológicos impulsionam a uma maior vasodilatação com o aumento do fluxo sanguíneo para a superfície da pele, aumentando também a sudorese e a frequência respiratória. Como consequência da intensificação do uso dos mecanismos termorregulatórios, ocorre a diminuição da ingestão de nutrientes e a redução da taxa metabólica o que afeta diretamente a produção e produtividade dos animais (Marai & Haebe, 2010).

Com isso, o objetivo da presente pesquisa foi quantificar os níveis de estresse térmico e as perdas de calor sensíveis e latentes de caprinos mestiços Boer submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015, em cumprimento dos Princípios Orientadores Internacionais de Pesquisa Biomédica Envolvendo Animais, conforme publicado pelo Conselho de Organizações Internacionais de Ciências Médicas (CIOMS, 2012).

Foram avaliados seis caprinos machos mestiços (($\frac{3}{4}$ raça Boer e $\frac{1}{4}$ sem padrão racial definido (NDRP)), selecionados de rebanhos destinados à reprodução de animais com aptidão à produção de carne, apresentando peso médio de $25,06 \pm 4,43$ kg e idade média de seis meses. Os animais foram alojados em baias de metal com dimensões de $1,15 \times 0,50 \times 0,84$ m de comprimento, largura e altura, respectivamente, dispostas no interior de uma câmara climática.

Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais). As temperaturas do ar propostas para a experimentação foram determinadas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos, mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, foram propostas três diferentes temperaturas médias controladas: T26 = 26 °C (zona de conforto térmico), T30 = 30 °C (temperatura limite entre as zonas de conforto e estresse térmico) e T34 = 34 °C (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de 68% e 0,5 m s⁻¹, respectivamente.

Para cada condição térmica estudada, foi adotado um período de cinco dias para adaptação dos animais ao ambiente controlado, bem como ao manuseio e alimentação. A coleta de dados foi realizada em um período de dez dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os animais foram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por cinco dias.

Em cada estágio de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um ciclo de 8/16 h (temperatura do ar experimental/temperatura do ar ambiente). A câmara era ligada sempre às 7:00 h., onde a primeira hora destinava-se à estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara. Após a estabilização da

temperatura e da umidade relativa do ar, o período experimental iniciava-se às 8:00 h estendendo-se até às 16:00 h.

A ração e água foram fornecidas *ad libitum*. A ração ofertada aos animais foi composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43.0% do volume total da ração, farelo de milho (26.6%), melação (2.5%), farelo de soja (24.0%), óleo de soja (2.0%), sal mineral (1.5%) e calcário calcítico (0.4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

A temperatura e a umidade relativa do ar no interno da câmara foram monitoradas, controladas e armazenadas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD[®] interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da *Full Gauge Controls*[®]. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, Termistor e Umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (*Setpoint*).

A temperatura de globo negro (Tgn) não foi coletada, sendo esta substituída nos cálculos das trocas térmicas pela temperatura de bulbo seco (TA), pelo fato dos animais terem sido alojados em câmara climática onde a iluminação era feita com lâmpadas fluorescentes (frias), havendo também baixo fluxo de ar e a radiação solar era efetivamente bloqueada e nesta situação, segundo Li et al. (2009) a diferença entre a Tgn e a TA pode ser desprezada.

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi usado para avaliar o nível de estresse térmico induzido pelo ambiente aos animais e foi calculado usando a equação relatada por Ravagnolo et al. (2000), conforme Equação 1.

$$ITU = (1,8 * TA + 32) - \{(0,55 - 0,0055 * UR) * (1,8 * TA - 26)\} \quad (1)$$

Onde,

ITU – índice de temperatura e umidade;

TA – temperatura do ar (°C);

UR – umidade relativa (%).

A temperatura superficial (TS) dos animais foi obtida através da média aritmética das temperaturas da frente, do pescoço, do lombo, do costado, do ventre e da canela com auxílio de um termômetro de infravermelho digital, conforme metodologia proposta por Lucena et al. (2013). A temperatura retal (TR) foi registrada através da

introdução de um termômetro clínico veterinário digital no reto do animal (a uma profundidade de ~2 cm) com o bulbo junto à mucosa retal, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura. A frequência respiratória (FR) foi obtida por meio da auscultação indireta das bulhas com auxílio de estetoscópio flexível durante o período de 20 s, realizando-se a extrapolação para um minuto (mov/min).

O comportamento do balanço energético dos animais no interior da câmara climática foi feito através do cálculo das trocas térmicas totais (C_t) por unidade de área de superfície dos animais, derivadas da soma das trocas de calor sensível (radiação e convecção) e latente (cutâneo e do trato respiratório). Para a determinação das trocas de calor sensíveis entre o meio circundante e os animais, por unidade de área superficial corporal, adotou-se o seguinte modelo de Turnpenny et al. (2000), conforme Equação 2:

$$G_s = C_R + L \quad (2)$$

Onde,

G_s – troca de calor sensível total entre o animal e o ambiente (W/m^2);

C_R – fluxo de calor por convecção (W/m^2);

L – fluxo de calor por radiação (W/m^2).

As trocas sensíveis por condução não foram incluídas na Equação 2, pelo fato de os animais terem sido alojados em baias metálicas onde havia pouco contato entre os animais e o piso que possuía superfície telada. O fluxo de calor por convecção, C_R , foi determinado pela Equação 3, proposta por McArthur (1987).

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{rh} * (TS - TA) \quad (3)$$

Onde,

C_R – fluxo de calor por convecção (W/m^2); ρ – densidade do ar (kg/m^3);

C_p – calor específico do ar ($J/kg K$);

rh – resistência da camada limite à transferência de calor por convecção ($m^2 K/W$);

TS – temperatura da superfície corporal (K);

TA – temperatura do ar (K).

A resistência da camada limite para a transferência de calor sensível depende da velocidade do vento, da geometria do corpo e da natureza da interface (Mitchell, 1974). Para caprinos expostos ao ar em movimento, com o tronco em ângulo reto com a

direção da corrente de ar, Frank & Nelson (1967) estabeleceram uma relação para se determinar a resistência da camada limite à perda de calor por convecção forçada que pode ser expressa pela Equação 4.

$$rh = \frac{\rho * C_p * d_b}{k * Nu} \quad (4)$$

rh – resistência da camada limite à transferência de calor por convecção (m² K/W);

ρ – densidade do ar (1,1614, kg/m³);

Cp – calor específico do ar (J/kg °C);

db – diâmetro médio do troco corporal dos animais (m);

k – condutividade térmica do ar (W/m K);

Nu – número de Nusselt.

O número de Nusselt foi determinado pela Equação 5, ao considerar-se a representação do corpo dos animais como sendo um cilindro.

$$Nu = 0,3 + 1,01 * Re^{0,48} \quad (5)$$

Onde,

Nu – número de Nusselt;

Re – número de Reynolds.

O número de Reynolds foi obtido pela Equação 6.

$$Re = \frac{V * d_t}{\nu} \quad (6)$$

Onde,

Re – número de Reynolds;

ν – viscosidade cinemática do ar (m²/s);

d_t – diâmetro de um globo negro padrão (m);

V – velocidade média de deslocamento do ar (0,5 m/s).

As trocas por radiação de ondas longas foram calculadas através da Equação 7, proposta por McArthur (1987). Considerou-se apenas radiação de ondas longas, pelo fato de não haver incidência de radiação solar direta no interior da câmara climática.

$$L = \frac{\rho * C_p}{R_r} * (T_s - \bar{T}_r) \quad (7)$$

Onde,

L – fluxo de calor por radiação (W/m²);

ρ – densidade do ar (kg/m³);

C_p – calor específico do ar (J/kg K);

R_r – resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação (m² K/W);

TS – temperatura da superfície corporal (K);

\bar{T}_r – temperatura radiante média (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada pela Equação 8.

$$R_r = \rho * C_p * (4 * \epsilon_s * \sigma * \bar{T}_M^3) \quad (8)$$

Onde,

R_r – resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação (m² K/W);

ρ – densidade do ar (kg/m³);

C_p – calor específico do ar (J/kg °C);

ε_s – emissividade da pele dos animais (0,98);

σ – constante de Stefan-Boltzmann (5,67051*10⁻⁸, W/m²K⁴);

\bar{T}_M – temperatura média entre TS e \bar{T}_r (K).

A temperatura radiante média foi obtida pela Equação 9, proposta por Silva (2000).

$$\bar{T}_r = \left[\frac{1,053 * h_c}{\sigma} * (T_{gn} - TA) \right] \quad (9)$$

Onde,

h_c – coeficiente de convecção de um globo negro padrão;

T_{gn} – temperatura de globo negro (K).

O coeficiente de convecção do globo negro padrão foi calculado pela Equação 10.

$$h_c = 0,38 * k * d_g * R_e^{0,6} * P_r^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

Onde,

k – condutividade térmica do ar (W/m K);

dg – diâmetro de um globo negro padrão (0,15 m);

Re – número de Reynolds;

Pr - número de Prandtl, adimensional.

O número de Prandtl foi obtido pela Equação 11.

$$P_r = \frac{\rho * C_p * v}{k} \quad (11)$$

Onde,

ρ - densidade do ar (kg/m³);

k - condutividade térmica do ar (W/m K);

C_p - calor específico do ar (J/kg °C);

v - viscosidade cinemática do ar (m²/s).

Considerou-se como trocas latentes totais (E_t) o processo de evaporação respiratória e as trocas cutâneas, adotando-se para isso o modelo apresentado na Equação 12, conforme Silva & Maia (2011).

$$E_t = E_r + E_c \quad (12)$$

Onde,

E_t – trocas latentes totais (W/m²);

E_r – fluxo de calor por evaporação respiratória (W/m²);

E_c – fluxo de calor por evaporação cutânea (W/m²).

Para o cálculo das trocas latentes advindas do trato respiratório dos animais, foi utilizada uma adaptação da relação empírica de Hutchinson (1954), determinado pela Equação 13.

$$E_r = (-3,5 * 10^{-3} * e_a + 23) * (T_{NC} - 311,2) \quad (13)$$

Onde,

E_r - fluxo de calor por evaporação respiratória (W/m²);

e_a - pressão de vapor do ambiente (kPa);

TNC - temperatura do núcleo corporal, representada pela temperatura retal (K).

Para estimar a perda de calor por evaporação cutânea (E_c), utilizou-se a equação desenvolvida por Silva & Maia (2011) que depende da temperatura da superfície dos animais (TS) conforme Equação 14.

$$E_c = 31,5 + 3,67 * e^{\frac{TS-27,9}{2,1915}} \quad (14)$$

Onde,

E_c – Fluxo de calor por evaporação cutânea (W/m^2);

TS – Temperatura superficial ($^{\circ}C$).

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, em função de cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por Silva (2000) (Tabela 1).

Tabela 1. Determinação das características do ar para as diferentes temperaturas avaliadas ($^{\circ}C$).

Características do ar	Equações	Unidades
Viscosidade cinemática	$v = 1.32909 * 10^{-5} + 9 * 10^{-8} * TA$	(m^2/s)
Densidade	$p = 1.289764 - 0.004111 * TA$	(kg/m^3)
Condutividade térmica	$k = 0.024324 + 6.2909 * 10^{-5} * TA$	($W/m^{\circ}C$)
Calor específico	$C_p = 1005.524 + 0.033714 * TA$	($J/kg^{\circ}C$)

A pressão parcial de vapor (e_a) foi calculada pelo produto entre a pressão de saturação de vapor d'água (e_s) e a umidade relativa do ar (UR) conforme Equação 15.

$$e_a = \frac{e_s * UR}{100} \quad (15)$$

Onde,

e_a – pressão parcial de vapor (kPa);

e_s - pressão de saturação de vapor de água (kPa);

UR – umidade relativa (%).

A pressão de saturação de vapor d'água foi calculada através da equação de Tetens (Equação 16).

$$e_s = 0,6108 * 10^{\frac{7,5 * TA}{237,3 + TA}} \quad (16)$$

Onde,

e_s - pressão de saturação de vapor de água (kPa);

TA – temperatura do ar ($^{\circ}C$).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios calculados da viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico (C_p) e pressão parcial de vapor no ar (e_a), assim como os adimensionais, Número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os três tratamentos avaliados.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão (%) da viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico (C_p) e pressão parcial de vapor no ar (e_a), assim como dos adimensionais, Número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para as três condições térmicas avaliadas.

Características do ar	Tratamentos		
	T26	T30	T34
Viscosidade cinemática (m ² /s)	1,56*10 ⁻⁵ ± 0,70%	1,59*10 ⁻⁵ ± 0,07%	1,63*10 ⁻⁵ ± 0,10%
Densidade (kg/m ³)	1,18 ± 0,04%	1,17 ± 1,89%	1,15 ± 7,80%
Condutividade térmica (W/m K)	0,03 ± 0,03%	0,03 ± 0,03%	0,03 ± 0,05%
Calor específico (J/kg °C)	1006,39 ± 0,00%	1006,52 ± 0,00%	106,65 ± 0,00%
Número de Nusselt	48,23 ± 0,032%	47,76 ± 0,03%	47,27 ± 0,05%
Número de Reynolds	4807,25 ± 0,07%	4704,94 ± 0,07%	4600,71 ± 0,10%
Número de Prandtl	0,72 ± 0,00%	0,72 ± 0,00%	0,71 ± 0,01%
Pressão de vapor	2,28 ± 7,01%	2,81 ± 4,16%	3,36 ± 2,60%

Os valores médios de ITU, Ta e UR foram apresentados em gráficos de dispersão (\pm SEM). Já os valores de TR, TS e FR foram plotados em diagramas de caixa (*boxplot*). A normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias das respostas fisiológicas e trocas térmicas foram testadas utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett ($P > 0,05$), respectivamente, posteriormente, os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANAVA) e teste F, utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software estatístico R versão 3.4.1. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ($P < 0,05$).

A correlação das respostas fisiológica TR, TS e FR com as trocas de calor sensível total e latente total, respectivamente, foram analisadas através de regressões lineares simples com intervalo de confiança de 95% e da avaliação da magnitude do coeficiente de correlação de Pearson.

RESULTADOS

Na Figura 1 estão representadas as variações médias da temperatura do ar, umidade relativa e ITU, no decorrer dos dez dias experimentais de exposição dos animais a cada nível do fator temperatura do ar. Pode-se observar uma amplitude de

0,54; 0,62 e 2,77 °C na temperatura do ar e 25,49; 18,14 e 19,38% na umidade relativa, nos tratamentos T26, T30 e T34, respectivamente. O índice de temperatura e umidade, nas temperaturas mais amenas (T26) foi registrado com valores próximos a 74, sofrendo acréscimo gradual em consequência do aumento dos níveis de TA, chegando a atingir valores superiores a 85 (acréscimo de 15%) nas maiores temperaturas do ar registradas.

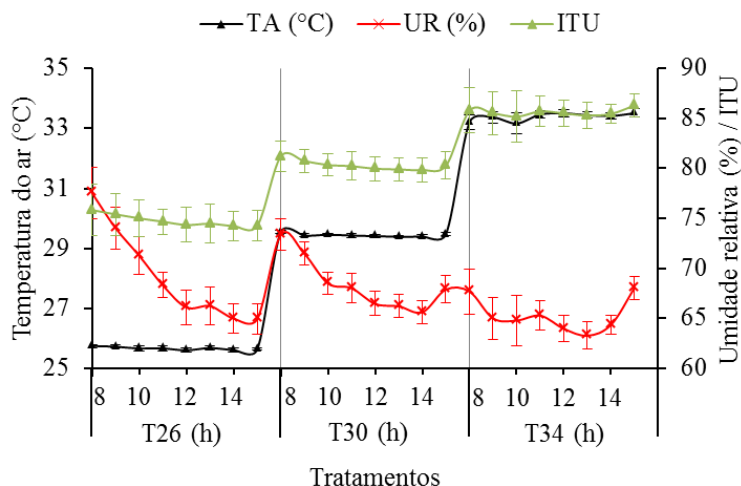
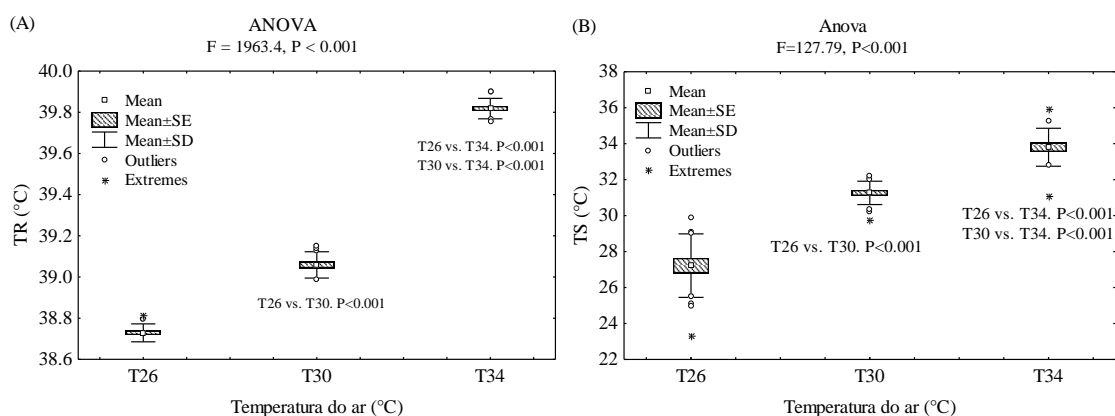


Figura 1. Valores horários médios de temperatura do ar, umidade relativa e ITU, registrados ao longo dos tratamentos T26, T30 e T34, respectivamente.

A elevação da temperatura do ar ocasionou o aumento significativo ($P < 0,05$) das respostas: temperatura retal (TR) e superficial (TS) e frequência respiratória (FR), conforme mostrado na Figura 2. Comparando-se os tratamentos T26 (dentro da ZCT) ao T34 (acima da ZCT), tem-se um aumento de 2,86; 24,18 e 105,12%, nas respostas TR, TS e FR, respectivamente.



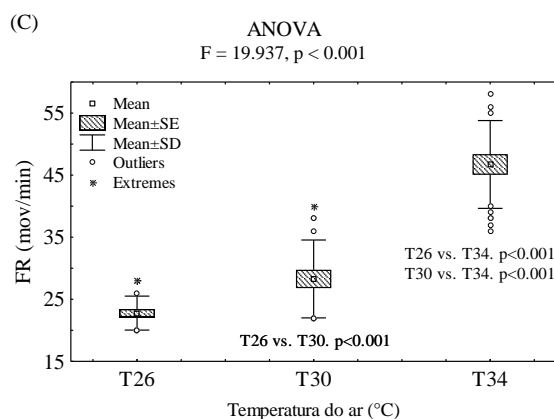


Figura 2. Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal (TR); (B) temperatura superficial (TS); e (C) frequência respiratória (FR), dos caprinos avaliados.

O acréscimo da temperatura do ar afetou significativamente ($P < 0,05$) a intensidade com que os animais trocavam calor, tanto da forma sensível quanto latente. Analisando-se a Tabela 3, pode-se observar que os animais passaram a perder calor com menos intensidade na forma sensível, passando a utilizar-se com maior intensidade dos mecanismos de troca de calor latente, conforme o aumento da temperatura do ar.

Tabela 3. Resumo da análise de variância e comparação de médias para os fluxos de calor por radiação (L), convecção (C_r), sensível total (G_s), latente do trato respiratório (E_r), cutâneo (E_c), latente total (E_t) e fluxo de calor total (W_t), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas.

Fonte de variação	GL	Trocias térmicas (p-valor)						
		L	C_r	G_s	E_r	E_c	E_t	W_t
Temperatura do ar	2	0,000**	0,000**	0,0000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
CV (%)	-	24,89	23,04	23,78	14,11	17,26	14,08	15,04
Tratamentos	Médias							
	L	C_r	G_s	E_r	E_c	E_t	W_t	
T26	16,16 a	10,70 a	26,86 a	8,53 c	36,09 c	44,62 c	71,48 c	
T30	13,34 b	8,53 b	21,87 b	14,69 b	51,77 b	66,46 b	88,34 b	
T34	7,20 c	4,12 c	11,22 c	25,15 a	102,24 a	127,70 a	137,31 a	

(**) efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0.01$); GL= grau de liberdade e CV = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Na Figura 3, pode-se observar o comportamento médio das trocas de calor sensíveis (radiação, convecção e total) e também do fluxo de calor latente cutâneo e do trato respiratório dos animais avaliados durante as oito horas diárias de experimentação para cada tratamento. Analisando-se o tratamento T26 têm-se que 38% da perda total de

calor metabólico pelos animais foi na forma sensível, sendo que desta porcentagem 60% por radiação e 40% por convecção, os outros 62% do excedente de calor produzido foi dissipado de forma latente, onde 19% foi eliminado pelo trato respiratório e 81% via cutânea.

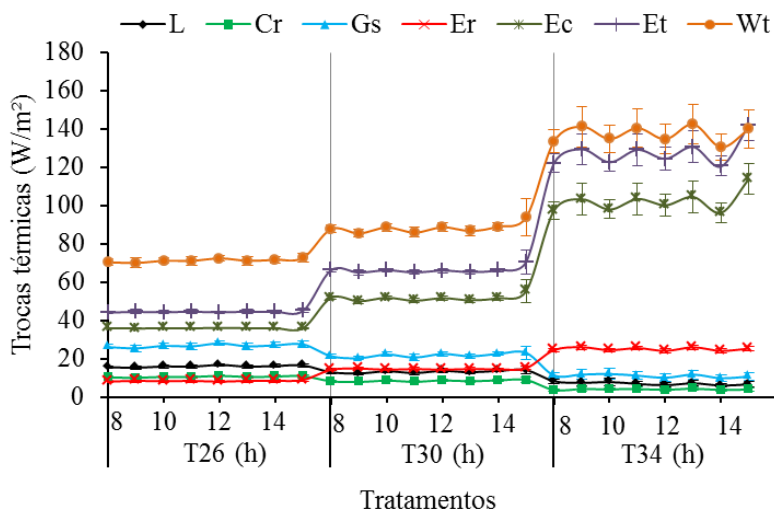


Figura 2. Estimativas dos fluxos de calor por radiação (L), convecção (Cr), sensível total (Gs), latente do trato respiratório (Er), cutâneo (Ec), latente total (Et) e fluxo de calor total (Wt), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas.

No tratamento T30 os animais reduziram a capacidade de dissipação de calor corporal de forma sensível, passando a dissipar apenas 25% do calor metabólico excedente por essa via, não alterando expressivamente a contribuição das trocas de calor por radiação (61%) e convecção (39%) em relação a troca de calor sensível total. Com isso, os animais passaram a perder 75% do excedente de calor metabólico corpóreo de forma latente, onde o trato respiratório elevou sua contribuição para a perda de calor latente total em 3%, ou seja, passou a liberar 22% deste total, e conseqüentemente houve a redução para 78% da contribuição da perda de calor pela epiderme.

No tratamento T34 houve uma queda acentuada na capacidade de dissipação de calor sensível total dos animais, passando a dissipar apenas 8% do excesso de calor metabólico total, sendo 64% deste por radiação e 36% por convecção. Os mecanismos de troca de calor latente passaram a dissipar 92% de todo o calor produzido pelos animais, ficando o trato respiratório responsável por dissipar 20% deste total e a epiderme por eliminar os outros 80%.

As correlações entre as respostas fisiológicas temperatura retal (TR), temperatura superficial (TS) e frequência respiratória (FR) com as perdas de calor sensível total (Gs) e latente total (Et) são apresentadas na Figura 4, com um intervalo de confiança de 95%.

As três respostas fisiológica avaliadas apresentaram correlação negativa significativa ($P < 0,05$) com a G_s , tendo apresentando ainda, correlação positiva significativa ($P < 0,05$) com E_t . Dentre as respostas avaliadas, a temperatura superficial apresentou melhor correlação com G_s , apresentando coeficiente de correlação de -0.643, seguida das respostas TR e FR que apresentaram r de -0.640 e -0.604, respectivamente. Já para a perda de calor latente total a resposta TR apresentou melhor correlação, com $r = 0.951$, seguida da FR e TS com coeficientes de correlação de 0.873 e 0.808, respectivamente.

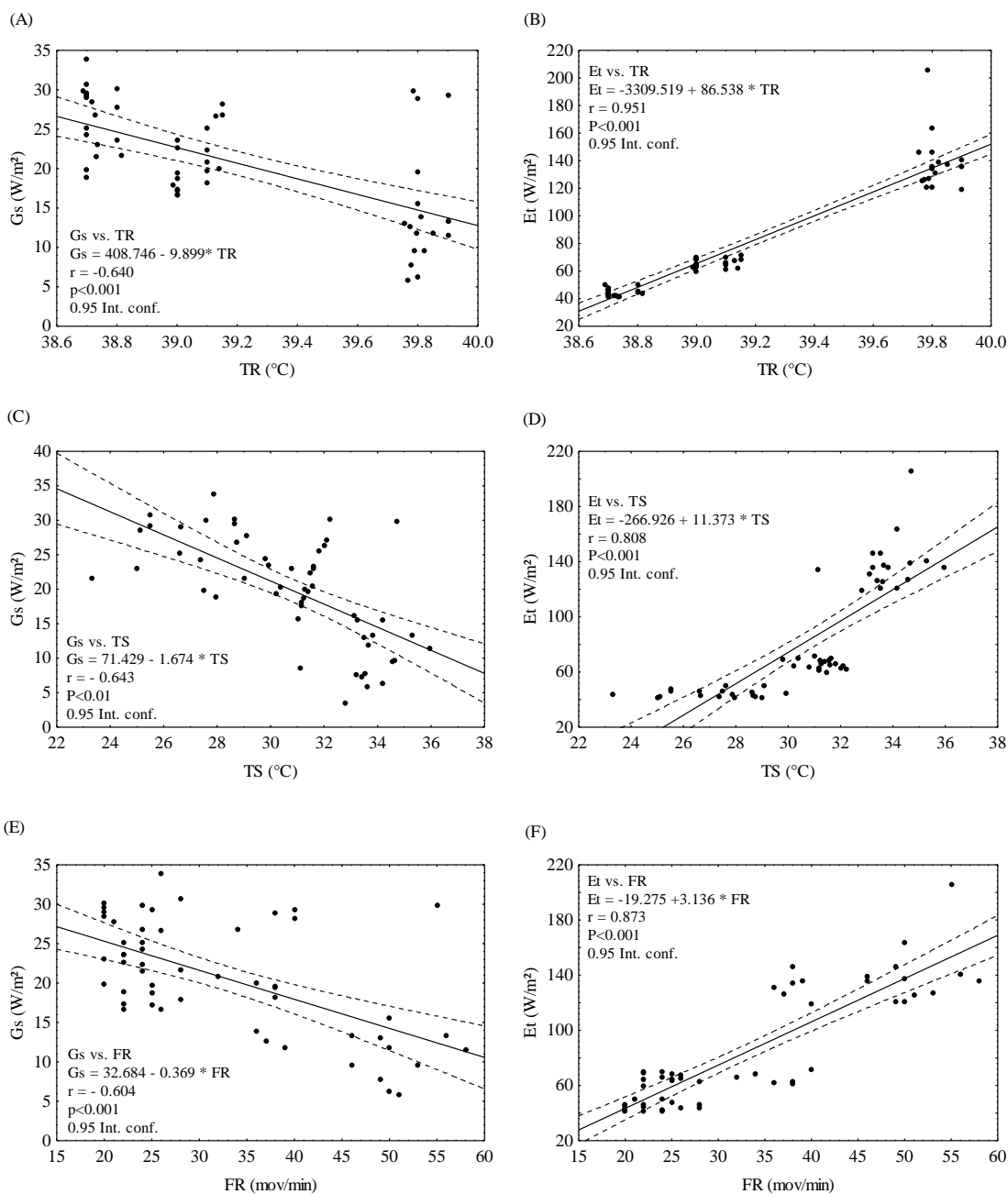


Figura 3. Correlação entre as respostas fisiológicas dos animais e as trocas de calor sensível total e latente total.

DISCUSSÃO

O índice temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido como um índice de segurança climática, para monitorar as perdas relacionadas ao estresse térmico. A sensibilidade às elevadas temperaturas do ar varia entre as espécies de animais (Archana et al., 2018). O ITU é geralmente classificado em diferentes faixas para indicar o nível de estresse térmico sofrido pelos animais (Rout et al., 2017). Silanikove and Koluman (2015) ao avaliarem caprinos na região semiárida da Índia, definiram faixas de ITU que podem ser classificadas como 74 ou menos (confortável), 75-79 (estresse moderado), 80-85 (estressante), 86-88 (muito stressante) e 88 ou mais (sofrimento extremo). Com isso, têm-se que os animais avaliados na presente pesquisa no tratamento T26 estavam em condições de conforto térmico, passando para uma condição de estresse moderado em T30, posteriormente no tratamento T34 os animais enfrentaram condições térmicas severas (muito stressante), pois os valores médios de ITU registrados ao longo das oito horas de experimentação diárias durante este período foram superiores a 85.

Observando-se o comportamento da temperatura retal na faixa de ITU considerada confortável (T26), têm-se que a mesma se situou próxima a 38,5 °C, que segundo Avendaño-Reyes et al. (2006) é a TR considerada normal para caprinos mantidos em condições de conforto térmico.

Quando comparados os valores da temperatura retal na faixa de ITU confortável (T26) com a TR observada nas faixas de estresse moderado (T30) e stressante (T34), têm-se um aumento de 0,34 e 1,11 °C, respectivamente. A elevação da TR nas condições de estresse térmico indica que os mecanismos de troca de calor dos animais não foram suficientes para a eliminação do excesso de calor metabólico produzido, visto que a elevação da TR em 1 °C, já pode acarretar perdas significativas na produtividade dos animais (McDowell et al., 1976). Assim como na presente pesquisa, Phulia et al. (2010) relataram incremento na TR (de 38,97 para 39,35 °C) quando caprinos foram expostos a condições de elevadas temperaturas ambientes por período superiores a 6 h.

Analisando-se o comportamento da temperatura superficial (TS) dos animais avaliados ao longo dos três tratamentos experimentais, observa-se o aumento significativo ($P < 0,05$) da TS com a elevação da temperatura do ar e conseqüentemente uma redução do gradiente térmico entre TS e TA, que foi reduzido de 1,55 para 0,35 °C, quando comparados os tratamentos T26 com T34. Esse aumento da TS se justifica pela elevação do fluxo sanguíneo para a superfície corporal e a vasodilatação, elevando

assim a temperatura da pele, para facilitar a dissipação de calor por mecanismos não evaporativos (condução, convecção e radiação) (Souza et al., 2012). Souza et al. (2008) justificam que quando a temperatura do ar se eleva, o gradiente térmico entre a superfície do corpo e o meio decresce, conforme observado no presente estudo, dificultando assim a dissipação de calor via mecanismos de trocas sensíveis, tendo o animal que recorrer aos mecanismos de troca de calor por meios evaporativos (cutâneo e/ou frequência respiratória) para eliminar calor.

A frequência respiratória nas condições de ITU confortável e de estresse moderado foi comparável à FR de referência para caprinos adultos, que está compreendida entre 15 e 30 mov/min (Pugh and Baird, 2012). Quando observada a resposta FR na condição de ITU muito estressante (T34) constata-se um aumento de aproximadamente 56% da FR, acima do limite superior estabelecido pela literatura, evidenciando que os animais utilizaram com maior intensidade esse mecanismo para eliminação do excedente de calor produzido, de forma evaporativa pelo trato respiratório (Hamzaoui et al., 2013).

Em relação ao comportamento das trocas térmicas entre os animais e o meio, em função dos tratamentos testados, têm-se que quando submetidos ao tratamento T26 apesar dos animais terem perdido maior parte do calor metabólico excedente de forma cutânea (latente) os mesmos se encontravam em condições de homeostase sendo que Maia et al. (2015) e Ligeiro et al. (2006) relatam que para caprinos mestiços expostos a temperatura do ar similar a avaliada neste tratamento, os animais podem perder até 60 W/m² através da epiderme. Outra resposta que evidencia a condição de conforto térmico dos animais é a quantidade de calor perdida por meio do trato respiratório que correspondeu apenas a 12% (8.53 W/m²) da perda de calor total dos caprinos, visto que a frequência respiratória foi constatada dentro do limite de normalidade para a espécie. Conforme Maia et al. (2016) em condições de conforto térmico com temperatura variando entre 26 e 30 °C e umidade do ar entre 50 e 70% os caprinos podem perder até 12 W/m² da quantidade de calor metabólico excedente através do trato respiratório, sem alterações expressivas no funcionamento dos mecanismos termorregulatórios.

De acordo com Maia et al. (2016) caprinos submetidos a temperaturas do ar abaixo de 26 °C eliminam o excesso de calor metabólico para o ambiente basicamente através da convecção livre e radiação de ondas longas. Quando os animais são expostos a temperaturas na faixa de 26 a 30 °C que são próximas às temperaturas do ar experimentadas nos tratamentos T26 e T30, a perda de calor na forma latente passa

ganhar importância progressiva (Maia et al., 2016), com isso têm-se que nestas duas condições avaliadas os mecanismos de troca de calor latente, em especial por via cutânea desempenharam o papel de maior importância para o controle da homeotermia.

As elevadas contribuições das trocas térmicas evaporativas através da epiderme em detrimento da reduzida contribuição das trocas convectivas para dissipação do excedente de calor metabólico produzido pelos animais em condições de conforto térmico deram-se em função da baixa movimentação do ar no interior da câmara climática que foi em torno de 0,5 m/s.

Os animais quando submetidos às condições de T30, intensificaram a dissipação de calor na forma evaporativa e conseqüentemente houve a redução das perdas de calor na forma sensível, este comportamento corrobora com o estudo desenvolvido por Maia et al. (2016) e conforme os autores, em temperaturas do ar iguais ou superiores a 30 °C, a perda de calor latente é a principal via de dissipação do excedente de calor metabólico total produzido. Outro fato que pode ser observado é que os animais elevaram significativamente ($P < 0,05$) as perdas de calor na forma latente pelo trato respiratório, chegando a ultrapassar as perdas de calor por condução e radiação.

Observando-se o tratamento T34, onde ocorreram as maiores temperaturas do ar (condições estressantes de ITU) avaliadas na presente pesquisa, nota-se que quase a totalidade do excedente de calor metabólico produzido pelos animais foi dissipado na forma evaporativa (92%), tendo ainda como maior contribuição as perdas cutâneas, porém nota-se ainda que os animais elevaram significativamente ($P < 0,05$) em 105% a frequência respiratória nestas condições quando comparado ao tratamento T26, onde os animais passaram a dissipar um total de 25 W/m² de calor pelo trato respiratório, caracterizando uma condição de elevado estresse térmico aos animais, visto que este mais que dobrou o valor de referência (12 W/m²) citado por Maia et al. (2016), para caprinos em situação de conforto térmico.

Analisando-se as correlações entre as trocas sensíveis totais (G_s) e latentes totais (E_t) com as respostas fisiológicas TR, TS e FR pode-se notar que as três respostas fisiológicas avaliadas se correlacionaram significativamente ($P < 0,05$) com as trocas térmicas. Conforme a elevação da TR, TS e FR pode-se notar uma redução progressiva na quantidade de calor pedido para o meio, na forma sensível, visto que estas repostas apresentaram correlações negativas com a G_s . Tal comportamento reflete a dificuldade que os animais passaram a ter para perder calor na forma sensível, conforme a elevação da temperatura do ar e, por conseguinte da redução do gradiente térmico, tendo os

animais que redirecionar o uso das reservas energéticas para a ativação e intensificação dos mecanismos de termorregulação, justificando-se assim o aumento linear da E_t conforme se eleva a TR, TS e FR.

Com base na magnitude dos coeficientes de determinação de Pearson, dentre as respostas fisiológicas, a temperatura superficial ($r = -0,643$) se destaca como sendo a resposta fisiológica que melhor representa o comportamento das trocas de calor na forma sensíveis de caprinos Boer submetidos às condições ambientais testadas. A superfície corporal dos animais, mantém contato direto como a meio circundante, e sua temperatura sofre influência direta da variação da temperatura do ar, ocasionando variações na capacidade de troca de calor por meio sensível, sendo que esta capacidade de perda de calor está relacionada diretamente com o gradiente térmico entre a temperatura superficial e a do meio (Souza et al., 2008).

As três respostas fisiológicas avaliadas apresentaram elevados coeficiente de correlação de Pearson com as trocas de calor latentes totais (G_s), sendo que a TR apresentou o maior coeficiente (0,951), mostrando que esta é um indicador sensível de equilíbrio térmico dos animais, e também evidencia a ocorrência da ativação dos mecanismos termorregulatórios evaporativos, para manter a temperatura do núcleo corpóreo dentro dos limites de normalidade diante das adversidades do ambiente (Kadzere et al., 2002).

CONCLUSÕES

Com base nos ITUs constatados nos três tratamentos avaliados, têm-se que os animais foram expostos a condições de conforto térmico, estresse moderado e muito estressante, respectivamente. Em condições de estresse moderado e muito estressante os animais elevaram a temperatura retal, frequência respiratória e temperatura superficial. Em condições térmicas muito estressantes os animais perderam quase que a totalidade (92%) do excedente de calor metabólico de forma latente. Com a elevação da temperatura do ar, as repostas temperatura superficial e temperatura retal apresentaram respectivamente maiores correlações com as trocas de calor sensível total e latente total.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e financiamento da pesquisa processo nº 445393/2014-9.

REFERÊNCIAS

- Archana, P. R.; Sejian, V.; Ruban, W.; Bagath, M.; Krishnan, G.; Aleena, J.; Manjunathareddy, G. B.; Beena, V.; Bhatta, R. Comparative assessment of heat stress induced changes in carcass traits, plasma leptin profile and skeletal muscle myostatin and HSP70 gene expression patterns between indigenous Osmanabadi and Salem Black goat breeds. **Meat Science**, v. 141, n. 1, p. 66-80, 2018.
- Avendaño-Reyes, L.; Torres-Rodríguez, V.; Meraz-Murillo, F. J.; Pérez-Linares, C.; Figueroa-Saavedra, F.; Robinson, P. H. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 12, p. 3259-3265, 2006.
- Collier, R. J.; Collier, J. L.; Rhoads, R. P.; Baumgard, L. H. Invited Review: Genes Involved in the Bovine Heat Stress Response¹. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 2, 445-454, 2008.
- Frank, W.; Nelson, G. L. Nonevaporative Convective Heat Transfer from the Surface of a Bovine. **Transactions of the ASAE**, v. 10, n. 6, p. 733-0737, 1967.
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.1.2., 2013.
- Gaughan, J.; Lacetera, N.; Valtorta, S. E.; Khalifa, H. H.; Hahn, L.; Mader, T. Response of Domestic Animals to Climate Challenges. In: Ebi, K. L.; Burton, I.; McGregor, G. R. (Eds.). **Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change**. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 131-170, 2009.
- Hamzaoui, S.; Salama, A. A. K.; Albanell, E.; Such, X.; Caja, G. Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 10, p. 6355-6365, 2013.
- Hansen, P. J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1534, p. 3341-3350, 2009.
- Hutchinson, J. C. D. Evaporative cooling in fowls. **The Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 1, p. 48-59, 1954.
- Kadzere, C. T.; Murphy, M. R.; Silanikove, N.; Maltz, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002.
- Leon, L. R.; Gordon, C. J. Thermal Stress. **Research Institute of Environmental Medicine**, v. 01, n. 1, p. 334-339, 2011.

- Li, S.; Gebremedhin, K. G.; Lee, C. N.; Collier, R. J. Evaluation of thermal stress indices for cattle. In American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009, ASABE 2009 (pp. 2283-2302). (American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009, ASABE 2009; Vol. 4), 2009.
- Ligeiro, E. C.; Maia, A. S. C.; Silva, R. G.; Loureiro, C. M. B. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 544-549, 2006.
- Maia, A. S. C.; Silva, R. G.; Nascimento, S. T.; Nascimento, C. C. N.; Pedroza, H. P.; Domingos, H. G. T. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 1, p. 1025-1033, 2015.
- Maia, A. S. C.; Nascimento, S. T.; Nascimento, C. C. N.; Gebremedhin, K. G. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 58, n. 1, p. 43-49, 2016.
- Marai, I. F. M.; Haezeb, A. A. M. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. **Livestock Science**, v. 127, n. 2-3, p. 89-109, 2010.
- McArthur, A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**, v. 126, n. 2, p. 203-238, 1987.
- McDowell, R. E.; Hooven, N. W.; Camoens, J. K. Effect of Climate on Performance of Holsteins in First Lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 5, p. 965-971, 1976.
- Phulia, S. K.; Upadhyay, R. C.; Jindal, S. K.; Misra, R. P. Alteration in surface body temperature and physiological responses in Sirohi goats during day time in summer season. **Indian Journal of Animal Sciences**, v. 80, n. 4, p. 340-342, 2010.
- Pugh, D. G.; Baird, A. N. Dedication, In: Pugh, D. G.; Baird, A. N. (Eds.). **Sheep and Goat Medicine (Second Edition)**, W.B. Saunders, Saint Louis, p. v., 2012.
- Ravagnolo, O.; Misztal, I.; Hoogenboom, G. Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. **Journal of Dairy Science**, v. 83 n. 9, p. 2120-2125, 2000.
- Silanikove, N.; Koluman, N. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive

- role of dairy goats in adaptation to earth warming. **Small Ruminant Research**, v. 123, n. 1, p. 27-34, 2015.
- Silva, R. G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 1244-1252, 2000.
- Silva, R. G.; LaScala Jr., N.; Lima-Filho, A. E.; Catharin, M. C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v. 46, n. 1, p. 136–140, 2002.
- Silva, R. G.; Maia, A. S. C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, p. 1143-1147, 2011.
- Souza, B. B.; Souza, E. D.; Cezar, M. F.; Souza, W. H.; Santos, J. R. S.; Benicio, T. M. A. Superficial temperature and index of tolerance to the heat of goat of different genetic groups in semi-arid. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 275-280, 2008.
- Souza, P. T.; Salles, M. G. F.; Araújo, A. A. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. **Ciência Rural**, v. 42 n. 10, p. 1888-1895, 2012.
- Turnpenny, J. R.; McArthur, A. J.; Clark, J. A.; Wathes, C. M. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 101, n.1, p. 15-27, 2000.

TROCAS TÉRMICAS E RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE GALINHAS-D'ANGOLA (*NUMIDIA MELEAGRIS*) SUBMETIDAS A DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

Jordânio Inácio Marques¹

Patrício Gomes Leite¹

Bruna Bezerra Cunha²

Washington da Silva Sousa¹

Dermeval Araújo Furtado³

Nítalo André Farias Machado¹

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as trocas térmicas e as respostas fisiológicas de galinhas-d'angola confinadas em condições termoneutras e sob estresse térmico. Para o experimento, 96 animais foram confinados em 8 boxes experimentais de 1 m² de área, cada, divididas em igual número e colocadas dentro de duas câmaras climáticas distintas, onde as aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (temperaturas do ar de 26 e 32°C, respectivamente), sendo avaliadas 16 aves por tratamento experimental. Foram mensuradas as variáveis ambientais no interior das câmaras climáticas (temperatura do ar (TA), umidade relativa do ar e velocidade do vento), o índice de temperatura e umidade (THI), as trocas de calor e as respostas fisiológicas das aves (frequência respiratória, temperatura da superfície, temperatura cloacal e temperatura do globo ocular). Com a elevação da TA, pôde-se perceber que o ITU passou de uma condição de conforto térmico para uma condição de emergência, onde as aves perderam parte de suas penas e elevaram todas as respostas fisiológicas avaliadas e, conseqüentemente, reduziram em 53,5% a quantidade de calor dissipado na forma sensível e aumentaram em 82,7% as perdas de calor na forma latente.

PALAVRAS-CHAVE: avicultura alternativa, frango de corte, estresse térmico, confinamento de aves

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

As galinhas-d'angola são aves rústicas, que suportam as altas temperaturas do ar sem grandes prejuízos fisiológicos e produtivos (Marques et al. 2021), destacando-se como animais potenciais para serem explorados em países de clima tropical, como é o caso do Brasil. A região Nordeste do Brasil possui um clima predominantemente semiárido, tipicamente quente e seco, com longas estiagens, nessas regiões as temperaturas do ar registradas ao longo do dia muitas vezes ultrapassam o limite superior da zona de conforto térmico da maioria dos animais de produção (Baracho et al. 2019; Lara e Rostagno 2013), o que dificulta o desenvolvimento da atividade pecuária de forma competitiva, em comparação com outras regiões do país e do mundo.

Para a exploração industrial de animais com fins zootécnicos nessas regiões, muitas vezes é necessário adotar sistemas de climatização, o que pode, em alguns casos, inviabilizar a atividade devido ao aumento dos custos de produção. Uma das formas de reduzir os gastos com equipamentos destinados a manter a temperatura e a umidade relativa do ar nas faixas desejadas é selecionar espécies adaptadas ao ambiente local, de modo que suas ferramentas termorreguladoras sejam suficientes para manter a homeotermia, mesmo diante de adversidades climáticas. É de suma importância a realização de pesquisas que investiguem a influência das variáveis ambientais nos aspectos termodinâmicos que envolvem os animais a fim de possibilitar sua exploração intensiva, fornecendo dados que possam efetivamente causar impactos significativos no desenvolvimento da pecuária local.

A produção industrial convencional de frango de corte é uma atividade que apresenta alta eficiência produtiva, devido aos avanços tecnológicos e genéticos, consolidando o Brasil como um dos maiores produtores do mundo (ABPA 2018), o que ainda não ocorre na criação de galinhas-d'angola, principalmente pela ineficiência dos sistemas de criação adotados (Marques et al. 2021). Uma das formas dos produtores industriais convencionais aumentarem a eficiência produtiva é através da adoção de sistemas de confinamento adequados (Arruda et al. 2021), técnicas que podem ser replicadas para viabilizar a exploração intensiva de galinhas d'angola.

Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar as trocas térmicas e as respostas fisiológicas de galinha d'angola sob condições termoneutras e sob estresse térmico, confinadas em câmaras climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Paraíba, Brasil, Protocolo CEP nº 020/2019.

Para a experimentação foram utilizadas duas câmaras climáticas (EOS[®], TR-18, Minas Gerais, Brasil, faixa de temperatura de 15,0-50,0 °C e precisão de $\pm 1,0$ °C) com dimensões de 3,1 \times 2,8 \times 2,6 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, localizadas no Laboratório de Construções Rurais e Ambientes, vinculado à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG, cuja planta baixa com disposição dos equipamentos e boxes experimentais está detalhada na Figura 1.

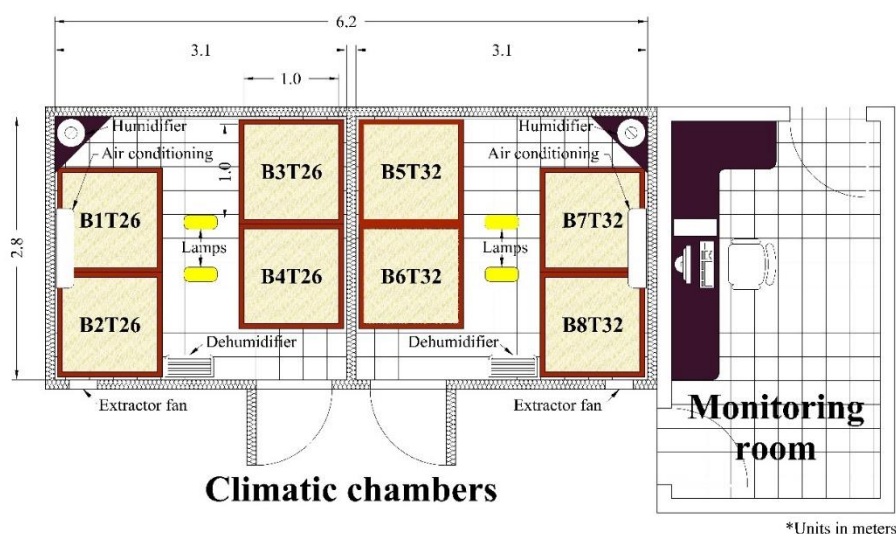


Figura 1. Planta baixa das câmaras climáticas, com a disposição dos equipamentos e boxes experimentais com a identificação dos respectivos tratamentos. Abreviações: B: caixa experimental, T26: temperatura do ar 26°C e T32: temperatura do ar 32°C.

Noventa e seis pintos não sexados de galinha d'angola (*Numidia meleagris*) com um dia de idade foram adquiridos em incubatórios comerciais da região, e as aves foram vacinadas contra doença de Marek, varíola aviária e bronquite infecciosa. Na fase pós-eclosão, as aves foram mantidas em ambiente aquecido artificialmente, com temperatura média de 33 °C, que foi sendo reduzida gradativamente até atingir a temperatura do ar

experimental, no 15º dia de vida das aves, quando os animais foram transferidos para os boxes experimentais, para adaptação ao manejo e dieta experimental.

O período experimental teve início aos 21 dias de vida das aves, onde foram individualmente pesadas e marcadas com anéis plásticos com cores diferentes para suas respectivas identificações, estendendo-se o período experimental de 29/06/2019 a 06/09/2019, totalizando um período experimental total de 70 dias. Durante o experimento, as aves foram expostas a um período de 23 horas consecutivas de iluminação com uma hora de escuridão.

As aves foram alojadas em oito boxes experimentais com dimensões de 1,0 × 1,0 × 0,9 m de comprimento, largura e altura, respectivamente, que foram colocadas dentro das câmaras climáticas (Figura 1), onde a densidade de alojamento adotada foi de 12 aves/m², conforme recomendado por Nahashon et al. (2009), para galinha d'angola. Todos os boxes experimentais eram equipados com bebedouros tubulares e pendulares e o piso era de porcelanato e coberto por uma cama de maravalha, que era substituída sempre que necessário.

As aves foram distribuídas em quatro boxes experimentais localizados dentro de cada câmara climática, em delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (temperaturas do ar) e 16 repetições (sendo avaliadas quatro aves por box experimental). As temperaturas do ar adotadas no experimento foram tomadas com base nas faixas de conforto e estresse térmico para aves de corte propostas por Macari et al. (2002), a saber: 26 °C (dentro da zona de conforto térmico) e 32 °C (acima da zona de conforto térmico) com umidade relativa média de 65±5%.

Durante todo o período experimental, as aves receberam água e ração *ad libitum*, e as dietas foram formuladas com base nas recomendações do NRC (1994), para frangos de corte, onde é recomendada uma dieta de 3.200 kcal/kg de energia metabolizável e aproximadamente 23, 20 e 18% de proteína bruta nas fases inicial, de crescimento e final, respectivamente.

A temperatura do ar no interior das câmaras climáticas foi controlada por meio de dois controladores e indicadores digitais de temperatura e umidade relativa (*Full Gauge Controls*®, MT-530 PLUS, Rio Grande do Sul, Brasil, faixas de operação de 10 a 85% UR e de -10 a 70 °C TA) com comunicação serial com o software Sitrad®. O controlador recebeu os dados médios de temperatura e umidade relativa do ar através de um sensor combinado de temperatura e umidade relativa (*Full Gauge Controls*®, SB56, Rio Grande do Sul, Brasil, faixas de operação de -10 a 70 °C TA, 10 a 85% UR,

precisão $\pm 5\%$), a cada 15 min, registrando e controlando a temperatura do ar de forma a permanecer sempre na faixa de controle desejada (*Setpoint*), utilizando para isso os equipamentos detalhados na Figura 1. Nas câmaras climáticas foram desativados os umidificadores e os desumidificadores de ar, de modo a não interferirem na quantificação do balanço de energia entre as aves e o ambiente, com isso, para o cálculo das trocas térmicas foi considerado que toda a umidades acrescida no ar no interior das câmaras climáticas, adveio das trocas térmicas evaporativas das aves.

Como dados ambientais foram coletados a temperatura do ar (TA), temperatura de bulbo úmido (TBU), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (VV). Para a coleta da TA e da TBU, foram utilizados sensores de temperatura encapsulados DS18B20 (*Maxim Integrated™*, DS18B20, Califórnia, Estados Unidos, faixa de temperatura de operação de -55 a 125 °C, precisão de $\pm 0,5$ °C), onde para a medição de TBU o bulbo do sensor foi envolto em tecido de algodão e parte deste tecido foi submerso em um recipiente com água para mantê-lo sempre úmido. A UR foi coletada usando sensores DHT22 (*Guangzhou Aosong Electronic Co., Ltd.*, AM2302, Guangzhou, China, faixa de medição de 0 a 100% UR, precisão $\pm 2,0\%$ UR).

Para uma melhor representatividade das variáveis TA e TBU dentro das câmaras climáticas, como um todo, quatro conjuntos de sensores DS18B20 (com dois sensores cada) foram distribuídos em posições estratégicas, sendo um conjunto posicionado no centro geométrico de cada caixa experimental, à altura aproximada da cabeça das aves e outro conjunto de sensores localizados no centro geométrico de cada câmara climática (a uma altura aproximada de 1,8 m), sendo o TA e a TBU expressas como a média dos valores verificados em cada posição. Os dados capturados pelos sensores foram lidos e armazenados através de uma placa baseada em um microcontrolador ATmega2560 (Arduino®, Mega 2560, Itália).

A velocidade do vento foi coletada usando um Anemômetro Termo-Higro-Luxímetro-Digital (Lutron®, LM-8000, Pensilvânia, Estados Unidos, faixa de medição de faixa de temperatura de 0,4 a 30,0 m/s e Precisão $\pm 3,0\%$), que foi posicionado para ler os dados na região central de cada um dos boxes experimentais (na altura das cabeças das aves) e também no centro geométrico de cada uma das câmaras climáticas a uma altura de 1,8 m, sendo a VV finalmente expressa como o média aritmética desses valores.

A umidade relativa do ar foi monitorada em duas posições específicas dentro das câmaras climáticas, sendo instalado um sensor DHT22 em cada câmara próximo à saída

do ar condicionado e outro sensor do mesmo modelo próximo ao exaustor, possibilitando o registro da umidade relativa do ar na entrada e na saída do sistema termodinâmico, para permitir a estimativa das trocas térmicas por vias latentes realizadas entre as aves e o ambiente circundante.

Para a estimativa das trocas térmicas não foi coletada a temperatura de globo negro (TGN), sendo substituída nos cálculos pela temperatura do ar, pois como os animais eram alojados em câmaras climáticas, onde a iluminação era feita com lâmpadas fluorescentes (frias), onde também havia um baixo fluxo de ar e a radiação solar era efetivamente bloqueada, nesta situação, segundo Li et al. (2009) a diferença entre TGN e TA pode ser negligenciada.

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi calculado para quantificar os níveis de estresse térmico experimentados pelos animais (24 horas por dia) durante todo o período experimental, de acordo com a Equação 1 proposta por Tao e Xin (2003), para aves. Com base nos valores encontrados, o ITU foi classificado de acordo com as seguintes faixas: <27,8 = ausência de estresse térmico; 27,8-28,9 = estresse térmico moderado; 28,9-30,0 = estresse térmico severo e 30,0 ou mais = estresse térmico muito severo (Sinkalu et al. 2015).

$$ITU = 0.85*TA + 0.15*TBU \quad (1)$$

Onde,

ITU – índice de temperatura e umidade;

TA – temperatura do ar (°C);

TBU – temperatura de bulbo úmido (°C).

O balanço energético entre os animais e o ambiente no interior das câmaras climáticas foi avaliado com base nas trocas de energia térmica totais (W_T) por unidade de área de superfície das aves, resultante da soma das trocas de calor sensível (radiação e convecção) e latente.

Para a determinação das trocas de calor por meios sensíveis entre o meio circundante e as aves, por unidade de área superficial corporal, foi adotado o modelo de Turnpenny et al. (2000), conforme Equação 2.

$$G_s = C_R + L \quad (2)$$

G_s – trocas de calor sensível entre a ave e o ambiente (W/m^2);

C_R – trocas de calor por convecção (W/m²);

L – trocas de calor por radiação (W/m²).

As trocas sensíveis por condução não foram incluídas na Equação 2 por serem consideradas desprezíveis (McArthur, 1987). As trocas de calor por convecção, C_R , foram determinadas pela Equação 3, proposta por McArthur (1987).

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{rh} * (TS - TA) \quad (3)$$

Onde,

C_R – trocas de calor por convecção (W/m²);

ρ – densidade do ar (kg/m³);

C_p – calor específico do ar (J/kg K);

rh – resistência da camada limite à transferência de calor por convecção (m² K/W);

TS – temperatura média da superfície corporal da ave (K);

TA – temperatura do ar (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por convecção foi calculada pela Equação 4 (Frank & Nelson, 1967).

$$rh = \frac{\rho * C_p * d_b}{k * Nu} \quad (4)$$

Onde,

rh – resistência da camada limite à transferência de calor por convecção (m² K/W);

ρ – densidade do ar (kg/m³);

C_p – calor específico do ar (J/kg K);

d_b – diâmetro corporal médio das aves (m);

k – condutividade térmica do ar (W/m K);

Nu – número de Nusselt.

O cálculo do diâmetro médio das aves, para cada período de estudo, foi estimado pela Equação 5, proposta por Mitchell (1930).

$$d_b = 0.131 * P^{0.33} \quad (5)$$

Onde,

d_b – diâmetro corporal médio das aves (cm);

P – peso médio das aves (g).

O número de Nusselt foi determinado pela Equação 6, ao considerar-se a representação do corpo das aves como esferas.

$$Nu = 2 + 0.4 * Re^{1/2} + Re^{2/3} Pr^{0.4} \quad (6)$$

Onde,

Nu – número de Nusselt;

Re – número de Reynolds;

Pr – número de Prandtl.

O número de Reynolds foi obtido pela Equação 7.

$$Re = \frac{VV * d_t}{\nu} \quad (7)$$

Onde,

Re – número de Reynolds;

VV – velocidade média de deslocamento do ar (m/s);

ν – viscosidade cinemática do ar (m²/s);

d_b – diâmetro corporal médio das aves (m).

As trocas térmicas por radiação de ondas longas foram calculadas através da Equação 8, proposta por McArthur (1987). Considerou-se apenas a radiação de ondas longas, pelo fato de não haver incidência de radiação solar no interior das câmaras.

$$L = \frac{\rho * C_p}{R_r} * (TS - \bar{T}_r) \quad (8)$$

Onde,

L – trocas de calor por radiação (W/m²);

ρ – densidade do ar (kg/m³);

C_p – calor específico do ar (J/kg K);

R_r – resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação (m² K/W);

ST – temperatura da superfície corporal (K);

\bar{T}_r – temperatura radiante média (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada pela Equação 9.

$$R_r = \rho * C_p * (4 * \epsilon_s * \sigma * \bar{T}_M^3)^{-1} \quad (9)$$

Onde,

R_r – resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação ($m^2 K/W$);

ρ – densidade do ar (kg/m^3);

C_p – calor específico do ar ($J/kg K$);

ϵ_s – emissividade das penas das aves (0.94);

σ – constante de Stefan-Boltzmann ($5.67*10^{-8} W/m^2K^4$);

\bar{T}_M – temperatura média entre T_S e \bar{T}_r (K).

A temperatura radiante média foi obtida por meio da Equação 10, proposta por Silva (2001).

$$\bar{T}_r = \left[\frac{1.053 * h_c}{\sigma} * (BGT - AT) + T_{bg}^4 \right]^{0.25} \quad (10)$$

Onde,

\bar{T}_r – temperatura radiante média (K);

h_c – coeficiente de convecção do globo negro padrão;

TGN – temperatura de globo negro (K);

TA – temperatura do ar (K).

O coeficiente de convecção do globo negro padrão foi calculado pela Equação 11.

$$h_c = 0.38 * k * d * Re^{0.6} * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Onde,

h_c – coeficiente de convecção do globo negro padrão;

k – condutividade térmica do ar ($W/m K$);

d – diâmetro de um globo negro padrão (0,15 m);

Re – número de Reynolds;

Pr – número de Prandtl.

O número de Prandtl foi obtido pela Equação 12.

$$Pr = \frac{\rho * C_p * \nu}{k} \quad (12)$$

Onde,

Pr – número de Prandtl;

ρ – densidade do ar (kg/m^3);

C_p – calor específico do ar (J/kg K);

ν – viscosidade cinemática do ar (m^2/s);

k – condutividade térmica do ar (W/m K).

Considerou-se como trocas de calor por vias latentes o processo de perda de energia térmica pela evaporação da água expelida pelo trato respiratório das aves. Para quantificar as trocas de energia térmica latente, foi utilizada a relação empírica de Hellickson & Walker (1983), conforme descrito na Equação 13, considerando a câmara climática como um sistema termodinâmico, onde massa e energia cruzam a fronteira.

$$E = \rho * V * (W_{ex} - W_a) * \lambda_s \quad (13)$$

Onde,

E – trocas totais de calor por evaporação (W/m^2);

ρ – densidade do ar (kg/m^3);

V – velocidade do ar (m/s);

W_{ex} – pressão parcial de vapor do ar de saída, estimada para a região próxima ao exaustor (kPa);

W_a – pressão parcial de vapor do ar de entrada, estimada para a região próxima à saída de ar do ar condicionado (kPa);

λ_s – calor latente de vaporização da água a mesma temperatura do ar da superfície do trato respiratório das aves (2402 kJ/kg de acordo com With (1996)).

A pressão parcial do vapor de água presente no ar de entrada e de saída (W_a e W_{ex} , respectivamente) foram calculadas pelo produto entre a pressão de saturação do ar (W_s) e a umidade relativa do ar (UR) em cada uma das posições, respectivamente, conforme Equação 14.

$$W_{a,ex} = \frac{W_s * UR}{100} \quad (14)$$

Onde,

W_a – pressão parcial de vapor do ar de entrada (kPa);

W_{ex} – pressão parcial de vapor do ar de saída (kPa);

W_s – pressão de saturação de vapor de água (kPa);

UR – umidade relativa do ar (%).

A pressão de saturação do vapor de água foi calculada através da equação de Tetens (Equação 15).

$$W_s = 0.6108 * 10^{\frac{7.5*AT}{237.3+AT}} \quad (15)$$

Onde,

W_s – pressão de saturação de vapor de água (kPa);

AT – temperatura do ar (°C).

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos matemáticos, em função de cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por Silva (2000) (Tabela 1).

Tabela 1. Determinação das características do ar para as diferentes temperaturas avaliadas (°C).

Características do ar	Equações	Unidades
Viscosidade cinemática	$v = 1.32909 * 10^{-5} + 9*10^{-8} * TA$	(m ² /s)
Densidade	$\rho = 1.289764 - 0.004111 * TA$	(kg/m ³)
Condutividade térmica	$k = 0.024324 + 6.2909*10^{-5} * TA$	(W/m °C)
Calor específico	$C_p = 1005.524 + 0.033714 * TA$	(J/kg °C)

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios estimados de viscosidade cinemática, velocidade do vento, temperatura de bulbo úmido, densidade, condutividade térmica, calor específico, pressão parcial de vapor do ar de entrada e de exaustão, bem como o número de Nusselt, Reynolds e Prandtl, para os dois tratamentos avaliados.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão das propriedades mecânicas e físicas do ar, nos tratamentos avaliados.

Características do ar	Temperatura do ar (°C)	
	26	32
Velocidade do vento (m/s)	0,50±0,03	0,52±0,03
Temperatura de bulbo úmido (°C)	21,10±0,48	27,31±0,05
Viscosidade cinemática (m ² /s)	1,34*10 ⁻⁵ ±0,00	1,30*10 ⁻⁵ ±0,00
Densidade (kg/m ³)	1,18±0,00	1,16±0,00
Condutividade térmica (W/m K)	0,03±0,00	0,03±0,00
Calor específico (J/kg °C)	1006,40±0,01	1006,60±0,00
Pressão parcial de vapor de entrada (kPa)	2,23±0,05	3,36±0,02
Pressão parcial de vapor de exaustão (kPa)	2,25±0,05	3,39±0,02
Número de Nusselt	11,32±0,36	11,19±0,34
Número de Reynolds	5397,67±377,84	5344,06±374,08
Número de Prandtl	0,64±0,00	0,62±0,00

De cada uma das quatro aves selecionadas e marcadas com os anéis plásticos, por box experimental, foram mensuradas semanalmente as seguintes respostas fisiológicas: frequência respiratória (FR), temperatura média da superfície corporal (TS), temperatura cloacal (TC) e temperatura do globo ocular (ET).

A quantificação da frequência respiratória se deu a partir da observação (sem o contato direto com as aves) e contagem dos movimentos peitorais realizados pelas aves, por um período de 20 segundos e, posteriormente esses valores foram multiplicados por 3, passando a serem expressados em movimentos por minuto (mov/min).

Para a determinação da temperatura média da superfície corporal dos animais, foram tomadas as temperaturas nas regiões do dorso, abaixo da asa, da cabeça e das patas das aves por meio de um termômetro de infravermelho com mira laser (*Instrutherm*[®], TI – 870, São Paulo, Brazil, faixa de medição, - 50° à 550 °C, precisão da leitura ± 2%), posicionado a uma distância de aproximadamente dez centímetros dos animais. Com as temperaturas superficiais das partes dos animais devidamente registradas, determinou-se a TS das aves, pela Equação 16, proposta por Richards (1971).

$$ST = (0.12 * T_{asa}) + (0.03 * T_{cabeça}) + (0.15 * T_{pata}) + (0.70 * T_{dorso}) \quad (16)$$

Onde,

ST – temperatura média da superfície corporal das aves (°C);

T_{asa} – temperatura da região abaixo da asa (°C);

T_{cabeça} – temperatura da cabeça (°C);

T_{pata} – temperatura da pata (°C);

T_{dorso} – temperatura do dorso (°C).

A temperatura cloacal das aves foi medida, empregando-se um termômetro clínico (*Incoterm*[®], Termomed, Rio Grande do Sul, Brazil, faixa de medição 32,0–43,0 °C e precisão de ±0,1 °C), introduzido na cloaca dos animais, até a estabilização da leitura. A temperatura do globo ocular dos animais foi monitorada através da captura de termogramas do globo ocular, utilizando-se para isso uma câmera termográfica (*Flir*[®], TG-165, Oregon, Estados Unidos, Faixa de medição: -25 a 380 °C, resolução de mediação 0,1 °C, precisão de ±1,5 °C), com emissividade adotada de 0,98 (Marques et al., 2021).

Para a melhor apresentação e análise dos dados de trocas térmicas e respostas fisiológicas, o período experimental foi dividido em três fases, quais sejam: F1 (da quarta à sexta semanas de vida); F2 (da sétima à décima semanas de vida); e F3 (da décima primeira à décima terceira semanas de vida). Além disso, foram analisadas as médias das respostas das aves obtidas quando considerado todo o período experimental.

As trocas térmicas e as respostas fisiológicas das aves avaliadas, foram apresentadas em tabelas como médias \pm SD dos dados. Para as análises utilizou-se o pacote ExpDes.pt (versão 1.1.2, Ferreira et al., 2013, Brasil) do software estatístico R versão 3.4.1 (R Core Team, 2013). A normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias das amostras foram testadas usando os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Para avaliar os efeitos das diferentes temperaturas do ar sobre as respostas avaliadas, foram utilizados a ANOVA e o teste F, conforme o modelo estatístico apresentado na Equação 17. O teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias, com uma probabilidade de erro de 5% ($P < 0.05$).

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (17)$$

Onde,

y_{ij} – valor observado para a variável resposta obtida para o i -ésimo tratamento (temperatura do ar) em sua j -ésima repetição (animais);

μ – efeito constante (média geral);

τ_i – efeito do tratamento i no valor observado y_{ij} ;

ε_{ij} – erro associado ao i -ésimo tratamento na j -ésima unidade experimental.

RESULTADOS

Nas duas câmaras climáticas utilizadas, as temperaturas do ar ficaram próximas dos valores pré-estabelecidos para a experimentação (Figura 2A e 2B), onde foram constatadas TAs médias de $26,1 \pm 0,5$ (dentro da zona de conforto térmico) e $31,8 \pm 0,6$ °C (acima da zona de conforto térmico), respectivamente, com pequenas variações, mais evidentes nos horários próximos às 18:00 h. Já a umidade relativa do ar na AT de 32 °C ficou acima da UR pré-estabelecida, sendo registrado o valor médio de $71,6 \pm 2,9\%$. Na TA de 26 °C os animais ficaram expostos a um valor médio de ITU de $25,0 \pm 0,6$, passando esse valor para $31,0 \pm 0,4$, quando os animais foram submetidos ao tratamento com a TA de 32 °C, podendo-se observar um aumento percentual de aproximadamente

24,0% neste índice, quando comparadas as duas temperaturas do ar avaliadas (Figura 2C e 2D).

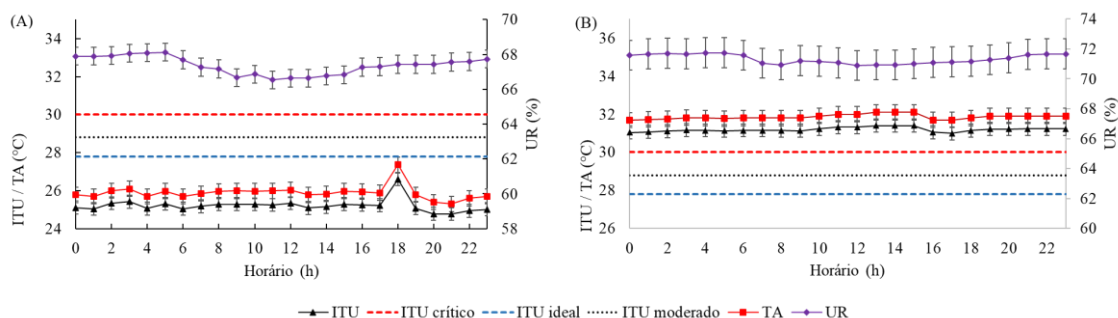


Figura 2. Comportamento da temperatura do ar (TA), da umidade relativa (UR) e do índice de temperatura e umidade (ITU) durante a aplicação dos tratamentos: (a) TA de 26 °C; e (b) TA 32°C.

O acréscimo da temperatura do ar influenciou significativamente ($P < 0,05$) na intensidade com que os animais trocavam calor tanto nas formas sensíveis quanto latente (Tabela 3). Observa-se que, com a elevação da TA, nas três fases avaliadas (F1, F2 e F3), houve uma redução expressiva ($P < 0,05$) na quantidade de calor dissipado pelas galinhas d’angola na forma sensível (redução de 13,3; 47,1 e 53,0% nas fases F1, F2 e F3, respectivamente), tendo como consequência o aumento das trocas térmicas na forma latente (aumento de 73,7; 91,0 e 109,0%, respectivamente, para cada uma das fases avaliadas). Quando considerados os valores médios das trocas térmicas, para todo o período experimental, nas duas TAs avaliadas, pode-se notar que as aves reduziram em 53,5% a quantidade de calor dissipado na forma sensível, e aumentaram em 82,7% as perdas de calor na forma latente, quando comparada a temperatura do ar de 26 com a de 32 °C.

Tabela 3. Troca de calor por convecção (C_R), radiação (L), sensível total (G_S), latente total (E) e troca de calor total (W_T), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas em cada fase e no período experimental total.

Tratamentos	Item	F1	F2	F3	Média
TA 26 °C	C_R (W/m ²)	64,7±15,7a	70,3±10,8a	69,4±5,7a	68,2±9,3a
	L (W/m ²)	0,1±0,0a	0,1±0,2a	0,1±0,0a	0,1±0,0a
	G_S (W/m ²)	64,8±15,7a	70,4±10,7a	69,5±5,7a	68,2±9,3a
	E (W/m ²)	31,9±2,9b	25,9±1,9b	23,5±1,0b	27,1±1,1b
	W_T (W/m ²)	96,7±16,6b	96,3±12,4a	93,0±4,6a	94,9±9,4b
TA 32 °C	C_R (W/m ²)	56,1±6,9b	37,2±3,3b	32,6±2,9b	42,0±3,7b
	L (W/m ²)	0,1±0,0a	0,1±0,1a	0,1±0,0a	0,1±0,0a
	G_S (W/m ²)	56,2±6,9b	37,3±3,3b	32,7±2,9b	42,0±3,7b
	E (W/m ²)	66,6±2,0a	55,4±1,6a	49,5±1,9a	57,2±1,0a

Pesquisas em ambiência animal

Volume 1

	W_T (W/m²)	122,8±7,5a	93,1±7,9a	82,2±10,7b	99,0±7,3a
	C_R (W/m²)	0,05	0,01	0,01	0,01
	L (W/m²)	0,10	0,37	0,06	0,09
p-valor	G_S (W/m²)	0,05	0,01	0,01	0,01
	E (W/m²)	0,01	0,01	0,01	0,01
	W_T (W/m²)	0,01	0,44	0,01	0,01

F1 (fase 1): da quarta à sexta semana de vida; F2 (fase 2): da sétima à décima semana de vida; e F3 (fase 3): da décima primeira à décima terceira semana de vida. As médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. O teste de Tukey foi aplicado ao nível de 5% de probabilidade.

Com a elevação da temperatura do ar de 26 para 32 °C verificou-se um aumento significativo ($P < 0,05$) da frequência respiratória de 23,9; 22,9 e 20,9%, da temperatura cloacal de 0,5; 1,0 e 0,2 °C, da temperatura superficial de 5,2; 1,9 e 1,4 °C e da temperatura do globo ocular de 1,6; 2,1 e 2,0 °C, para as três fases (F1, F2 e F3) avaliadas, respectivamente. Ainda foi possível notar um aumento percentual médio (considerando todo o período experimental) de 22,9; 1,2; 8,2; 6,0 e 17,9% na FR, TC, TS e ET, respectivamente, ao se elevar a temperatura do ar de 26 para 32 °C.

Tabela 4. Frequência respiratória (FR), temperatura cloacal (TC), temperatura superficial (TS) e temperatura do globo ocular (ET) das aves.

Tratamentos	Item	F1	F2	F3	Média
TA 26 °C	RR (mov/min)	71,0±8,1b	56,8±5,8b	50,3±3,1b	59,3±4,5b
	CT (°C)	41,2±0,3b	40,9±0,2b	41,2±0,2b	41,1±0,2b
	ST (°C)	32,0±1,5b	34,7±1,4b	35,8±0,8b	34,2±1,2b
	ET (°C)	31,7±0,8b	31,4±0,8b	31,5±1,0b	31,5±0,8b
TA 32 °C	RR (mov/min)	88,3±2,9a	69,8±2,7a	60,8±2,8a	72,9±2,8a
	CT (°C)	41,7±0,3a	41,9±0,2a	41,4±0,2a	41,6±0,2a
	ST (°C)	37,2±0,7a	36,6±0,4a	37,0±1,7a	36,9±0,9a
	ET (°C)	33,3±0,9a	33,5±0,7a	33,5±0,6a	33,4±0,7a
p-valor	RR (mov/min)	0,01	0,01	0,01	0,01
	CT (°C)	0,01	0,01	0,02	0,01
	ST (°C)	0,01	0,01	0,01	0,01
	ET (°C)	0,01	0,01	0,01	0,01

F1 (fase 1): da quarta à sexta semana de vida; F2 (fase 2): da sétima à décima semana de vida; e F3 (fase 3): da décima primeira à décima terceira semana de vida. As médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si. O teste de Tukey foi aplicado ao nível de 5% de probabilidade.

DISCUSSÃO

As oscilações da temperatura do ar no interior das câmaras climáticas no período das 17:00 às 18:00 h, na temperatura do ar de 26 °C, possivelmente ocorreram devido à abertura da câmara para o manejo das aves ocorrido naquele horário, fato também

encontrado por Marques et al. (2018) em trabalhos desenvolvidos em câmaras climáticas. Na temperatura do ar de 32 °C, a UR foi maior em relação à TA de 26 °C, e esse fato se deve as alterações observadas em alguns processos fisiológicos dos animais, como o aumento da frequência respiratória, que tem uma das consequências, a liberação de maior quantidade de vapor d'água para o ambiente e, além disso, na situação de maior TA, houve maior consumo de água pelas aves, tornando as fezes e a urina mais liquefeitas, e a água contida nesses resíduos quando evaporada também pode ter contribuído para a elevação desta variável.

Com base nos valores de ITU encontrados no tratamento com TA de 26 °C, as galinhas d'angola encontravam-se em condições ambientais de conforto térmico, passando para uma situação de estresse térmico severo quando a temperatura do ar foi elevada para 32 °C, com valores médios de ITU de $25,0 \pm 0,6$ e $31,0 \pm 0,5$, respectivamente, para cada TA. De acordo com Sinkalu et al. (2015) valores de ITU iguais ou superiores a 31 são considerados emergenciais para frangos de corte, pois esses animais, assim como as galinhas-d'angola, possuem quantidade reduzida de glândulas sudoríparas e, neste cenário, precisam elevar a frequência respiratória para dissipar o excesso. calor metabólico, reduzindo assim a eficiência produtiva para manter a homeotermia.

Ao analisar o comportamento das trocas de calor entre as galinhas d'angola e o ambiente circundante, diante dos cenários avaliados, observa-se que as aves submetidas ao tratamento com temperatura do ar de 26 °C dissiparam a maior parte do excesso de calor metabólico por vias sensíveis (71,9%), demonstrando que os animais estavam em condições de homeostase, devido à existência de um gradiente térmico entre os animais e o ambiente circundante, promovendo a perda de calor de forma passiva e, conseqüentemente, reduzindo o gasto energético e a necessidade de resfriamento evaporativo, que representou, nesta situação, 28,1% do total das trocas de calor.

No TA de 32°C, os animais dissiparam 57,8% do excesso de calor metabólico de forma evaporativa, intensificação que se deu através do aumento da respiração ofegante e das vibrações gulares, nestas condições os animais passaram a dissipar um total de 57,2 W/m² de calor metabólico pelo trato respiratório, caracterizando uma condição de alto estresse térmico aos animais, pois estes mais que dobraram o valor de referência para frangos de corte, que está na faixa de 10 a 20 W/m² (Hutchinson 1954). Assim, observou-se que sob condições de estresse térmico os mecanismos latentes de troca de calor desempenharam o papel mais importante no controle da homeotermia nessas aves.

Ao analisar o comportamento das trocas de calor nas galinhas d'angola, em função da idade das aves, observou-se que a dissipação de calor na forma sensível tendeu a aumentar com a idade na TA de 26 °C e a diminuir quando submetida a TA de 32 °C. Possivelmente esse fenômeno ocorreu porque nas primeiras semanas de vida as aves precisam de um ambiente com temperaturas do ar próximas a 32 °C (que deve ser reduzida gradativamente em 2°C por semana de vida, até atingir a zona de conforto térmico), para se manterem em situação de conforto térmico.

Na AT 32°C constatou-se um aumento médio de 22,9% na FR quando comparada a AT 26°C, evidenciando a intensificação dos movimentos respiratórios e vibrações gulares como ferramenta de termorregulação, facilitando as trocas de calor com o ambiente na forma evaporativa, evitando superaquecimento das aves em tais situações (Oliveira et al. 2006), embora este comportamento esteja ligado à elevados custos metabólicos de manutenção (Sverdlova et al. 2012).

Na maior temperatura do ar avaliada, as galinhas d'angola apresentaram aumento significativo ($P < 0,05$) na temperatura cloacal e superficial em todas as fases experimentais, e esse aumento foi devido à geração de calor endógeno, devido às reações metabólicas e à redução do gradiente entre os animais e o ambiente, o que reduz a capacidade dos animais de dissiparem o calor de forma sensível, sendo estas, respostas fisiológicas primárias ao estresse térmico, mostrando a dificuldade que os animais passaram a ter para eliminar o excesso de calor, com um perceptível superaquecimento do seu núcleo corporal (Rizzo et al. 2017).

Verificou-se que as galinhas d'angola aumentaram significativamente ($P < 0,05$) a temperatura do globo ocular em todas as fases experimentais com o aumento da temperatura do ar e essa resposta se deve ao fato de o olho conter muitos canais capilares inervados, que elevam o fluxo sanguíneo devido à ativação de mecanismos de perda de calor por meios sensíveis para manter a homeotermia (Marques et al. 2018).

CONCLUSÕES

As galinhas d'angola quanto submetidas à temperatura do ar de 32 °C necessitaram ativar os mecanismos de termorregulação, fato refletido pelo aumento observado em todas as respostas fisiológicas avaliadas (frequência respiratória, temperatura cloacal, temperatura superficial e temperatura do globo ocular), além disso, as aves perderam parte significativa de suas penas como forma de facilitar as trocas térmicas. As aves reduziram em 53,5% a quantidade de calor dissipado na forma

sensível, e aumentaram em 82,7% as perdas de calor na forma latente, quando comparada a temperatura do ar de 26 com a de 32 °C. Apesar das aves terem redirecionado parte de suas energias metabólicas para a termorregulação em situação de estresse térmico, isso não afetou seus resultados produtivos e tampouco de rendimento de carcaça e órgãos, evidenciando que as aves possuem rusticidade às elevadas temperaturas do ar e, além disso, podem ser exploradas totalmente confinadas e sem a necessidade da utilização de equipamentos de climatização em regiões onde a temperatura do ar chegue até os 32 °C.

REFERÊNCIAS

- ABPA. **Brazilian Animal Protein Association**. Annual Report, 2018.
- Arruda, A. S.; Marques, J. I.; Leite, P. G.; Furtado, D. A. Productive and hematologic responses of country poultry subjected to different housing densities and water salinity levels. **Poultry Science**, v. 100, n. 5, p. 1-10, 2021.
- Baracho, M. S.; Nääs, I. A.; Lima, N. D. S.; Cordeiro, A. F. S.; Moura, D. J. Factors Affecting Broiler Production: A Meta-Analysis. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 21, n. 3, 1-9, 2019.
- Ferreira, E. B.; Cavalcanti, P. P.; Nogueira, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.1.2., 2013.
- Frank W.; Nelson, G. L. Non evaporative convective heat transfer from the surface of a bovine. **Transactions of the ASABE**, v. 10, n. 6, p. 733–0737, 1967.
- Frumkin, R.; Pinshow, B.; Weinstein, Y. Metabolic heat production and evaporative heat loss in desert phasianids: chukar and sand partridge. **Physiological Zoology**, v. 59, n. 6, p. 592–605, 1986.
- Hellickson, M. A.; Walker, J. N. **Ventilation of Agricultural Structures**. St. Joseph: ASABE, 1983. 23p.
- Hutchinson, J. C. D. Evaporative cooling in fowls. **Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 1, p. 48-59, 1954.
- Lara, L. J.; Rostagno, M. H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v. 3, n. 2, p. 356–369, 2013.
- Li, S.; Gebremedhin, K. G.; Lee, C. N.; Collier, R. J. Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle. **ASABE**, St. Joseph, MI, 2009 Reno, Nevada, June 21-June 24, 2009.

- Macari M.; Furlan, R. L.; Gonzales, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. 375p.
- Marques, J. I.; Leite, P. G.; Furtado, D. A.; Oliveira, A. G. Evaluation of Heat Stress Through Temperature and Pupillary Dilatation of the Guinea Fowl (*Numida Meleagris*) in a Controlled Environment. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 23, n. 3, p. 1-6, 2021.
- Marques, J. I.; Lopes Neto, J. P.; Nascimento, J. W. B.; Talieri, I. C.; Medeiros, G. R.; Furtado, D. A. Pupillary dilation a termal stress indicator in boer crossbred goats maintained in a climate chamber. **Small Ruminant Research**, v. 158, n. 1, p. 26-29, 2018.
- McArthur, A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**, v. 126, n. 2, p. 203-238, 1987.
- Mitchell, H. H. The surface area of single comb white leghorn chickens. **Journal of Nutrition**, v. 2, n. 5, p. 443-449, 1930.
- Nahashon, S. N.; Adefope, N.; Amenyenu, A.; Tyus, J.; Wright, D. The effect of floor density on growth performance and carcass characteristics of French guinea broilers. **Poultry Science**, v. 88, n. 11, p. 2461–2467, 2009.
- NRC. National Research Council. **Nutrient Requirements of Poultry** (9th rev. ed.), National Academy Press, Washington, DC., 1994.
- Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Cella, O. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobre de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.
- Richards, S. A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, v. 216, n. 1, p. 1-10, 1971.
- Rizzo, M.; Arfuso, F.; Alberghina, D.; Giudice, E.; Giancesella, M.; Piccione, G. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. **Journal of Thermal Biology**, v. 69, n. 1, p. 64-68, 2017.

- Roushdy, E. M.; Zagloul, A. W.; El-Tarabany, M. S. Effects of chronic thermal stress on growth performance, carcass traits, antioxidant indices and the expression of HSP70, growth hormone and superoxide dismutase genes in two broiler strains. **Journal of Thermal Biology**, v. 74, n. 1, p. 337–343, 2018.
- Santos, A. L.; Sakomura, N. K.; Freitas, E. R.; Fortes, M. L. S.; Carrilho, E. N. V. M.; Fernandes, J. B. K. Estudo do Crescimento, Desempenho, Rendimento de Carcaça e Qualidade de Carne de Três Linhagens de Frango de Corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1589-1598, 2005.
- Silva, R. G. A heat balance model for cattle in tropical environments. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 1244-1252, 2000.
- Sinkalu, V. O.; Ayo, J. O.; Adelaiye, A. B.; Hambolu, J. O. Ameliorative effects of melatonin administration and photoperiods on diurnal fluctuations in cloacal temperature of Marshall broiler chickens during the hot dry season. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 1, p. 79–87, 2015.
- Sverdlova, N. S.; Lambertz, M.; Witzel, U.; Perry, S. F. Boundary Conditions for Heat Transfer and Evaporative Cooling in the Trachea and Air Sac System of the Domestic Fowl: A TwoDimensional CFD Analysis. **PLoS ONE**, v. 7, n. 9, p. 1-9, 2012.
- Tao, X.; Xin, H. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broiler. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 46, n. 2, p. 491–497, 2003.
- Turnpenny, J. R.; McArthur, A. J.; Clark, J. A.; Wathes, C. M. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 101, n. 1, p. 15-27, 2000.
- Wolf, B. O.; Walsberg, G. E. The Role of the Plumage in Heat Transfer Processes of Birds. **American Zoologist**, v. 40, n. 4, p. 575–584, 2015.
- Zagloul, A. W.; Roushdy, E. M.; El-Tarabany, M. S. Impact of strain and duration of thermal stress on carcass yield, metabolic hormones, immunological indices and the expression of HSP90 and Myogenin genes in broilers. **Research in Veterinary Science**, v. 12, n. 1, p. 193-199, 2019.

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TROCAS TÉRMICAS DE FRANGOS
CAIPIRAS SUBMETIDOS A DIFERENTES DENSIDADES E NÍVEIS DE
SALINIDADE DA ÁGUA**

Adalberto de Souza Arruda¹

Jordânio Inácio Marques²

Patrício Gomes Leite²

Bruna Bezerra Cunha³

Washington da Silva Sousa¹

Dermeval Araújo Furtado⁴

RESUMO

A criação de frangos caipiras é uma alternativa viável para pequenas propriedades rurais, por ser uma ave rústica e capaz de suportar adversidades climáticas. Desse modo, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar as condições ambientais, trocas térmicas e respostas fisiológicas de frangos caipiras da raça Rhode Island Red confinados, consumindo água com três diferentes níveis de salinidade (NS: 1; 4 e 8 dS/m) e em diferentes densidades (D: 8,0; 10,0 e 12,0 aves/m²), nas condições climáticas de Barreiros-PE. As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3, três níveis de salinidade e três densidades, com quatro repetições por parcela experimental. Os crescentes NS da água não afetaram significativamente ($P > 0,05$) as respostas fisiológicas dos animais. O aumento na densidade de alojamento ocasionou elevação ($P < 0,05$) na frequência respiratória das aves. Com a elevação da idade, as aves passaram a dissipar com maior intensidade o calor metabólico de forma evaporativa reduzindo gradualmente a eliminação de calor de forma sensível.

PALAVRAS-CHAVE: avicultura de corte, confinamento de aves, frango colonial

¹Instituto Federal de Pernambuco – IFPE – Barreiros, PE.

²Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

⁴Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

A criação de frangos de corte caipira ou colonial é uma atividade potencial no Brasil, em especial para a região Nordeste, em sua porção semiárida, por se tratarem de aves rústicas e capazes de apresentar elevados resultados de produção, sendo que para uma exploração eficiente nesta região, é necessário que alguns fatores sejam levados em consideração, como as condições climáticas (Rama Rao et al., 2018), sistema de produção (Liu et al., 2011; Fu et al., 2015 ; Li et al., 2017) e a qualidade da água ofertada (Al-Mufarrej et al., 2005).

As regiões incluídas no semiárido apresentam baixa pluviosidade anual e consequente escassez de água potável (Gomes et al., 2018), sendo a disponibilidade deste nutriente um dos fatores a ser levado em consideração quando se objetiva à exploração comercial de aves. Além dos baixos índices pluviométricos, outra preocupação a ser levada em consideração é a qualidade da água, uma vez que os reservatórios desta região podem apresentar água com elevadas condutividades elétricas, sendo então classificadas como salobras. Isso ocorre devido às características geológicas da maior parte do solo do semiárido, devido a predominância de rochas cristalinas em seu subsolo (ANA, 2007).

A produção industrial convencional de frango de corte é uma atividade que detém alta eficiência produtiva, devido aos avanços tecnológicos e genéticos, consolidando o Brasil como um dos maiores produtores mundiais (ABPA, 2018), o que ainda não ocorre na criação de frangos caipiras. Uma das razões dos produtores industriais convencionais elevarem a eficiência produtiva é a adoção de altas densidades no confinamento das aves (Rashidi et al., 2019). Desse modo, visando melhorar a eficiência na produção de frangos caipiras deve-se definir qual a densidade de alojamento ideal para se confinar essas aves, garantindo condições adequadas para que os frangos possam expressar seu máximo potencial produtivo.

Desse modo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as condições ambientais, as trocas térmicas e as respostas fisiológicas de frangos caipiras da raça Rhode Island Red confinados, consumindo água com crescentes níveis de salinidade e alojados em diferentes densidades.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido nas instalações do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, Campus Barreiros, cujas coordenadas geográficas são 08° 49' 06" S e 35° 11' 11" W e altitude de 22 m. O clima é classificado como Am de acordo com a classificação climática de Köppen e caracterizado por apresentar pluviosidade significativa durante a maioria dos meses do ano, com pluviosidade média anual de 1750 mm. As temperaturas anuais variam em torno de 21,3; 25,3 e 27,2 °C, para as temperaturas mínimas, médias e máximas, respectivamente.

Previamente ao início dos procedimentos experimentais, o projeto de pesquisa foi submetido à Comissão de Ética e Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP N°. 093-2018, cumprindo os Princípios Orientadores Internacionais de Pesquisa Biomédica Envolvendo Animais, conforme publicado pelo Conselho das Organizações Internacionais de Ciências Médicas (CIOMS, 2012).

Foram adquiridos 720 pintinhos machos da raça Rhode Island Red com um dia de idade, de incubatórios comerciais, sendo as aves vacinadas contra doença de Marek, Bouda Aviária e Bronquite Infecciosa. Na fase de pós-eclosão, as aves foram mantidas em ambientes aquecidos artificialmente, com temperatura média de 33 °C, temperatura que foi diminuída em aproximadamente dois graus diariamente, até os dez dias de vida, quando foram pesados e transferidos para os boxes, para adaptação ao manejo e dietas experimentais.

O período experimental teve início com os animais apresentando a idade de 15 dias de vida, estendendo-se dos dias 23/03 à 17/05/2018, tendo um período experimental de 56 dias, onde as mesmas foram pesadas individualmente e marcadas com anéis plásticos com diferentes cores para suas respectivas identificações. Durante o período experimental, as aves foram expostas a 24 horas de iluminação diária.

O aviário experimental (Figura 1) possuía 27,4 m de comprimento por 8,4 m de largura, orientado no sentido leste-oeste, no qual foram construídos 36 boxes (parcelas experimentais) com dimensões de 2,0 x 1,1 m, possuindo uma área útil de 2 m² (excluindo-se as áreas dos comedouros e bebedouros), onde em cada unidade experimental foram alojadas, 16, 20 e 24 aves por box, de acordo com a densidade desejada, que foram equipados com um comedouro e um bebedouro pendular. O piso era de concreto e para constituição da cama foi utilizado maravalha, que era substituída sempre que ficava muito úmida.

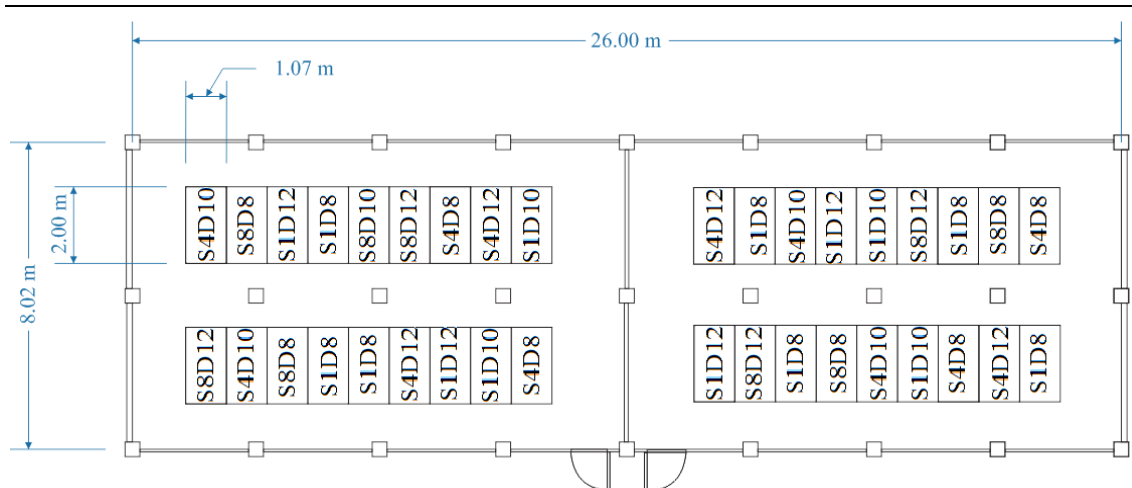


Figura 1. Planta baixa do galpão, com a exposição dos blocos com cada tratamento, onde S representa os níveis de salinidade da água e D as diferentes densidades.

As aves foram distribuídas nas unidades do galpão em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 3 x 3, sendo três distintas densidades e três níveis de salinidade da água de dessedentação, com 4 repetições de cada parcela experimental. Os níveis de salinidade utilizados na pesquisa foram de 1,0; 4,0 e 8,0 dS/m e foram tomados baseando-se nas indicações de Luke (1987) que define 4,7 dS/m como o limite máximo seguro de sais totais na água a ser ofertada para frangos. As densidades avaliadas foram de 8 (baixa densidade), 10 (densidade ideal) e 12 aves/m² (alta densidade), definidas com base nas orientações de Schmidt & Figueiredo (2004).

Para a coleta das variáveis fisiológicas, produtivas, hematológicas e de carcaça foram selecionadas 4 (quatro) aves por parcela experimental. Os dados referentes ao consumo de água e ração foram tomados como a média aritmética de cada parcela avaliada.

Durante todo o período experimental, as aves receberam água e ração *ad libitum* sendo que, durante a primeira semana de vida, as aves consumiram água de abastecimento sem adição de cloreto de sódio cuja análise está disposta na Tabela 1, conforme padrões estabelecidos na resolução do CONAMA, n° 357 de 17 de março de 2005, e após isso, foram ofertadas aos frangos, as soluções com adição de cloreto de sódio nas proporções preestabelecidas.

Tabela 1. Análise dos níveis indicativos de qualidade da água para avicultura.

Parâmetro analisado	VMP	Valores
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	500	38,98 ± 2,98
Condutividade (µS/cm)	ND	87,14 ± 0,83

Turbidez (uT)	≤ 100 uT	32,52 ± 2,17
pH	6,0 – 9,0	6,21 ± 0,03
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	110	65,67 ± 3,07
Cloreto (mg Cl ⁻ /L)	250	8,75 ± 1,25
Nitratos (mg NO ₃ - /L)	10	0,60 ± 0,01
Sulfatos (mg SO ₄ 2- /L)	250	15,30 ± 2,50
Nitrogênio Amoniacal total (mg N/L)	13,3	0,29 ± 0,01
<i>Escherichia Coli</i> (organismo/100 mL)	ausência	presença

VMP (valor máximo permitido); ND (não definido); uT (unidade de turbidez).

As dietas foram formuladas com base na NRC (1994) para aves de capoeira, que recomenda uma densidade de 3.200 kcal/kg de energia metabolizável e aproximadamente 23, 20 e 18% de proteína bruta nas fases iniciais, de crescimento e final, respectivamente.

As variáveis ambientais coletadas foram: temperatura do ar (TA), temperatura de ponto de orvalho (Tpo), temperatura de globo negro (Tgn) e umidade relativa do ar (UR), que foram coletados e armazenados em um datalogger modelo HT-500 (*Instrutherm*[®], São Paulo, Brasil, precisão ±1 °C TA e 3% UR).

Para a melhor caracterização do ambiente interno do galpão, foram alocados 12 sensores no interior da instalação, os sensores foram dispostos a 30 cm de altura do piso e distribuídos conforme esquema mostrado na Figura 2 (± a altura média das aves) para coleta de dados referentes à TA, Tpo, Tgn e UR. Os HT-500 foram programados para realizar coletas dos dados instantâneos durante intervalos de 5 min e a obtenção da média a cada 30 min e, posteriormente, foram obtidos os dados para cada hora, durante o transcorrer das 24 h em todo o período experimental (56 dias).

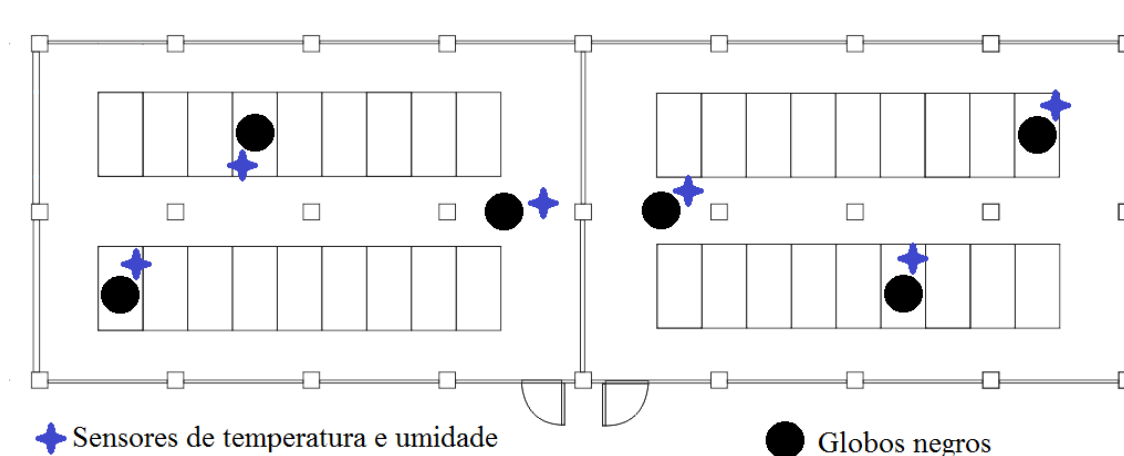


Figura 2. Esquema de distribuição dos sensores no galpão.

Para a obtenção dos dados climáticos os sensores foram aferidos e calibrados, por meio de valores de correção obtidos de curvas geradas dos dados de temperatura obtidos pelos sensores versus os dados de temperatura observados em um termômetro padrão de mercúrio.

Foram confeccionados seis globos negros a partir de esferas plásticas com 15 cm de diâmetro, onde foram inseridos os sensores para a coleta da Tgn e posteriormente, foi calculado o índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) por meio da equação proposta por Buffington et al. (1981) conforme Equação 1. Anteriormente à instalação dos globos, foi feita a aferição dos mesmos, a partir de um globo negro padrão.

$$ITGU = Tgn + 0,36 * Tpo + 41,5 \quad (1)$$

Onde,

ITGU = Índice de temperatura globo negro e umidade;

Tgn = Temperatura de globo negro, (°C);

Tpo = Temperatura de ponto de orvalho (°C).

Após a segunda semana de idade das aves, foram mensuradas semanalmente as seguintes respostas fisiológicas: frequência respiratória, temperatura da superfície corporal e temperatura cloacal, avaliando-se quatro aves de cada parcela experimental. A coleta da frequência respiratória foi obtida pela contagem dos movimentos peitorais realizados pelas aves, por um período de 20 segundos e, posteriormente, multiplicados por três, passando a ser expressado em mov/min.

Para a determinação da temperatura superficial, foram tomadas as temperaturas da crista, dorso, região abaixo da asa, cabeça e das patas, por meio de um termômetro de infravermelho com mira laser, modelo TI - 870 (*Instrutherm*[®], São Paulo, Brasil, resolução de 0,1 °C e precisão de 0,2 °C), posicionado a aproximadamente dez centímetros de distância do animal. Com o registro das temperaturas superficiais foi determinada a temperatura corporal média (TS), pela Equação 1, proposta por Richards (1971). A temperatura cloacal foi medida, empregando-se um termômetro clínico, com precisão de 0,1 °C introduzido na cloaca dos animais, até a estabilização da leitura.

$$TCM = (0,12 * T_{asa}) + (0,03 * T_{cabeça}) + (0,15 * T_{pata}) + (0,70 * T_{dorso}) \quad (2)$$

Onde:

T_{asa} = temperatura da asa (°C),

$T_{\text{cabeça}}$ = temperatura da cabeça ($^{\circ}\text{C}$),

T_{pata} = temperatura da pata ($^{\circ}\text{C}$),

T_{dorso} = temperatura do dorso ($^{\circ}\text{C}$).

O comportamento do balanço energético no sistema aviário foi feito utilizando as trocas totais por unidade de área de superfície, resultante da soma das trocas de calor sensível (radiação e convecção) e latente. Para a determinação das trocas de calor sensíveis entre o meio circundante e as aves, por unidade de área superficial corporal, adotou-se o seguinte modelo de Turnpenney et al. (2000), conforme Equação 3.

$$G_s = C_R + L \quad (3)$$

Onde,

G_s - troca de calor sensível entre a ave e o ambiente (W/m^2);

C_R - fluxo de calor por convecção (W/m^2);

L - fluxo de calor por radiação (W/m^2).

As trocas sensíveis por condução não foram incluídas na Equação 3 por serem consideradas desprezíveis (McArthur, 1987). O fluxo de calor por convecção, C_R , foi determinado pela Equação 4, proposta por McArthur, (1987).

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{rh} * (T_s - T_a) \quad (4)$$

Onde,

C_R - fluxo de calor por convecção (W/m^2);

ρ - densidade do ar ($1.1614, \text{kg}/\text{m}^3$);

C_p - calor específico do ar ($1.007, \text{J}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$);

rh - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção ($\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$);

T_s - temperatura da superfície corporal (K);

T_a - temperatura do ar (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por convecção pôde ser calculada pela Equação 5.

$$rh = \frac{\rho * C_p * d_b}{k * Nu} \quad (5)$$

Onde,

rh - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção ($m^2 K/W$);

ρ - densidade do ar ($1.1614, kg/m^3$);

C_p - calor específico do ar ($1.007, J/kg \text{ } ^\circ C$);

d_b - diâmetro médio do corpo da ave (m);

k - condutividade térmica do ar ($W/m K$);

Nu - número de Nusselt.

O cálculo do diâmetro médio das aves, para cada período de estudo, foi feito pela Equação 6, proposta por Mitchell (1930).

$$d_b = 0.131 * P^{0.33} \quad (6)$$

Onde,

d_b - diâmetro corporal médio das aves (cm);

P – peso médio das aves (g).

O número de Nusselt foi determinado pela Equação 7, ao considerarmos a representação do corpo da ave como uma esfera.

$$Nu = 2 + 0.79 * R_g^2 \quad (7)$$

Onde,

Nu - número de Nusselt;

Re - número de Reynolds.

O número de Reynolds foi obtido pela Equação 8.

$$R_g = \frac{V * d_t}{\nu} \quad (8)$$

Onde,

Re - número de Reynolds.

ν - viscosidade cinemática do ar (m^2/s);

d_t - diâmetro do globo negro (m);

V – velocidade média de deslocamento do ar ($0,5 m/s$).

As trocas térmicas por radiação de ondas longas foram calculadas através da Equação 9, proposta por McArthur (1987). Considerou-se apenas a radiação de ondas longas, pelo fato de não haver incidência de radiação solar direta no interior do galpão.

$$L = \frac{\rho * C_p}{R_r} * (T_s - \bar{T}_r) \quad (9)$$

Onde,

L - fluxo de calor por radiação (W/m²);

ρ - densidade do ar (1.1614, kg/m³);

C_p - calor específico do ar (1.007, J/kg °C);

R_r - resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação (m² K/W);

T_s - temperatura da superfície corporal (K);

\bar{T}_r - temperatura radiante média (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada pela Equação 10.

$$R_r = \rho * C_p * (4 * \epsilon_s * \sigma * \bar{T}_M^3)^{-1} \quad (10)$$

Onde,

R_r - resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação (m² K/W);

ρ - densidade do ar (1.1614, kg/m³);

C_p - calor específico do ar (1.007, J/kg °C);

ϵ_s - emissividade das penas (0,94);

σ - constante de Stefan-Boltzmann (5,67051*10⁻⁸, W/m²K⁴);

\bar{T}_M - temperatura média entre T_s e \bar{T}_r (K).

A temperatura radiante média foi obtida pela Equação 11, proposta por Silva (2001).

$$\bar{T}_r = \left[\frac{1.053 * h_c}{\sigma} * (T_g - T_a) + T_g^4 \right]^{0.25} \quad (11)$$

Onde,

h_c - coeficiente de convecção do globo;

T_g - temperatura de globo negro (K).

O coeficiente de convecção do globo foi calculado pela Equação 12.

$$h_c = 0.38 * k * d * R_e^{0.6} * P_r^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

Onde,

k - condutividade térmica do ar (W/m K);

Pr - número de Prandtl, adimensional.

O número de Prandtl foi obtido pela Equação 13.

$$P_r = \frac{\rho * C_p * v}{k} \quad (13)$$

Considerou-se como trocas latentes o processo de evaporação respiratória e as trocas pela superfície da pele. Para o cálculo das trocas de calor por vias latentes, foi utilizada a relação empírica de Hutchinson (1954), determinado pela Equação 14.

$$E = (-3.5 * 10^{-3} * e_a + 23) * (T_{NC} - 314) + 10 \quad (14)$$

Onde,

E - fluxo total de calor por evaporação (W/m²);

e_a - pressão de vapor do ambiente (kPa);

TNC - temperatura do núcleo corporal, representada pela temperatura cloacal (K).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software estatístico R versão 3.4.1. As aves foram distribuídas em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3, três níveis de salinidade e três densidades, com quatro repetições por parcela experimental. Os dados foram analisados através do teste F e da análise de variância (ANAVA). Havendo diferença significativa (P < 0,05) entre as médias analisadas, os dados foram submetidos ao teste de Tukey com uma probabilidade de erro de 5%. A normalidade da distribuição dos resíduos dos dados foi testada através do teste de Shapiro-Wilk (P > 0,05). A homogeneidade das variâncias das amostras foi testada através do teste de Bartlett. Os resultados foram apresentados como médias ± SD da média. Valores de probabilidade inferiores a 0,05 (P < 0,05) foram considerados significativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar (TA) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), apresentaram valores mais elevados entre as 11:00 e 13:00 h (Figuras 3A), sendo que a TA apresentou uma amplitude térmica de 6 °C e, nos horários mais quentes do dia, ficaram acima da zona de conforto térmico para aves caipiras, que segundo

Ferreira (2005), deve situar-se entre 18 e 26 °C. O ITGU nos horários mais quentes, também ficou acima de 80 que é superior ao ideal para frangos caipiras (Oliveira et al., 2006).

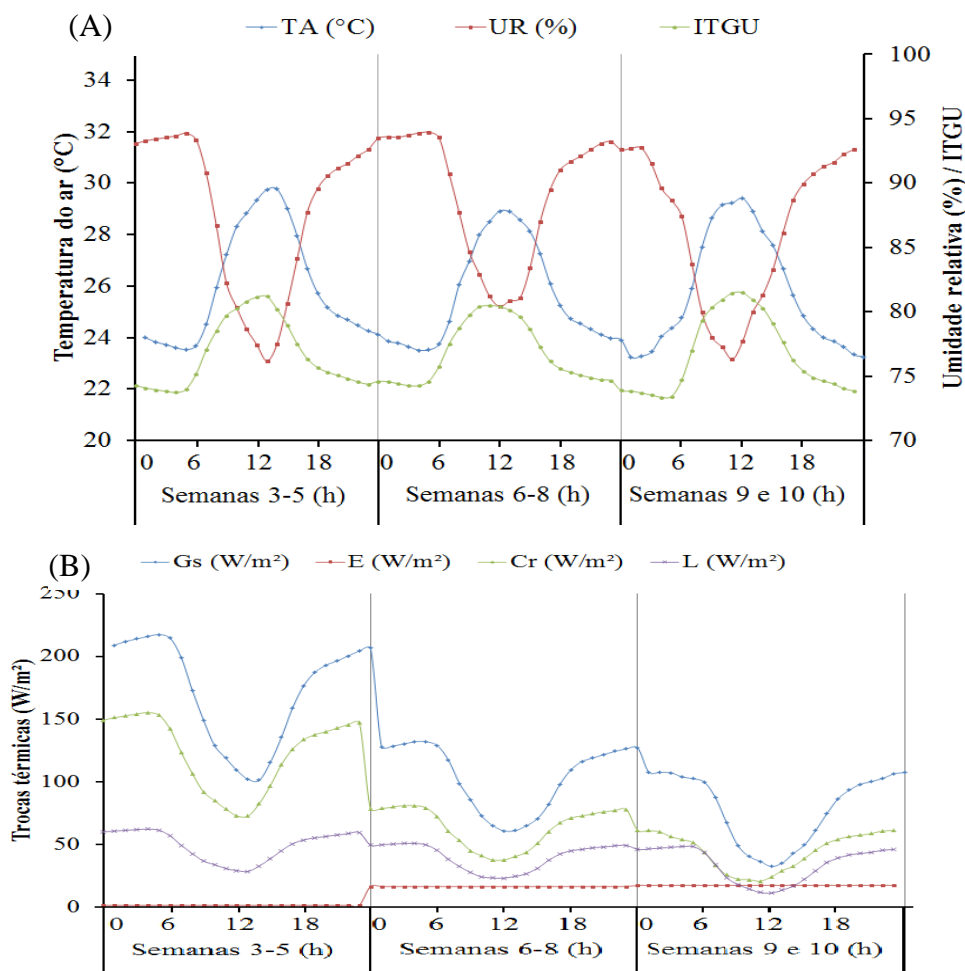


Figura 3. (A) Valores horários médios ao longo dos dias experimentais nas semanas 3 a 5, 6 a 8 e 9 a 10, da TA, UR e ITGU, respectivamente; e (B) Estimativa das trocas de calor sensível total (G_s), troca de calor por convecção (C_R), troca de calor por radiação (L) e troca de calor latente (E).

A umidade relativa do ar (UR) apresentou os valores mais baixos nos horários mais quentes (Figura 3A), apresentando uma correlação inversamente proporcional a TA, fato que se reveste de importância para os animais, pois possibilita a perda de calor mais facilmente para o ambiente através de mecanismos evaporativos, como a respiração. Quanto mais baixa (até certos limites) estiver a UR em associação com altas temperaturas, mais eficiente será a dissipação de calor por parte dos animais (Souza & Batista, 2012), pois uma UR elevada prejudica a liberação de calor através da respiração, sobremaneira pela dificuldade de trocas térmicas (Graciano, 2013).

Observa-se que houve uma diminuição nas trocas de calor por vias sensíveis (G_S), assim como nas trocas por radiação (L) e convecção (C_R), conforme o aumento da idade das aves, que foi inversamente proporcional ao comportamento das perdas de calor por via latente (E) (Figura 3B).

Analisando-se as trocas térmicas das aves para as condições de temperatura, umidade relativa do ar e ITGU no período experimental de 3 a 5 semanas observa-se que as aves dissiparam cerca de 98% do calor metabólico total produzido de forma sensível (condução e radiação). Já no segundo período de experimentação (da 6 à 8ª semana), observa-se um sobressalto na intensidade com que as aves trocavam calor de forma latente e a consequente redução na perda de calor de forma sensível, que passou a corresponder a cerca de 73% da dissipação de calor total pelas aves nos horários de picos de temperatura.

Observando-se o comportamento das trocas térmicas estimadas, durante as duas últimas semanas experimentais (semanas 9 e 10), verificou-se que nos horários de pico de temperatura do ar e ITGU, que foram, respectivamente, de 29 °C e 81, as aves passaram a utilizar com maior intensidade os mecanismos de troca de calor latente, onde os mesmos foram responsáveis por eliminar cerca de 48% do calor metabólico total produzido pelas aves, caracterizando uma situação de desconforto térmico no interior do galpão durante esse período (McCafferty et al., 2011).

Em análise, nota-se que apesar da TA e ITGU nas horas mais quentes do dia, encontra-se acima do recomendado, nas três primeiras semanas experimentais, as aves demonstraram estarem bem acondicionadas neste ambiente térmico, visto que, quase a totalidade do calor metabólico produzido, foi dissipado de forma sensível, dispensando o desprendimento de energia para a manutenção da homeostase. Já nos últimos períodos experimentais (semanas 6 a 10), as aves necessitaram da utilização de mecanismos de troca de calor de forma evaporativa para manutenção da homeotermia, o que já caracteriza uma condição de estresse térmico. Conforme Schmidt-Nielsen (1990) em condições de conforto térmico a perda de calor por evaporação não deve ultrapassar os 20% da produção total de calor metabólico, mas pode subir para 100% quando a temperatura do ar se aproxima da temperatura corporal, o que caracteriza uma situação de desconforto térmico.

Não houve variações expressivas das variáveis climáticas em todo o período experimental, porém observa-se que com o crescimento das aves, e, conseqüentemente, do aumento do peso corporal e da quantidade de penas, aumentou a dificuldade dos

animais em trocar calor na forma sensível, estas passaram a dissipar com maior intensidade o calor metabólico de forma evaporativa, evidenciando o fato dos frangos de corte necessitarem de maiores temperaturas ambientais nas suas fases iniciais de vida, devendo esta ser reduzida gradualmente ao longo de todo o ciclo (Cassuce et al., 2013).

Não houve interação do NS X D para nenhuma das respostas fisiológicas avaliadas, e o acréscimo dos níveis de salinidade da água de dessedentação não afetaram significativamente ($P > 0,05$) nenhuma das respostas analisadas (Tabela 2). Os níveis de salinidade da água não inferiram na frequência respiratória das aves, demonstrando que quando consumido em excesso, os sais podem ser eliminados, principalmente, via urina e fezes, e apesar de haver uma maior absorção dos minerais e concentração na corrente sanguínea, não foi suficiente para interferir nesta variável. O aumento da densidade no alojamento das aves (10 para 12 aves/m²) induziu a elevação (em 3,94%) significativamente ($P < 0,05$) da frequência respiratória durante as três primeiras semanas experimentais, sendo que a FR permaneceu similar nos outros períodos e no período total. A FR, independentemente do nível de salinidade da água e da densidade de alojamento, ficou acima da recomendada para aves de corte, fato que pode ser justificado pelas condições ambientais onde as aves foram mantidas, durante os horários mais quentes do dia, a TA e o ITGU ficaram elevados, e a UR baixa, favorecendo as trocas térmicas por via latente.

Tabela 4. Médias das respostas fisiológicas das aves consumindo água com diferentes níveis de salinidades da água e densidades de alojamento.

Respostas	NS (dS/m)		
	Semana 3-5		
	1	4	8
FR (mov/min)	68,6±4,1	69,4±4,6	69,5±5,7
TC (°C)	40,2±0,9	40,2±0,7	40,4±0,9
TS (°C)	35,6±2,4	35,1±5,2	35,1±1,4
Semana 6-8			
FR (mov/min)	76,7±8,1	78,0±8,6	74,8±7,5
TC (°C)	41,2±0,3	41,2±0,4	41,1±0,4
TS (°C)	33,7±1,8	33,6±1,1	33,4±1,5
Semana 9 e 10			
FR (mov/min)	73,9±8,0	72,2±8,5	74,9±8,4
TC (°C)	41,4±2,6	41,0±0,9	41,1±0,6
TS (°C)	32,5±1,9	32,9±5,1	32,3±2,0
Período Total			

Pesquisas em ambiência animal

Volume 1

FR (mov/min)	73,1±3,8	73,2±4,2	73,1±4,6
TC (°C)	40,9±0,9	40,8±0,4	40,9±0,4
TS (°C)	33,9±1,3	33,9±0,9	33,6±0,9
	D (aves/m²)		
Respostas	8	10	12
	Semana 3-5		
FR (mov/min)	69,6±5,2ab	67,6±4,6b	70,4±4,6a
TC (°C)	40,3±0,9	40,3±0,8	40,3±0,8
TS (°C)	35,1±1,3	35,4±2,4	35,3±1,3
	Semana 6-8		
FR (mov/min)	75,3±8,7	78,1±8,1	76,2±7,4
TC (°C)	41,1±0,4	41,1±0,4	41,2±0,3
TS (°C)	33,7±1,6	33,5±1,5	33,5±1,4
	Semana 9 e 10		
FR (mov/min)	73,4±8,3	74,6±8,4	73,0±7,5
TC (°C)	41,4±2,5	41,0±0,7	41,2±0,9
TS (°C)	32,7±1,8	32,5±1,8	32,6±1,9
	Período Total		
FR (mov/min)	73,0±4,3	73,4±4,4	72,9±4,0
TC (°C)	40,9±0,9	40,8±0,4	40,9±0,4
TS (°C)	33,8±1,1	33,8±1,2	33,8±1,0
	P - valor		
	NS X D	NS	D
	Semana 3-5		
FR (mov/min)	0,554	0,581	0,017
TC (°C)	0,561	0,662	0,96
TS (°C)	0,914	0,243	0,579
	Semana 6-8		
FR (mov/min)	0,852	0,156	0,23
TC (°C)	0,275	0,517	0,757
TS (°C)	0,711	0,515	0,816
	Semana 9 e 10		
FR (mov/min)	0,526	0,259	0,581
TC (°C)	0,249	0,471	0,582
TS (°C)	0,19	0,308	0,866
	Período Total		
FR (mov/min)	0,922	0,984	0,817
TC (°C)	0,119	0,583	0,65
TS (°C)	0,422	0,238	0,999

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente entre si. O teste de Tukey foi aplicado no nível de 5% de probabilidade; NS – níveis de salinidade; D – densidade de alojamento; FR – frequência respiratória; TC – temperatura cloacal; e TS – temperatura superficial.

Em ambientes com alta densidade de alojamento, aves tendem a ter maior dificuldade para dissipar o excedente de calor metabólico, com isso intensificam a

frequência respiratória como ferramenta de termorregulação (Oliveira et al., 2006). O aumento da frequência respiratória das aves mantidas em maior densidade (12 aves/m²), pode ter sido ocasionado pelo maior adensamento populacional, podendo isso proporcionar piores condições de conforto térmico, decorrente do maior incremento térmico proporcionado pelas aves alojadas nestas condições, o que promoveu um aumento de 4% sobre a taxa respiratória quando comparados os tratamentos de 8 e 10 aves/m² com o de 12 Aves/m², porém em todos os tratamentos ao longo de todo o período experimental as aves apresentaram frequência respiratória em torno de 36% maior que a taxa considerada normal (Medeiros et al., 2005).

Os fatores que podem ter influenciado na elevação da frequência respiratória durante as três primeiras semanas experimentais são a elevada umidade relativa (86,5%) associada com a temperatura do ar (~29 °C nas horas mais quentes do dia), acima da zona de conforto térmico recomendada para aves com mais de 21 dias de idade. Segundo Tinôco et al. (2001), a umidade relativa e a temperatura do ar ideais para as aves de corte se situa entre 50-70% e 16-23 °C, respectivamente, o ambiente também ficou desconfortável quando observado o índice de temperatura e umidade (ITGU) que atingiu o valor máximo de 81,5, onde Tinôco et al. (2001) indicam que para um ambiente ser considerado ideal em termos de conforto térmico o mesmo tem que está situado entre 65 e 75.

A temperatura cloacal e superficial, independente do período avaliado, não apresentaram variação significativa ($P > 0.05$) entre os níveis de salinidade da água e densidade de alojamento. Mesmo com as condições ambientais acima da ZCT, a TC e a TS dos animais permaneceram dentro da faixa de normalidade para aves caipiras, demonstrando a adaptabilidade das aves caipiras a climas quentes. Esta capacidade de manutenção da homeotermia em ambientes com TA acima da ZCT, também foram relatadas por Nascimento et al. (2011). A TS média das aves foi de 33,8 °C, com um gradiente térmico em relação a temperatura cloacal de 7,1 °C, sendo que a elevação da TS é uma maneira dos animais dissiparem calor para o ambiente através da vasodilatação periférica, onde o gradiente entre o núcleo corporal e a pele se eleva, enquanto o gradiente térmico entre a pele e o ambiente diminui, dificultando as trocas térmicas via sensível.

CONCLUSÕES

Durante todo o período experimental, nos horários mais quentes do dia constatou-se valores de temperatura do ar e ITGU superiores à zona de conforto térmico, indicada para frangos caipiras. Com o decorrer das semanas, as aves passam a dissipar com maior intensidade o calor metabólico de forma evaporativa e, conseqüentemente, reduziram gradualmente a capacidade de perda de calor de forma sensível. Os crescentes níveis de salinidade de até 8 dS/m não apresentam efeito sobre as variáveis fisiológicas das aves. O aumento na densidade de alojamento dos frangos ocasiona uma elevação na frequência respiratória das aves no período que compreende da terceira à quinta semana de idade dos animais.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia (IFPE) Campus Barreiros – PE e ao Grupo de Estudos em Construções Rurais e Ambiência (GCAMB) da UFCG, pelo apoio em prol da realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2018**. Disponível em: <Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>.
- Al-Mufarrej, S.; Al-Batshan, H. A.; Shalaby, M. I.; and Shafey, T. M. The effects of magnetically treated water on the performance and immune system of broiler chickens. **International Journal of Poultry Science**, v. 4, n. 2, p. 96-102, 2005.
- ANA. National Water Agency 2007. **Overview of the quality of groundwater in Brazil**. Accessed Mar. 2021.
- Buffington, D. E.; Collazoa-Rocho, A.; Canton, G. H.; Pitt, D.; Thatcher, W. W.; Collier, R. J. Black Globe-Humidity index (BGHI) as confort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v.24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- Cassuce, D. C.; Tinôco, I. F. F.; Baêta, F. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R.; Vieira, M. F. A. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p. 28-36, 2013.
- Ferreira, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2005. 371p.

- Ferreira, E. B.; Cavalcanti, P. P.; Nogueira, D. A. ExpDes.pt: **Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.1.2., 2013.
- Fu, D.; Zhang, D.; Xu, G.; Li, K.; Wang, Q.; Zhang, Z. Effects of different rearing systems on meat production traits and meat fiber microstructure of Beijing-you chicken. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 7, p. 729–735, 2015.
- Gomes, P. Valente, T. Pereira, P. Addressing Quality and Usability of Surface Water Bodies in Semi-Arid Regions with Mining Influences. **Environmental Processes**, v. 5, n. 1, p. 707–725, 2018.
- Graciano, D. E. **Aplicações da termografia infravermelha na produção animal**. 2013. 65p. Dissertação (mestrado em zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.
- Hutchinson, J. C. D. Evaporative cooling in fowls. **Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 1, p. 48-59, 1954.
- Li, J.; Miao, Z.; Tian, W.; Yang, Y.; Wang, J.; Yang, Y. Effects of different rearing systems on growth, small intestinal morphology and selected indices of fermentation status in broilers. **Animal Science Journal**, v. 88, n. 6, p. 900– 908, 2017.
- Liu, B. Y.; Wang, Z. Y.; Yang, H. M.; Wang, J. M.; Xu, D.; Zhang, R. Influence of rearing system on growth performance, carcass traits, and meat quality of Yangzhou geese. **Poultry Science**, v. 90, n. 3, p. 653– 659, 2011.
- Luke, G. J. **Consumption of water by livestock, Resource Management Technical Report**. Department of Agriculture Western Australia, Australia; 1987.
- McArthur, A. J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**, v.126, n. 2, p. 203–238, 1987.
- McCafferty D. J.; Gilbert, C.; Paterson, W.; Pomeroy, P. P.; Thompson, D.; Currie, J. I.; Ancel, A. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, v. 158, n. 3, p. 337–345, 2011.
- Medeiros, C. M.; Baêta, F. C.; Oliveira, R. F. M. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na agricultura**, v. 13, n. 1, p. 277-186, 2005.
- Mitchell, H. H. The surfasse area of single comb white leghom chickenes. **Journal of Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 443-449, 1930.

- Nascimento, G. R.; Nääs, I. A.; Pereira, D. F.; Baracho, M. S.; Garcia, R. Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. **Revista Brasileira Ciência Avícola**, v. 13, n. 1 p. 259–263, 2011.
- NRC (National Research Council). **Nutrient requirements of poultry**. 9th revised edition. Washington, DC: National Academy Press; 1994.
- Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Paulo Segatto Cella, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.
- Richards, S. A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, v. 216, n. 1, p. 1-10, 1971.
- Schmidt, G. S.; Figueiredo, E. A. P. **Dimensionamento de um sistema de produção agroecológica de frango de corte**. II. Abate e processamento. In: Congresso de agroecologia, 2, e Seminário internacional sobre agroecologia, 5., e Seminário estadual sobre agroecologia, 6, 2004, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: EMATER-RS, 2004. CD Rom.
- Schmidt-Nielsen, K. **Animal physiology: adaptation and environment**. 5.ed. Cambridge: fifth 1990 p. 1–602.
- Silva, R. G.; Silva, I. J. O. **Trocas térmicas em aves. Ambiência na produção de aves em clima tropical**. 1.ed. Piracicaba: FUNEP, 2001. p. 88-124
- Souza, B.B., Batista, N.L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 8, n. 3, p. 6-10, 2012.
- Tinôco, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.
- Turnpenny, J. R.; McArthur, A. J.; Clark, J. A.; Wathes, C. M. Thermal balance of livestock, 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 101, n. 1, p. 15-27, 2000a.
- Rama Rao, S. V.; Prakash, B.; Rajkumar, U.; Raju, M. V. L. N.; Srilatha, T.; Reddy, E. P. K. Effect of supplementing germinated sprouts of pulses on performance, carcass variables, immune and oxidative stress indicators in broiler chickens reared during tropical summer season. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, n. 5, p. 1147-1154, 2018.

Rashidi, N. Ghorbani, M. R. Tatar, A. Somayyeh Salari Response of broiler chickens reared at high density to dietary supplementation with licorice extract and probiotic. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 103, n. 1, p. 100–107, 2019.

**TERMOGRAFIA APLICADA NO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA
SUPERFICIAL CORPÓREA DE ANIMAIS**

Jordânio Inácio Marques¹

Geronimo Barbosa Alexandre²

Bruna Bezerra Cunha³

Washington da Silva Sousa¹

Patrício Gomes Leite¹

Dermeval Araújo Furtado⁴

RESUMO

Novas tecnologias, como o uso de *datalogger*, *softwares* especiais e termografia de infravermelho são empregadas na chamada zootecnia de precisão, servindo como alternativas para avaliar o impacto dos fatores ambientais na produção animal, dando suporte à decisão e promovendo o conforto animal. Este trabalho teve como objetivo descrever alguns métodos de análise e interpretação de imagens térmicas de animais mantidos em ambiente controlado, através de ferramentas e software específicos. Para isso, foram coletadas imagens termográficas de caprinos e aves confinados. Com isso, pôde-se concluir que a termografia infravermelha é uma ferramenta importante na verificação da temperatura superficial de animais, possibilitando a aferição da mesma em qualquer ponto ou área do termograma, podendo ser utilizada para a detecção de anomalias térmicas nos animais de maneira fácil, rápida e não invasiva. O software utilizado neste trabalho (SmartView 3.7) oferece ferramentas que facilitam a manipulação e interpretação de termogramas, gerando gráficos/tabelas de temperatura, possibilitando que as imagens térmicas sejam analisadas com acurácia e agilidade.

PALAVRAS-CHAVE: termografia infravermelha, zootecnia de precisão, termogramas.

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Instituto Federal da Paraíba – IFPB – Cajazeiras, PB.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

⁴Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas no planeta são visíveis, afetando diretamente a agropecuária, o que vem aumentando o número de pesquisas buscando o bem-estar animal, na tentativa de se minimizar as perdas econômicas decorrentes dos efeitos do clima sobre a produção animal nos trópicos. Dentre as variáveis climáticas, a elevada temperatura ambiental, a umidade relativa do ar e a radiação solar direta são os principais responsáveis por causarem o desconforto fisiológico, que leva os animais a adotarem medidas fisiológicas e comportamentais para manter a homeotermia, e que na maior parte das vezes culminam com a redução no desempenho produtivo (Souza, Silva et al., 2010).

Com a crescente demanda do mercado interno e externo por produtos advindos de atividades agropecuárias, surge também maior interesse dos consumidores para a elevação dos níveis e métodos de produção dessas empresas. O bem-estar animal constitui uma das principais necessidades que devem ser atendidas para garantir os anseios dos consumidores, garantindo assim mais participação nos mercados. Produção e qualidade estão ligadas ao bem-estar animal, portanto, os sistemas de criação devem evoluir para atender as necessidades dos animais e dos consumidores. Com isso, os fatores térmicos do ambiente aos quais os animais são submetidos, constituem um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso ou fracasso do empreendimento (Cordeiro, 2007).

Com isso, a preocupação em se atingir níveis ideais de conforto animal, relacionado ao seu comportamento nos respectivos sistemas de criação, para que a produção seja maximizada, vem ganhando maior importância pela complexidade com que os fatores de produção estão relacionados. O estudo do comportamento animal assume papel importante na produção animal, uma vez que para racionalizar os métodos de criação tem-se desenvolvido técnicas de manejo, alimentação e instalações que interferem, e também dependem do comportamento animal (Cordeiro, 2007).

Na produção animal a termografia tem sido empregada como ferramenta na avaliação e detecção de desordens metabólicas, doenças e infecções (Berry et al., 2003; Schaefer et al., 2008; Polat et al., 2010), além de auxiliar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e o impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal (Knížková et al., 2007). Aliado a termografia surgem também às tecnologias de processamento e análise de imagens

termográficas infravermelhas, que permitem conhecer, de maneira direta e com acuracidade, a distribuição da temperatura superficial, seja no ambiente ou nos animais.

O processamento de imagens é composto por um tratamento bidimensional, no qual ocorre o processo de descrição, também chamado seleção de características, procurando extrair informações quantitativas de interesse ou que sejam básicas para discriminação entre classes de objetos ou fenômenos (Pettres & Lacerda, 2010).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho é descrever alguns métodos de análise e interpretação de imagens térmicas de animais mantidos em ambiente controlado, através de ferramentas e software especializado.

A termografia é uma ferramenta muito poderosa usada na indústria, detectando sobreaquecimento em motores e máquinas elétricas, trabalho excessivo de transformadores, evitando desgastes dos equipamentos e possíveis incêndios nas instalações industriais na chamada manutenção preventiva. Contudo na área da agropecuária há pouca utilização de tal ferramenta, por falta de conhecimento dela, falta de pessoal qualificado e interesse (ou falta de recursos) dos pequenos e médios produtores rurais. Todavia, estudos relacionados com o uso desta técnica em construções rurais e ambiências animais demonstram a antecipação de anomalias e doenças nos animais por meio das imagens térmicas. Deste modo, apresentar e desenvolver soluções para otimizar a produção animal e a melhoria da qualidade de vida do indivíduo, traz benefícios tangíveis para a indústria agropecuária de modo geral.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 01 dedica-se a apresentar a problemática a ser discutida, dando ênfase aos conceitos fundamentais e os objetivos traçados para compreensão da aplicação da Termografia infravermelho quando avaliada ao conforto animal. Na segunda Seção são apresentados os experimentos realizados, a metodologia utilizada, o material empregado e as medições térmicas de caprinos e ovinos em ambientes confinados. Na terceira Seção são apresentados os principais resultados da análise térmica quando avaliada aos ambientes confinados de criação de ovinos e de criação de caprinos, com os devidos comentários. Na quarta Seção apresentam-se as conclusões e eventuais trabalhos futuros.

MATERIAL E MÉTODOS

A problemática em estudo consiste em aplicar a técnica de termografia para monitorar a temperatura de dois ambientes de criação animal (um pequeno galpão de frangos e baia para ovinos dentro de uma câmara climática) e discutir as vantagens do

seu uso. A metodologia empregada para consecução dos objetivos estabelecidos consiste na execução do fluxograma descrito na Figura 1.

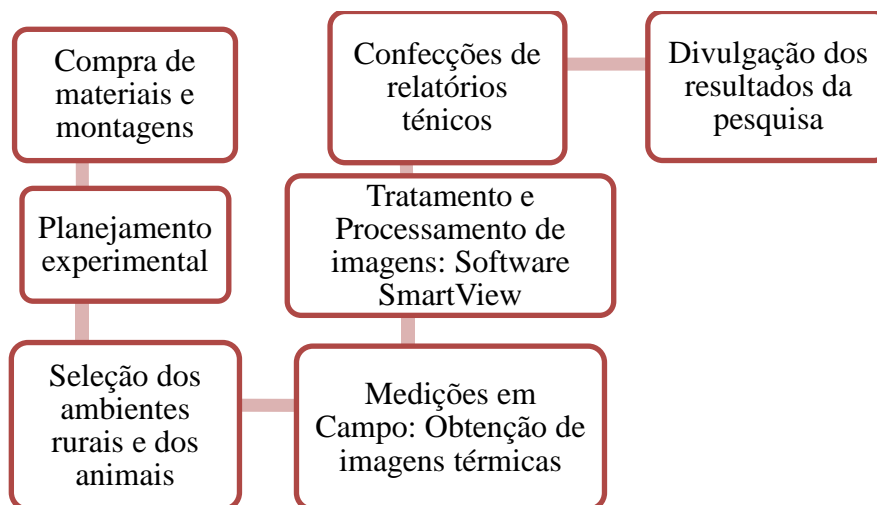


Figura 1. Metodologia empregada para avaliação da termografia aplicada à ambiência de animais. Aatoria (2017).

Os experimentos foram realizados entre os meses de janeiro do ano de 2014 a março do ano de 2015, utilizando para aquisição das imagens infravermelhas um termovisor da marca Fluke modelo Ti50FT, ilustrado na Figura 2. A câmera possui um detector do tipo plano focal não refrigerado (alta resolução de imagens e boa qualidade) de quarta geração com 320x240 pixels (76.800 pixels), que atua na faixa espectral de ondas eletromagnéticas entre 7,5 a 13 μm , o que corresponde à faixa do infravermelho longo (FIR) para estudo na faixa de temperatura -20 °C até + 350 °C. O equipamento permite obter imagens com resolução espacial de 1,3 mrad, para visualização de pontos quentes de 1,4 mm a distâncias de 1 metro, com lente padrão e sem lentes adicionais.

A câmera possui alta sensibilidade térmica 0,07 °C a 30 °C (resolução de temperatura), 70 mK (aparência ou temperatura de cor, refere-se a tonalidade de cor emitida pela fonte de luz ou seja, expressa a aparência de cor de luz emitida pela fonte de luz, sua unidade de medida é o Kelvin - K). A precisão de temperatura reportada pelo fabricante é de ± 1 °C.

A distância média usada nas imagens foi de 1 m da região de interesse com ângulo de 90°, com a lente da câmera paralela a região a ser avaliada. O valor de emissividade luminosa (grandeza adimensional que varia entre zero e um) dos animais considerado neste trabalho foi de 0,95 (emissividade alta garante que a região medida seja a mesma em todas as medições).



Figura 2. Câmera termográfica modelo Fluke Ti50FT utilizada para a coleta dos dados analisados. Fonte: Fabricante.

A emissividade é ajustada em níveis de 0,01 de 0,10 a 1,00. O valor padrão é definido a 0,95. Os valores corretos de emissividade são importantes para que se façam as medições de temperatura com maior precisão. A emissividade de uma superfície pode surtir grande impacto sobre as temperaturas aparentes que o Produto observa. Outro parâmetro a ser observado na análise das imagens térmicas é a temperatura de plano de fundo (neste trabalho adotou-se 20 °C), sendo esta a compensação da temperatura refletida de segundo plano definida na guia Plano de Fundo. Objetos muito quentes ou muito frios podem afetar a temperatura aparente e a precisão da medição do alvo ou objeto de interesse, principalmente quando a emissividade da superfície for baixa. O Ajuste da temperatura refletida de segundo plano pode melhorar a medição de temperatura em muitas situações.

O aparelho possui uma câmera interna visual digital com 3,1 Megapixels, com dispositivo de iluminação para compensação em ambientes com problema de luz, tornando as imagens visuais mais claras e com maior resolução, permitindo também tomar fotos digitais dos animais, bem como, a sobreposição de imagens com perfeição e eleição da área de interesse com maior precisão por meio das funções fusão Picture-in-Picture dimensionável e fusão térmica intermediária, superior e inferior.

Todas as imagens infravermelhas foram transferidas, organizadas, armazenadas e pós-processadas virtualmente, com associação automática de imagens térmicas e visuais, utilizando-se o programa computacional de análise de imagens e de emissão de

relatório específico SmartView 3.7 versão 2. O sistema operacional utilizado para o desenvolvimento do projeto foi o Windows 8.1/2014.

Foram coletadas imagens termográficas de caprinos e aves em dois ambientes controlados.

No caso dos caprinos os animais foram submetidos a quatro condições climáticas (tratamentos), 20 °C - temperatura de limite inferior da Zona de Conforto Térmica (ZCT); 24 °C - dentro da ZCT; 28 °C - dentro da ZCT e 32 °C - acima da ZCT, com umidade relativa do ar (UR) fixa em 60% e velocidade do vento (VV) constante em 0,5 m.s-1. Os animais foram mantidos no interior da câmara bioclimática, com iluminação diuturnamente e mantido por 10 dias nas condições climáticas pré-determinadas (temperatura), sendo cinco dias de adaptação (período pré-experimental) e cinco dias de coleta de dados (período experimental). Todas as imagens termográficas foram coletadas somente durante o período experimental.

No experimento com aves, foram utilizados dez genótipos de galinhas caipiras criadas na região semiárida, que foram submetidos a cinco diferentes temperaturas: 18 °C, temperatura considerada abaixo da zona de conforto térmico; 22 e 26 °C, temperatura considerada dentro da zona de conforto térmico e 30 °C, considerada no limite do conforto térmico e 34 °C acima da zona de conforto térmico, sendo a umidade relativa e velocidade do vento constante, com média de 60% e 1,0 m.s-1 respectivamente.

O termograma (Figura 3) permite o mapeamento quantitativo e qualitativo da temperatura da superfície que pode estar relacionado com diferentes condições patológicas e fluxos sanguíneos. Foi possível exibir as imagens em tons de cinza ou em escalas coloridas disponíveis no software. Todas as imagens foram analisadas e apresentadas no mínimo com uma paleta de 85-100 cores. Uma vez capturada a imagem térmica qualitativa, foi possível definir e analisar as áreas de interesse utilizando as ferramentas de desenho de polígonos que são disponibilizadas no programa, mensurando objetivamente às informações térmicas conforme o caso.

Após a exibição do termograma selecionado no SmartView, o software permite a edição e análise das imagens acessando-se a “janela de edição de imagem” onde é possível fazer operações para melhorar a visualização e também verificar a temperaturas em diferentes pontos ou áreas da imagem.

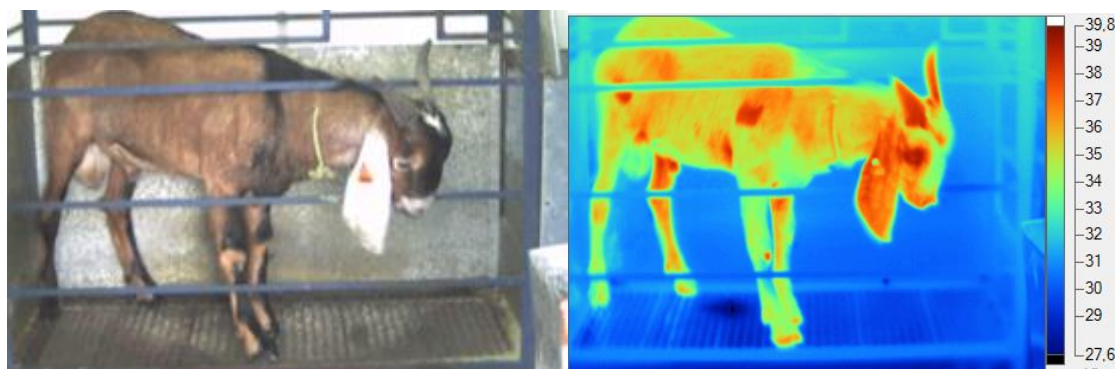
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aquisição das imagens, elas foram transferidas para um microcomputador e processadas pelo software SmartView conforme mostrado na Figura 3, onde foi possível visualizar as Figuras 3(A) e 3(C) que correspondem as imagens reais (na faixa de comprimento de onda do visível para o olho humano) dos animais, e as Figuras 3(B) e 3(D) que são as imagens dos mesmos animais, porém, na faixa de comprimento de onda do infravermelho – Imagens térmicas. Valendo ressaltar, que o caprino apresentado nas Figuras 3 (A e B) encontrava-se confinado no interior de uma câmara climatizada e estava submetido a uma temperatura ambiente de 32°C e umidade relativa de 60%. Já a ave, Figuras 3 (C e D), também se encontrava em confinamento, porém submetida à temperatura ambiente de 26°C e umidade relativa de 60%.

Com dois cliques sobre a imagem selecionada no programa, é possível acessar o editor de imagem do SmartView, que permite a extração de algumas informações importantes a partir da imagem térmica, como: emissividade, temperatura de pontos de interesse, histograma e gráficos de temperaturas em linhas desejadas, conforme discutidos nesta Seção.

Tabela 1. Informações dos marcadores nos pontos de estudo.

Pontos	Emissividade	Temp. de Plano de Fundo (°C)	Temperatura do Ponto (°C)
P0	0,95	20	35,7
P1	0,95	20	35,1
P2	0,95	20	35,3
P3	0,95	20	35,6
P4	0,95	20	38,1
P5	0,95	20	34,1
P6	0,95	20	35,5
P7	0,95	20	38,8



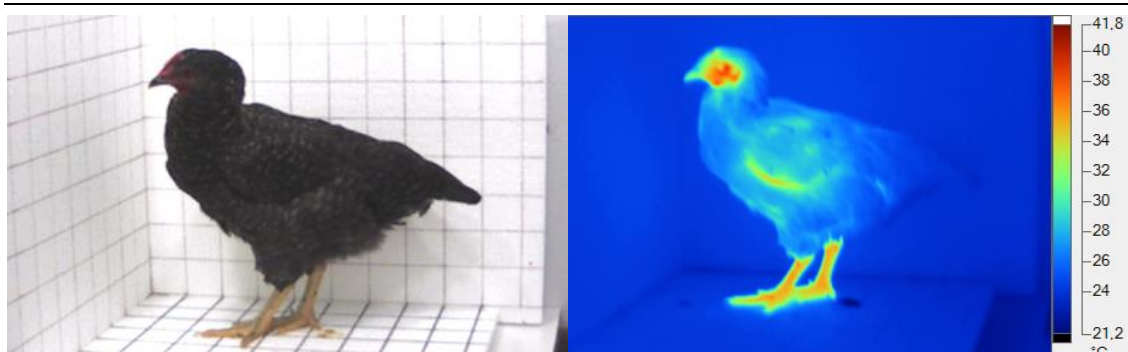


Figura 3. (A) Imagem de um caprino Anglo Nubiano confinado e submetido à temperatura de 32°C; (B) Termograma do caprino Anglo Nubiano; (C) Imagem galinha caipira confinada em câmara climatizada; (D) Termograma da ave. Fonte: Aatoria (2017).

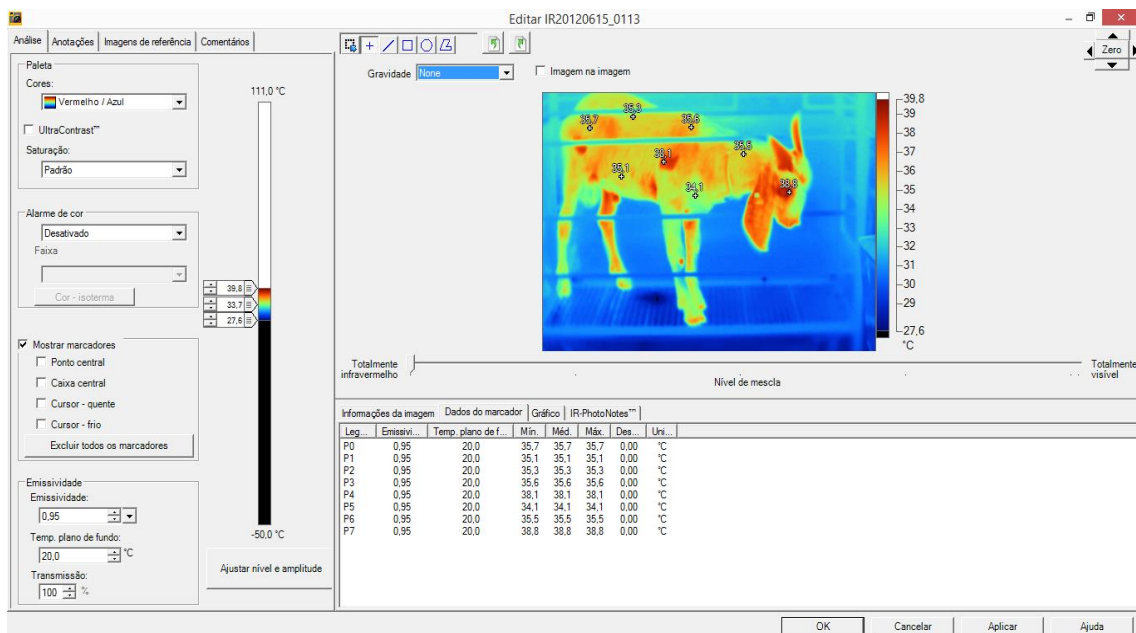


Figura 4. Termograma de um caprino no editor de imagem do SmartView, com oito pontos selecionados. Fonte: Aatoria (2017).

Na Figura 4, apresenta-se o “editor de imagem” do SmartView, onde foi carregado o termograma do caprino ilustrado na Figura 3(B). Nessa imagem foram selecionados oito pontos em regiões distintas da superfície do animal. Em cada um desses pontos foi possível extrair os valores de temperatura de cada ponto em estudo, para uma emissividade dos animais adotada de 95% e temperatura de plano de fundo de 20°C conforme ilustrado na Tabela 1.

Observando a Tabela 1, pode-se verificar que os pontos P4 e P7 (38,1 e 38,8°C) obtiveram maiores valores de temperatura devido ao ponto P4 se tratar de uma região onde foi removido o pêlo do animal, dessa forma pôde-se observar que o animal possui

maior temperatura na superfície da pele em relação a sua pelagem. E o ponto P7 mostra a temperatura da região do entorno de um dos olhos do animal, que assim como o ponto P4 possui temperatura superior devido estes encontrar-se expostos. Nääs et al. (2010) em seu estudo utilizando o processamento de imagens térmicas de aves confinadas, indicaram que, as partes expostas dos animais apresentaram maior temperatura devido à maior vascularização na presença do ambiente quente e que representam maior potencial de perda de calor sensível.

A Figura 5 ilustra a aferição da temperatura em linhas traçadas sobre as regiões de interesse (L0, L1 e L2) no corpo do animal, sendo possível verificar as temperaturas mínimas, médias e máximas, nos locais onde as linhas são traçadas, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Informações dos marcadores tipo linha, traçados no termograma da Figura 5.

Linhas	Emissividade	Temp. de Plano de Fundo (°C)	Temp. min. (°C)	Temp. Méd. (°C)	Temp. Máxima (°C)	Desvio Padrão (°C)
L0	0,95	20	34,3	36	39,3	1,06
L1	0,95	20	32,3	35,6	38,6	1,36
L2	0,95	20	30,3	33,7	36,6	1,32

Tomando as linhas traçadas na Figura 5 é possível gerar gráficos de temperatura para cada ponto ao longo das linhas, conforme mostrado na Figura 6. Onde as curvas em vermelho, verde e azul representam o comportamento dinâmico da temperatura ao longo das linhas L0, L1 e L2, respectivamente.

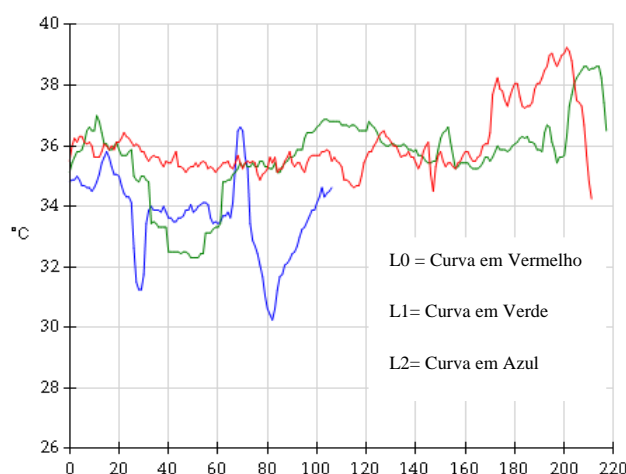


Figura 6. Comportamento das temperaturas nos marcadores Tipo Linha, do termograma da Figura 5.

No gráfico da Figura 6 são representados no eixo horizontal a intensidade dos pixels (temperaturas) presentes em toda a imagem térmica, e no eixo vertical estão representados a temperatura correspondente. Pode-se observar dois picos no histograma, onde o primeiro é mais acentuado e ocorre entre as temperaturas de 30 e 32°C, este comportamento pode ser explicado devido o fato da temperatura do ambiente girar em torno destas, de forma que os objetos (exceto o animal) tendam a manter equilíbrio térmico com a referida. Já o segundo pico de quantidade de pixels do histograma corresponde a temperatura superficial do animal, ficando esta entre 34 e 39 °C.

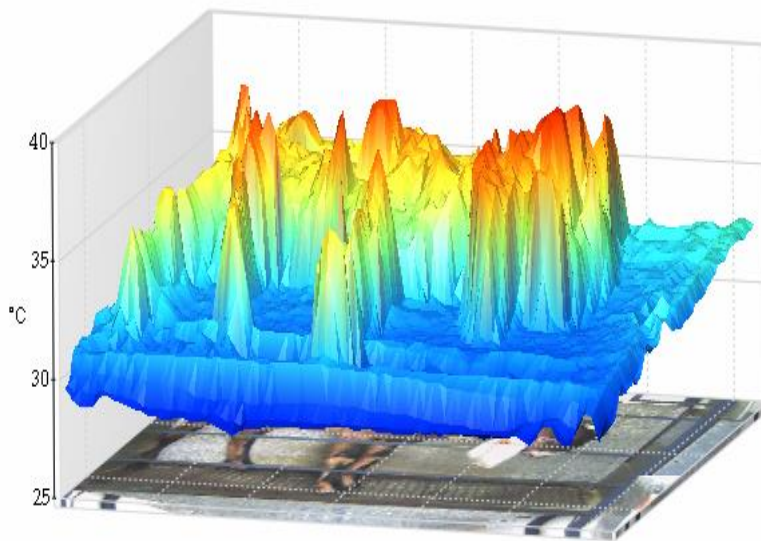


Figura 7. Gráfico em 3D de distribuição da temperatura no termograma do caprino Anglo Nubiano.

Além das informações já apresentadas, o software SmarteView permite ainda a elaboração de gráficos em 3D que permitem melhor visualização da distribuição de temperatura na superfície de todo o termograma, conforme mostrado na Figura 7. Este gráfico 3D permite compreender a variação da temperatura em função do número de pixels da câmera termográfica (range do equipamento), as regiões em cor vermelho-alaranjado representam os pontos de máxima temperatura corpórea do animal. O gráfico da Figura 7 disponibilizado pelo Software informa os pontos de máximo, mínimo e médio da temperatura medida.

O software SmartView disponibiliza outros tipos de marcadores além dos já citados, como por exemplo, os marcadores tipo retângulo, elipse e polígono. O marcador tipo polígono (Figura 8) permite a seleção individual das áreas desejadas,

fornecendo os valores de temperatura mínima, média e máxima dessa determinada área, excluindo as áreas de menor interesse. Dessa forma, exclui-se a temperatura dos demais objetos capturados na imagem térmica, refinando a precisão dos dados coletados.

Da Figura 7 pode ser observado que as temperaturas mínima, média e máxima da superfície do caprino foram 23,3°C, 27,6°C e 38,8°C, respectivamente. Com isso pôde-se verificar que a temperatura média superficial do caprino ficou próxima da temperatura ambiente (26°C). Relação também observada nos estudos realizados por Nascimento et al. (2014), onde estes avaliaram o comportamento da temperatura de frangos de corte em dois aviários com sistemas de climatização diferentes, e verificaram que a temperatura superficial média das aves está fortemente associada positivamente com a temperatura interior das instalações de confinamento, o que reforça ainda mais a precisão do método utilizado.

Para a melhor análise das imagens térmicas no SmartView® utilizando o Editor de Imagens, o software oferece ferramentas de aprimoramento e ajuste das imagens, destacando-se as seguintes ferramentas: Mudar a paleta de cores e ajustar o nível de span; Controles para imagens IR-Fusion; Marcadores para análise de imagem; Adicionar imagem de referência; Criar anotações, revisão e edição de texto; Análise gráfica; Comentários de texto para a imagem; Criar isotérmica ou adicionar um alarme de cores; Ajustar os valores de temperatura, de emissividade e de fundo; Ajuste da configuração da correção de transmissão.

Os caprinos são animais homeotérmicos e como tais se caracterizam pela capacidade de manter a temperatura corporal por meio de trocas de calor com o ambiente. As alterações climáticas afetam os animais diretamente através do estresse fisiológico no controle da termorregulação, nutrição e aparecimento de doenças.

Visando aprimorar a técnica de monitoramento para um maior número de animais a equipe deste trabalho desenvolveu uma arquitetura de hardware e software para monitoramento em tempo real, automático e sem interrupções das condições climáticas de caprinos confinados, a arquitetura construída consiste em: três termovisores ligados durante todo o dia, localizados em pontos estratégicos da câmara climática, registrando a temperatura da câmara de confinamento e do animal em diferentes ângulos. Estes equipamentos estão ligados em uma rede de comunicação (protocolo Profibus), ligados as três computadores distintos interconectados pela mesma rede ethernet na estrutura mestre-escravo, ambos instalados o software SmartView que processa as informações

obtidas em tempo real e plota na tela dos computadores os gráficos de temperaturas de pontos específicos do (s) animal (ais).

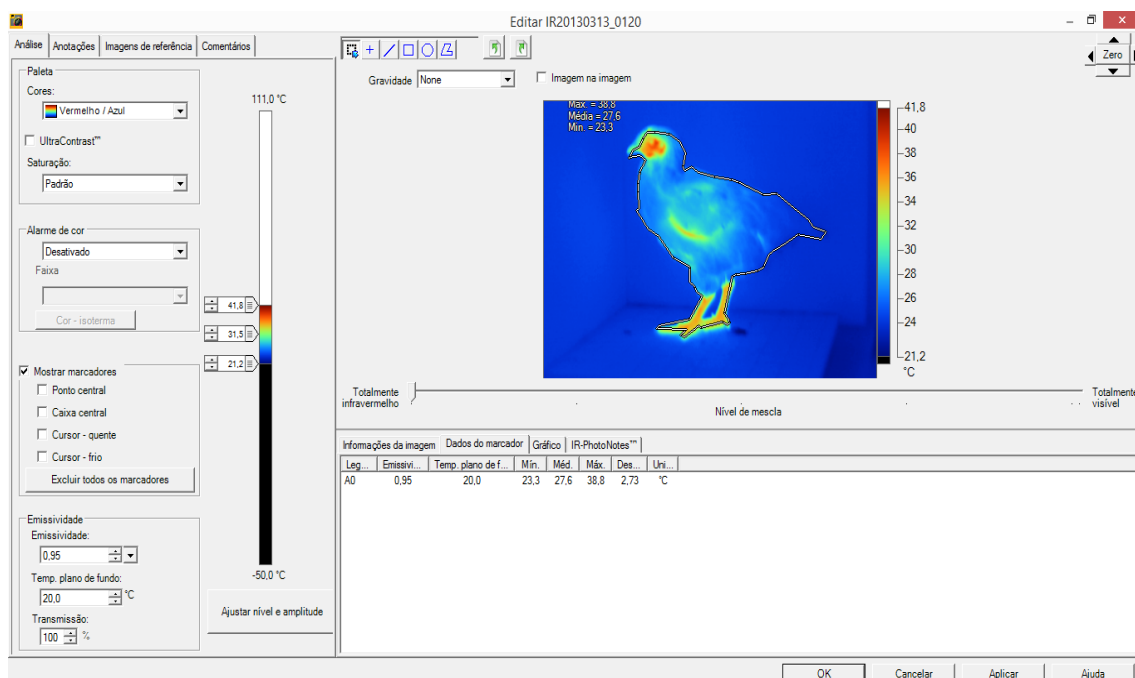


Figura 8. Termograma de ave mantida em temperatura ambiente de 26°C. Fonte: Autoria (2017).

CONCLUSÕES

A termografia infravermelha é uma ferramenta poderosa na verificação da temperatura superficial de animais em confinamento, possibilitando a aferição da mesma em qualquer ponto ou área do termograma. Podendo auxiliar na avaliação e detecção de desordens metabólicas, doenças e infecções, além de auxiliar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e o impacto das condições ambientais sobre o bem-estar dos animais.

O software SmartView 3.7 oferece ferramentas que facilitam a manipulação e interpretação de termogramas, gerando gráficos/tabelas de temperaturas, possibilitando que as imagens térmicas sejam analisadas de maneira precisa e com agilidade.

A termografia tem um futuro promissor nos estudos de bem-estar animal, devido aos resultados promissores já apresentados em diversas outras áreas do conhecimento. Sua capacidade de utilização poderá ser maximizada, otimizada e/ou aperfeiçoada de acordo com as necessidades de monitoramento e controle.

Os dados de temperatura coletados em tempo real podem ser utilizados para alimentar a malha fechada do sistema de controle de temperatura do ambiente de

confinação para compor o erro de regime permanente do controlador industrial (ajuste dos parâmetros de sintonia do controlador de temperatura).

Como trabalhos futuros, pode-se aperfeiçoar a arquitetura proposta para monitoramento de temperatura de animais confinados em tempo real, aplicando em escala ampliada. Promoção de eventos para divulgação dos benefícios da termografia quando aplicada na zootecnia de precisão, tanto na qualidade de vida do animal como na prevenção de doenças.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIA

- Berry, R. J.; Kennedy, A. D.; Scott, S. L.; Kyle, B. L.; Schaefer, A. L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, v.82, n.4, p. 687-693, 2003.
- Cordeiro, M. B. **Análise de Imagens na Avaliação do Comportamento, Bem-Estar e do Desempenho de Pintos de Corte Submetidos a Diferentes Sistemas de Aquecimento**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (2007).
- Knížková, I.; Kunc, P.; Gürdil, G. A. K.; Pinar, Y.; Selvi, K. C. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of the Faculty of Agriculture**, v.22, n. 3, p. 329-336, 2007.
- Lamberts, R. **Desempenho Térmico de Edificações. Florianópolis, Laboratório de eficiência energética em edificações**. 7.ed. Florianópolis: UFSC, 2011. 239p.
- Nääs, I. D. A.; Nascimento, G. R.; Baracho, M. S.; Moura, D. J. **Utilização de Imagens Termográficas na Produção de Frangos de Corte**. Avicultura, 2010. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/avicultura/foruns/utilizacao-imagens-termograficas-producao-t31130/>> . Acesso em: 04 de Janeiro de 2018.
- Nascimento, G. R. D.; Nääs, I. A.; Baracho, M. S.; Pereira, D. F.; Neves, D. P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 659-663, 2014.
- Ng, E. Y. K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 48, n. 5, p. 849-859, 2009.
- Pettes, R.; Lacerda L. A. Reconhecimento de Padrões de Defeitos em Concreto a Partir de Imagens Térmicas Estacionárias e Redes Neurais Artificiais. **Revista de Divulgação Científica**, v.17, n.2 p.1-12, 2010.
- Pinheiro, D. G.; Filho José, A. D. B. **Termografia Como Ferramenta de Monitoramento do Bem-Estar Animal**. Portal do Dia de Campo 2015. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=27899&secao=Colunas%20e%20Artigos>. Acesso em: 015 de Janeiro de 2018.
- Polat, B.; Colak, A.; Cengiz, M.; Yanmaz, L. E.; Oral, H.; Kaya, S.; Hayirli, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 8, p. 3525-3532, 2010.
- Roberto, J. V. B.; Souza, B. B.; Zotti, C. A.; Marques, B. A. A.; Nobre, I. S.; Delfino, L. J. B. Utilização da Termografia de Infravermelho na avaliação das respostas fisiológicas e gradientes térmicos de cabras saanen e mestiças $\frac{1}{4}$ saanen + $\frac{3}{4}$ bôer no semiárido paraibano. In: **Simposio internacional sobre caprinos e ovinos de corte**. João Pessoa, PB 2011. Anais...
- Rosemberg, N. J.; Blad, B. L.; Verma, S. B. **Microclimate: The Biological Environment**. 2.ed. New York: Hardcover, 1983, 528p.
- Schaefer, A. L.; Cook, N. J.; Church, J. S.; Basarab, J.; Perry, B.; Miller, C.; Tong, A. K. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, v. 83, n. 3, p. 376-384, 2008.
- Souza, B. B. D. Silva, I. J. O.; Mellace, E. M.; Santos, R. F. S.; Zotti, C. A.; Garcia, P. R. Avaliação do Ambiente Físico Promovido Pelo Sombreamento Sobre o Processo Termorregulatório em Novilhas Leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 6, n. 2, p. 59-65, 2010.
- Tinôco, I. D. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis Para Galpões Avícolas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências Avícola**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2001.

**MODELAGEM PARAMÉTRICA DAS VARIÁVEIS DE DESEMPENHO
PRODUTIVO E PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE OVINOS SUBMETIDOS
À DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Geronimo Barbosa Alexandre¹

Jordânio Inácio Marques²

Bruna Bezerra Cunha³

Washington da Silva Sousa¹

Patrício Gomes Leite¹

Dermeval Araújo Furtado⁴

RESUMO

A caracterização (modelagem) da unidade de produção animal é de suma importância para o projeto e expansão (produção em escala industrial) de instalações de confinamento ou para simulações em tempo real de problemas rotineiros em galpões análogos. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi apresentar modelos heurísticos, para a predição do desempenho produtivo e parâmetros fisiológicos de ovinos da Raça Morada Nova, em função da temperatura ambiente e umidade relativa do ar a que os animais foram submetidos. O modelo desenvolvido tem, como variáveis de entrada: temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%), sendo as variáveis de saída consideradas: consumo de água (CA, kg), consumo de ração (CR, kg), frequência respiratória (FR, mov.min⁻¹), frequência cardíaca (FC, bat.min⁻¹) e temperatura superficial (TS, °C). Para tanto, neste projeto utilizou-se ferramenta computacional para construção dos modelos do processo o software SCILAB. Esta ferramenta oferece diversas funcionalidades para simulação de cenários e construção de diversos modelos que atenderam as necessidades do presente trabalho. Com base na comparação entre os resultados gerados pelo modelo e os experimentais, obtiveram-se coeficientes de determinação (R²) – índice de confiança – na ordem de 0,97; 0,9; 0,96; 0,9957 e 0,9996, para CA, CR, FR, FC e TS, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Águas salinas, conforto térmico, modelagem matemática.

¹Instituto Federal da Paraíba – IFPB – Cajazeiras, PB.

²Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

⁴Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

INTRODUÇÃO

Para a região semiárida do Nordeste brasileiro, a atividade pecuária é de considerável relevância, sobretudo a criação de caprinos e ovinos, apesar de ainda apresentarem baixa eficiência na produção. A interação do animal com o ambiente deve ser considerada quando se busca maior produtividade, sendo as diferentes respostas do animal às peculiaridades da região que determinam o sucesso da atividade (COSTA, 2012).

O fornecimento adequado de água na produção animal é importante para suprir as necessidades dos animais e manter seu bem-estar, o que favorece o desenvolvimento e o ganho de peso. Os pequenos ruminantes, principalmente os caprinos e os ovinos, são animais eficientes na utilização da água quando comparado aos bovinos, tendo em vista que, além dos seus portes serem diferentes, um dos fatores importantes é quanto ao aproveitamento da água ingerida e a excreção, que apresentam um melhor rendimento nos pequenos ruminantes.

As águas profundas encontradas na região do Nordeste brasileiro apresentam ampla variação, contendo água com várias concentrações de minerais, variando de 0,00002 dS m⁻¹ ou 0,0128 mg L⁻¹ de SDT a 75 dS m⁻¹ ou 48.000 mg L⁻¹ de SDT (CPRM, 2012), apresentando água de boa qualidade quanto à condutividade elétrica e águas salinizadas imprópria ao consumo humano, podendo essas serem utilizadas na saciedade dos animais nos períodos de escassez, sendo necessário conhecer até quais concentrações de sais contidas nessas águas e que os animais conseguem ingerir sem afetar sua saúde.

Por essa razão, é fundamental conhecer a tolerância dos ovinos da raça Morada Nova criados no semiárido brasileiro à águas salinas e uma das formas de se ampliarem as fontes hídricas e propor alternativas para dessedentação para ovinos em confinamento ingerindo água com diferentes concentrações de sais, por um determinado período sem ocasionar efeitos nocivos à saúde dos animais.

A atividade de identificação e modelagem de sistemas é uma peça fundamental em estruturas de controle mais sofisticadas, tornando possível o conhecimento e quantificação das interações do ambiente com o animal assim como suas influências. Diversos algoritmos, como controle preditivo e controle robusto, além de ferramentas de otimização em tempo real, dedicam boa parte de seus esforços para obter formas satisfatórias de se descrever os sistemas que se deseja controlar ou otimizar

(ORENSTEIN, 2013). Uma das ferramentas que pode ser utilizada para construir os modelos matemáticos que fornecem a relação causa-efeito das variáveis de decisão do processo é a identificação de sistemas, em especial os modelos lineares e não lineares.

Não existe um roteiro padrão para obter bons modelos em Identificação de Sistemas (ALEXANDRE e LIMA, 2013). O processo de identificação é caracterizado como um processo de busca: busca de uma estrutura de modelo razoável, busca por um modelo representativo de uma dada estrutura, entre outros (AGUIRRE, 2004). Sendo este processo caracterizado por sua forte iteratividade. Além disso, ele não pode ser completamente automatizado; tornando-se necessário a decisões do especialista no sistema que serão agregadas a cálculos numéricos formais para se obter uma eficiência razoável no processo de identificação.

Algumas etapas típicas podem servir de roteiro inicial para se obter um modelo mais adequado, conforme LJUNG (2005), são elas: Tratamento dos dados – visualização, filtragem, remoção de média entre outros; Métodos de identificação não paramétrica: resposta ao impulso, resposta ao degrau, análise da resposta em frequência, entre outros; Métodos de identificação de parâmetros em várias estruturas de modelos; Validação do modelo estimado com os dados experimentais coletados; Comparação com outros modelos estimados.

Neste projeto utilizou-se o Software SCILAB como ferramenta computacional para implementação dos modelos de Estimação do processo. Esta ferramenta, oferece diversas funcionalidades para simulação de cenários, diversos métodos, opções de estimação de função de transferência e do modelo do processo que atenderam as necessidades do trabalho.

O objetivo deste Trabalho é apresentar um modelo heurístico, para a predição do desempenho produtivo e parâmetros fisiológicos de ovinos da Raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas e variação de umidade relativa do ar.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em câmara bioclimática pertencente ao LaCRA – Laboratório de Construções Rurais e Ambiência da Unidade Acadêmica de Engenharia da Universidade Federal de Campina Grande (Figura 1), no município de Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste).

A iluminação do interior da câmara foi feita com luz fluorescente, que permaneceu acesa das 6 às 17h. Para o resfriamento e aquecimento da câmara, foi

utilizado dois condicionadores de ar do tipo SPLIT com capacidade de 18.000 Btus, e dois aquecedores. A umidade relativa do ar foi controlada através de umidificadores e a velocidade do vento através de ventiladores laterais e exaustores. Para manutenção da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara bioclimática, foi utilizado um controlador do tipo MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®, controlado via computador através do SITRAD®, software para aquisição, controle, monitoramento e visualização dos dados no interior da câmara bioclimática (parâmetros bioclimáticos).

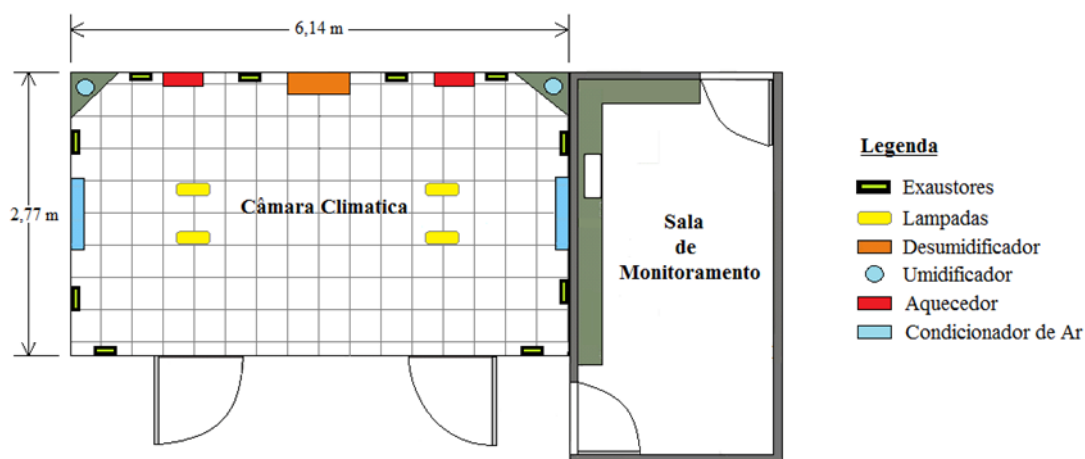


Figura 1. Ilustração da câmara climática para simulação das condições estressoras.

Foram utilizados 18 animais da raça Morada Nova, todas fêmeas, com idade média de 10 meses e pesando em torno de 25 ± 3 kg, alojadas em gaiolas metabólicas, providas de comedouros e bebedouros (Ver Figura 2). Os animais foram mantidos em duas diferentes temperaturas, a primeira de 26°C e a segunda com 32°C . Diariamente a câmara bioclimática era lacrada às 6h, sendo aberta apenas para a entrada do avaliador no momento da coleta dos dados, sendo posteriormente fechada. Após às 17 h a porta da câmara bioclimática era aberta e os animais ficavam mantidos durante 13 horas em temperatura ambiente, que ficou com média de $23,45 \pm 2,75^\circ\text{C}$. O experimento foi realizado em duas etapas, cada uma com 9 animais, em função da capacidade da câmara. Foram utilizados três níveis de salinidade da água (Ver Tabela 2), quais sejam: 1200, 4800 e $7200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, correspondendo a 3,0; 6,0 e $9,0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. As soluções foram confeccionadas em caixa d'água de 200 litros, adicionando-se cloreto de sódio sem iodo à água proveniente da companhia de esgoto e saneamento da Paraíba para alcançar a condutividade elétrica desejada. Diariamente, foram realizada leituras das condutividades da água de cada tratamento com o condutivímetro digital.

Os animais foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema de fatorial 2 (temperaturas) x 3 (níveis de sais) com seis repetições. O efeito da temperatura e a salinidade utilizando teste Tukey.

O período experimental foi de 15 dias por etapa, sendo 5 dias destinados ao período pré-experimental, para adaptação dos animais as condições experimentais, e dez dias destinados a coleta de dados, totalizando 60 dias.

Todos os animais foram inicialmente pesados, identificados e receberam ração completa, ofertadas duas vezes ao dia, às 6 e às 17h, estimando a quantidade de alimento ingerido para estabelecer 15% de sobras, realizando-se o reajuste diário da quantidade ofertada. A participação dos ingredientes e a composição química da dieta experimental encontram-se na Tabela 1.

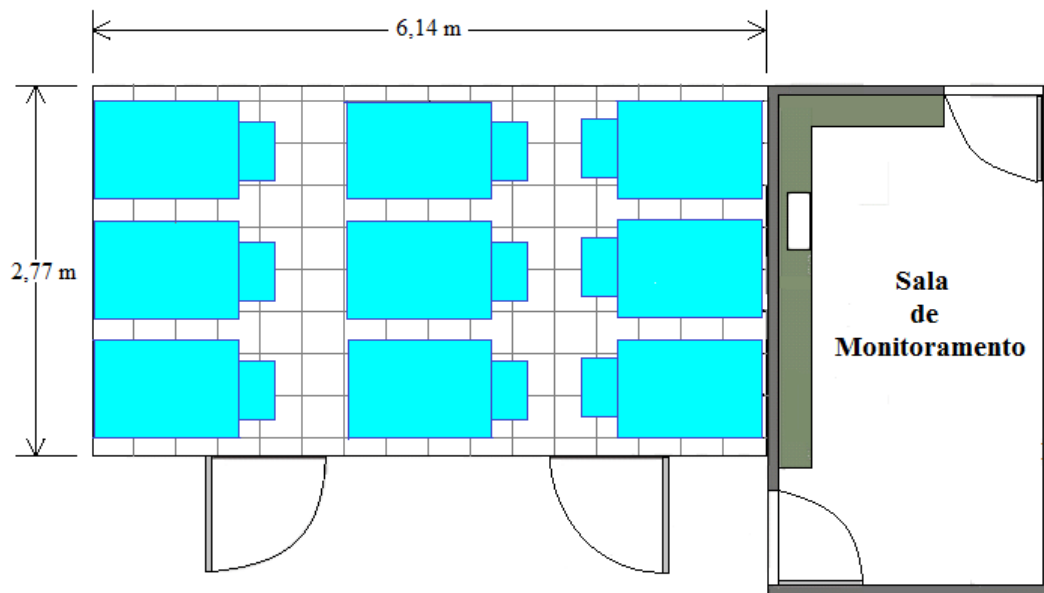


Figura 2. Ilustração da disposição dos animais na câmara climática.

Tabela 1. Dieta experimental baseado na matéria seca.

Ingredientes	Kg
Farelo de Milho	25,00
Farelo de Soja	18,00
Suplemento Mineral ¹	2,00
Feno de Tifton	55,00
Composição Química	(%)
Matéria Seca	90,00

Tabela 2. Os valores médios das variáveis condutividade, sólidos totais dissolvidos, pH, temperatura, sódio, cloro, cálcio, magnésio, potássio e alcalinidade das águas oferecidos aos ovinos experimentais.

Variáveis	Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)		
	1920	4800	7200
Condutividade (dS/m)	3,00	6,00	9,00
pH	7,57	7,2	7,1
Temp.(°C)	26,2	26	26,3
Na(mg L ⁻¹)	-	-	-
Ca (mg L ⁻¹)	70	80,8	90,5
Mg (mg L ⁻¹)	196,4	188	190
K (mg L-1)	-	-	-
Cl (mg L-1)	399	432,09	903
Alca. (mg L-1)	94,6	95,5	96,4

A oferta de água também foi feito à vontade, sendo mensurado diariamente através de pesagem como modo de quantificação de consumo diário, sendo feito sempre pela manhã, em seguida era feito a reposição da água consumida pelo animal.

Para os parâmetros fisiológicos frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FR), temperatura retal (TR) e temperatura superficial (TPêlo), foram aferidas no 8º, 11º e no 14º dia experimental em todos os animais uma vez ao dia, às 9 às horas.

A FR foi medida pela observação dos movimentos laterais do flanco, durante o período 1 minuto e coletado o movimento por minuto. A FC foi quantificada com o auxílio de um estetoscópio na região da terceira costela do animal, na região lateral do tórax, durante 1 minuto. Para mensuração da TR foi utilizado um termômetro clínico veterinário com escala até 44 °C, introduzido no reto do animal, permanecendo por um período médio de um minuto, realizando-se a anotação da temperatura obtida. A Temperatura corporal foi determinada por meio de uma termômetro infravermelho digital, e foi mensurada em três pontos determinados do corpo do animal: frente, dorso e canela, e depois calculado a média dessas três temperaturas.

Para avaliar o grau de dissipação de calor dos animais, foram calculados os gradientes térmicos entre a temperatura retal e temperatura superficial (TR-TS) e entre temperatura superficial e temperatura ambiente (TS-TA).

O comportamento ingestivo dos animais foi realizado no final de cada fase (15º dia), sendo realizadas visualmente pelo método de varredura instantânea, em intervalos

de cinco minutos, utilizando-se a metodologia proposta por JONHSON & COMBS (1991), por um período de 24 horas. As observações iniciaram às 7 h da manhã indo até às 7 horas do dia seguinte. A câmara climática foi mantida sob iluminação artificial à noite, durante todo o período de avaliação. As variáveis comportamentais observadas foram em pé ruminando (EPR), deitado ruminando (DR), ócio em pé (OEP), ócio deitado (OD) em pé comendo para determinação do tempo despendido em alimentação, ruminação e ócio. Para essas observações foi realizado um prévio treinamento com os observadores. Também foi registrado o número de vezes que o animal defecava, urinava e procurava por água.

Para avaliação da mastigação merérica, foram utilizados três animais de cada tratamento, em dois períodos, das 22 a 00 hora e das 2 às 4 h. Esse período foi determinado para observação da mastigação merérica, uma vez que a maior frequência de ruminação ocorre nesses horários, a partir de observações preliminares, determinando-se o número de mastigações meréricas e o tempo despendido na ruminação de cada bolo ruminal (segundos/bolo), com a utilização de cronômetro digital. Essa mastigação foi calculada através de três tempos de 20 segundos, sendo a média multiplicada por três para a obtenção do tempo de mastigação/minuto.

De posse dos dados é necessário realizar um pré-tratamento dos mesmos e, para isto, foi utilizado um aplicativo do SCILAB chamado “identification”. O Identification é, basicamente, uma interface gráfica para o usuário (GUI) das funções disponíveis no toolbox. Nele é possível selecionar os arquivos de dados que serão usados tanto para estimar o tipo de modelo (Working Data) como para validá-lo (Validation Data). É importante destacar que, sempre que possível, sejam utilizados arquivos de dados distintos para a estimação e para a validação evitando que o modelo “aprenda” com os dados usados na modelagem e perca a capacidade de generalização que é fundamental neste processo (Adaptado de Alexandre e Lima, 2013).

O aplicativo fornece vários métodos (modelos) de identificação de sistemas dentre eles: modelo ARX (do Inglês Autoregressive with Exogenous Inputs), modelo ARMAX (do Inglês Auto Regressive Moving Average with Exogenous Inputs), modelo OE (Output Error), modelo FIR (Finite Impulse Response) e expansão ortogonal, modelo Box-Jenkins, mínimos quadrados linear e recursivo, RARX (ARX Recursive), modelos não lineares (Non Linear Model), State Space e By Initial Model.

O modelo usado considera um sistema de entrada $u(k)$ e saída $y(k)$, dado pela equação linear de diferenças (1),

$$y(k) + a_1y(k - 1) + \dots + a_ny(k - n) = b_1y(k - 1) + \dots + b_my(k - m) + e(k) \quad (1)$$

onde todas as amostras de entrada e saída são conhecidas. A amostragem é feita desta forma, T, 2T, 3T...NT onde T é o período de amostragem, no caso do período de amostragem unitário, T=1, 1, 2 ,3...N, onde N é o número de amostras, k é o tempo discreto, sendo e(k) um ruído ou erro de medição. Reescrevendo (2), isolando y(k), temos,

$$y(k) = -a_1y(k - 1) - \dots - a_ny(k - n) + b_1y(k - 1) + \dots + b_my(k - m) + e(k) \quad (2)$$

A expressão (2) pode ser escrita de forma compacta, introduzindo os vetores:

$$\theta = [a_1 \quad \dots \quad a_n \quad b_1 \quad \dots \quad b_m]^T \quad (3)$$

$$\varphi = [-y(k - 1) \quad \dots \quad -y(k - n) \quad u(k - 1) \quad \dots \quad u(k - m)]^T \quad (4)$$

Com base nas equações (3) e (4), podemos escrever (5), denominado de modelo de regressão linear,

$$y(t) = \varphi^T(k)\theta + e(k) \quad (5)$$

onde θ é o vetor de parâmetros desconhecido (vetor estimado), de dimensão $(n+m) \times 1$, $\varphi(k)$ é o vetor de medição entrada/saída do sistema (conhecido) e o sinal e(k) representa o erro de modelagem, erro de medição ou ruído na saída do tipo estocástico, determinístico ou off-set. Sabendo o valor do vetor de parâmetros θ , teremos a saída estimada pelo identificador. Tal saída é dada como:

$$y_c(k|\theta) = \varphi^T(k)\theta \quad (6)$$

A representação matricial da expressão (5), admitindo N medições realizadas e suficientes para determinar os parâmetros $a_i, i=1, \dots, n$ e $b_j, j=1, \dots, m$, é dado como:

$$\begin{bmatrix} y_n \\ y_{n+1} \\ y_{n+2} \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y_{n-1} \dots & -y_0 & u_{n-1} \dots & u_{n-m} \\ -y_n \dots & y_1 & u_n \dots & u_{n-m+1} \\ -y_{n+1} \dots & y_2 & u_{n+1} \dots & u_{n-m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_{N-1} \dots & -y_{N-n} & u_{N-1} \dots & u_{N-m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_n \\ e_{n+1} \\ e_{n+2} \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

Uma vez que o cálculo do vetor θ é dado por:

$$\theta = [\varphi\varphi^T]^{-1}\varphi^TY \quad (8)$$

A equação (2.23) é o estimador não recursivo de parâmetros. Muitas vezes o processo de inversão de matrizes pode ser complicado e a necessidade de se utilizar os dados sequencialmente para atualizar o vetor de parâmetros de um determinado modelo, torna-se vital para algumas aplicações. Daí surge à necessidade do estimador recursivo, cujo procedimento pode ser ilustrado pela Figura 3.

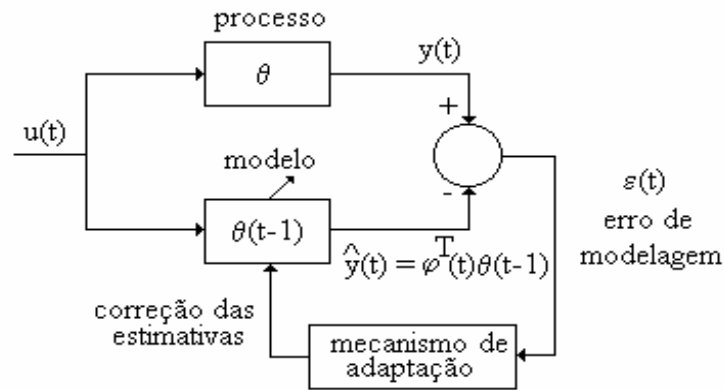


Figura 3. Procedimento iterativo na estimação de parâmetros.

O algoritmo do estimador de mínimos quadrados recursivo pode ser descrito pelos seguintes passos:

- a. Medir a saída e entrada do sistema;
- b. Atualizar o vetor de medidas, com base na equação (9);

$$\varphi^T(k+1) = [-y(k) \quad -y(k-1) \quad \dots \quad u(k-d) \quad \dots \quad u(k-d-1)] \quad (9)$$

onde d é um atraso.

Calcular o erro de previsão (estimação) usando a equação (10);

$$\varepsilon(k+1) = y(k+1) - \varphi^T(k+1)\theta_c(k) \quad (10)$$

- d. Calcular o ganho do estimador conforme equação (11);

$$K(k+1) = \frac{P(k)\varphi(k+1)}{1 + \varphi^T(k+1)P(k)\varphi(k+1)} \quad (11)$$

onde $P(k)$ é a matriz de covariância, que deve ser inicializada corretamente e calculada no passo (f).

- e. Calcular o vetor de parâmetros estimados utilizando a equação (12);

$$\theta_c(k+1) = \theta_c(k) + K(k)\varepsilon(k+1) \quad (12)$$

- f. Calcular a matriz de covariância com base na equação (13).

$$P(k + 1) = P(k)[1 - K(k + 1)\varphi^T(k + 1)] \quad (13)$$

A metodologia proposta para consecução dos objetivos estabelecidos, consiste na implementação do diagrama de blocos da Figura 4.

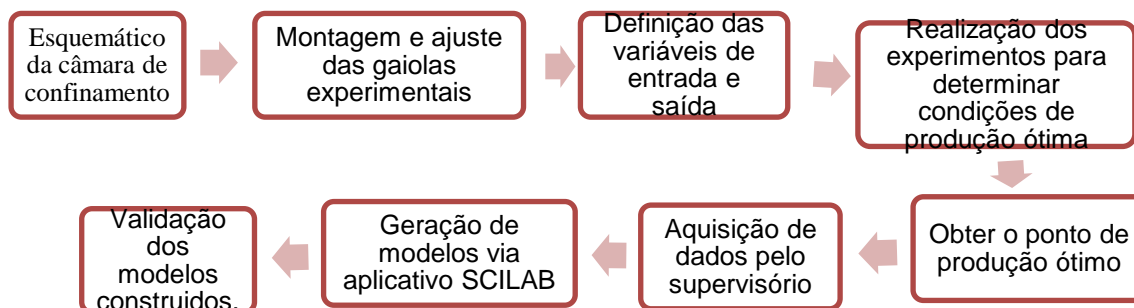


Figura 4. Fluxograma descritivo da metodologia proposta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos experimentalmente apresentam alto grau de correlação cruzada e não linearidade, para tal fato a literatura da área aconselha usar o modelo não linear ARX (do inglês, AutoRegressive with eXogenous Inputs), sendo usado neste trabalho o modelo de Hammerstein-Wiener, tendo duas entradas (Temperatura e umidade reativa do ar) e uma saída para cada resposta modelada, para corrigir a não linearidade de entrada e saída foi utilizada a transformada de Wavelet, a taxa (intervalo) de amostragem utilizada foi de um segundo e função peso da não linearidade de 10 unidades. Para cada variável estimada foi observado a função perdas (critério de parada do algoritmo) que variou para cada variável estimada. A ordem das funções de transferência ilustradas na equação (4) e os coeficientes a serem estimados da equação (1), foram respectivamente, $n_b=[2 \times 2]$ (matriz ponderada das entradas); $n_f=[3 \times 3]$ (matriz ponderada das saídas) e $n_k=[1 \times 1]$ (matriz ponderada do ruído de medição).

As Figuras 5-12 ilustram a estimação de parâmetros produtivos e fisiológicos dos ovinos em confinamento fornecidos pelo aplicativo “Identification” do SCILAB. A Figura 13 ilustra o comportamento dos dados medidos no experimento (no caso a resposta da frequência respiratória do animal em função da variação de temperatura ao longo do tempo - amostras), que são usados como entrada do aplicativo para fazer a análise de padrão pelo algoritmo (etapa de aprendizagem do modelo). Os dados utilizados neste trabalho foram coletados durante seis meses de experimento,

organizados numa matriz de 8x6000, onde as colunas representam as variáveis medidas (duas entradas e quatro saídas) e as linhas representam as amostras ao longo do tempo. Estes dados foram utilizados para alimentar o estimador de parâmetros na identificação do modelo do processo.

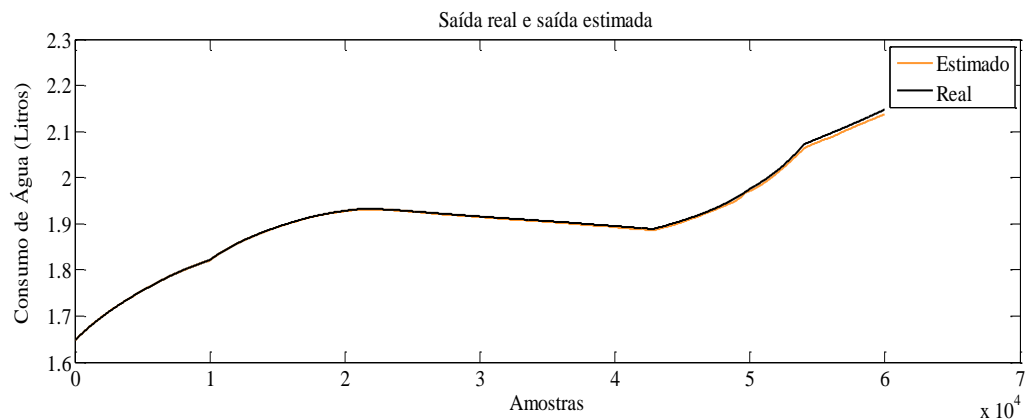


Figura 5. Predição do consumo de água dos ovinos, índice de confiança de 0,9698.

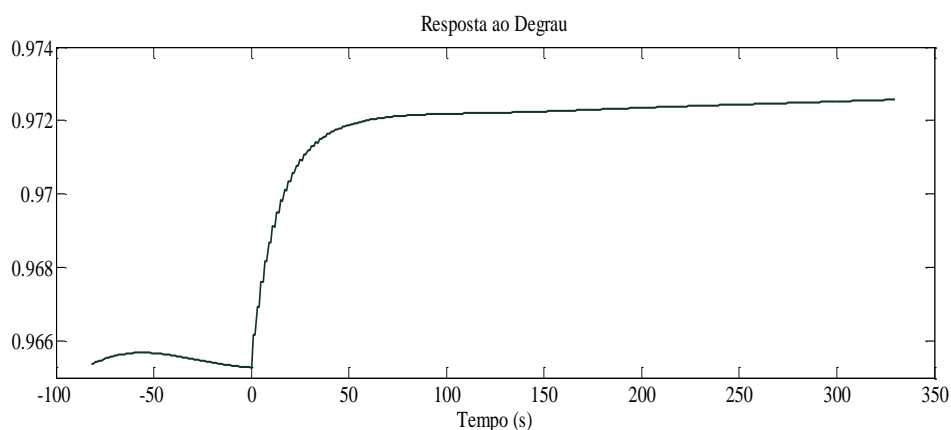


Figura 7. Predição do consumo de água dos ovinos, índice de confiança de 0,86.

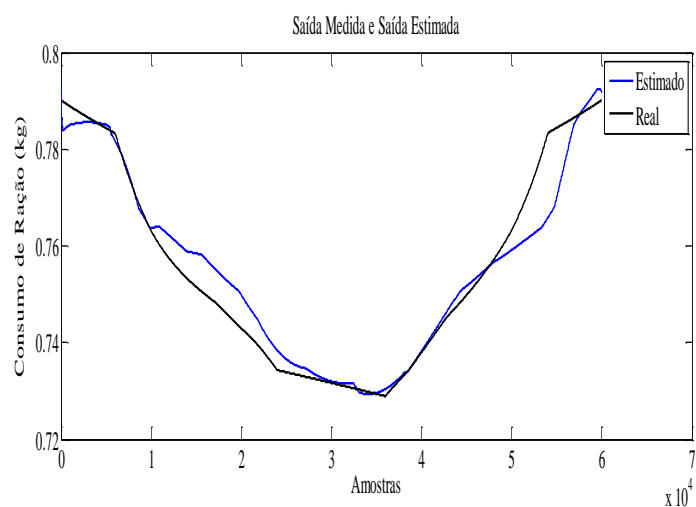


Figura 8. Resposta do modelo paramétrico para predição do consumo de ração ao degrau.

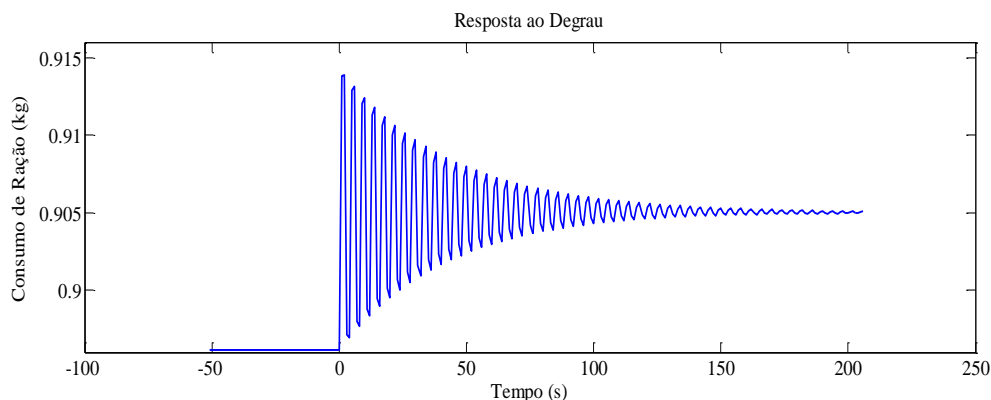


Figura 9. Predição da frequência cardíaca, índice de confiança de 0,9675.

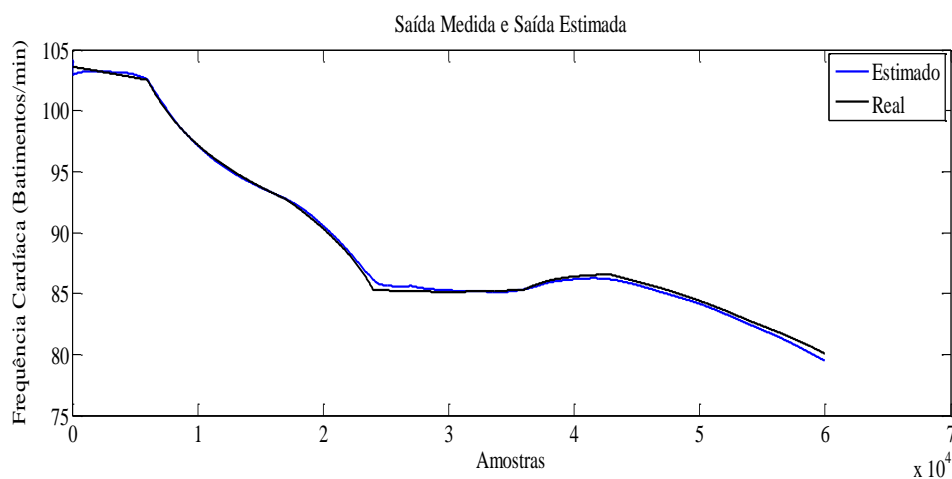


Figura 10. Predição da frequência respiratória, índice de confiança de 0,9957.

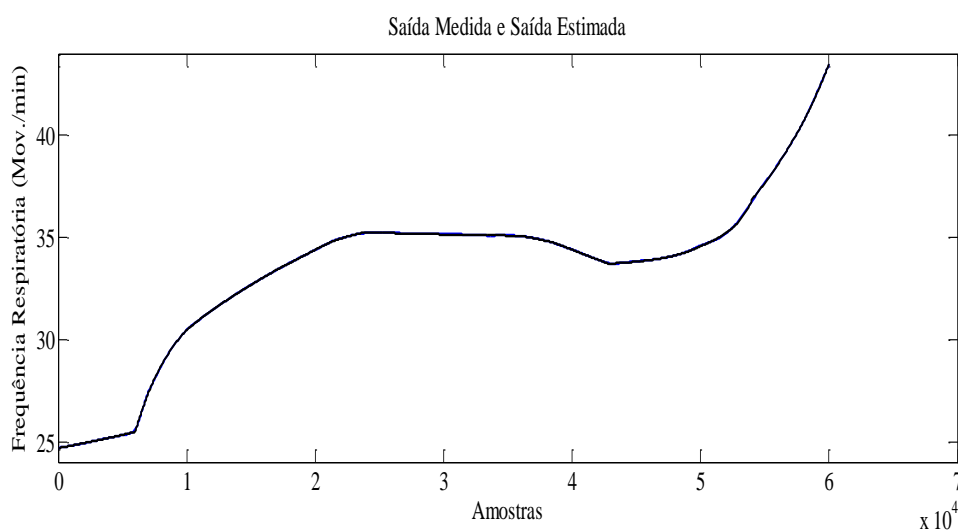


Figura 10. Predição da frequência respiratória, índice de confiança de 0,9957.

Observando as Figuras 7 e 8, percebe-se que o modelo de segunda ordem não conseguiu mapear as entradas e saídas medidas apresentando um baixo grau de confiança, esta característica pode ser observada com o degrau unitário aplicado a este modelo, pois a função apresenta comportamento oscilatório, introduzindo erros nas medições em campo. Este fato sugere que o modelo deve ser refinado, respeitando as limitações de *hardware* e *software*, neste um polo no numerador das funções de transferências ($n_b = [2 \ 2 \ 2]$; $n_f = [1 \ 1 \ 1]$ e $n_k = [3 \ 3 \ 3]$).

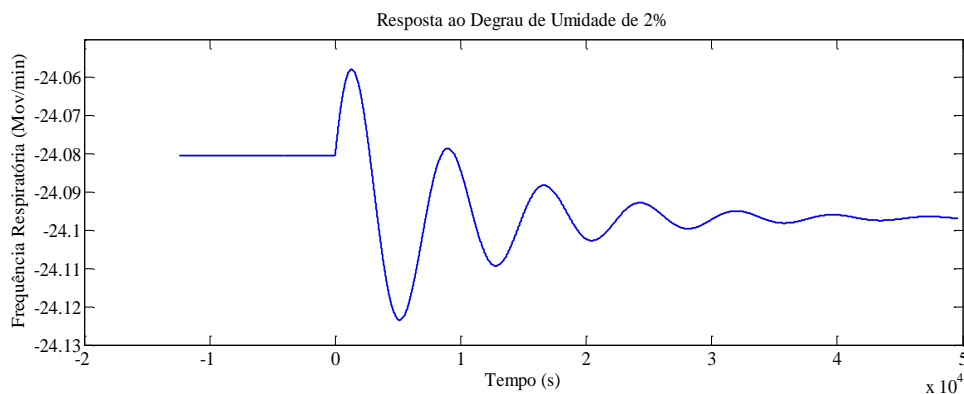


Figura 8. Resposta do modelo ao degrau unitário de umidade aplicado ao modelo paramétrico de estimação da respiração respiratória. Percebe-se que durante um intervalo de tempo há um transitório (oscilatório com overshoot de aproximadamente 0,04) e depois o modelo estabiliza.

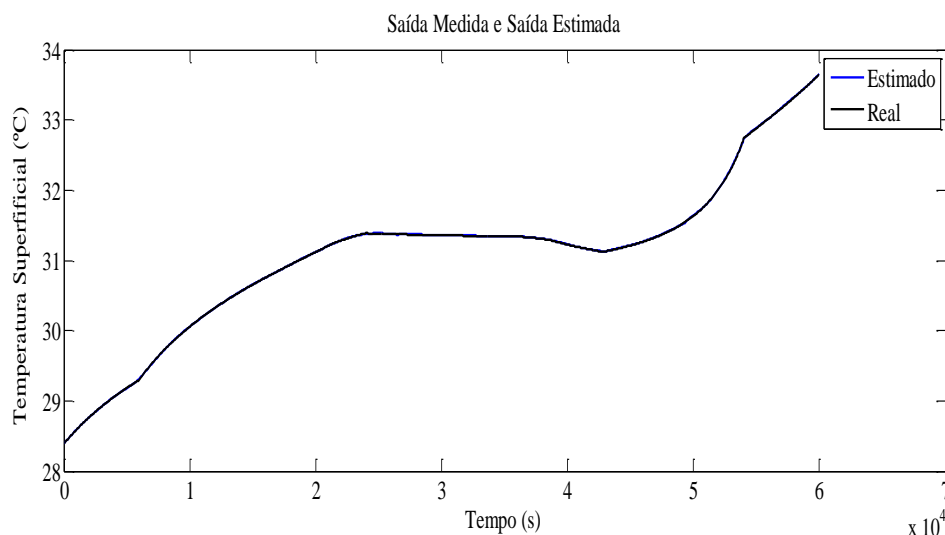


Figura 11. Predição da temperatura superficial, índice de confiança de 0,9996.

Construídos e validados os modelos heurísticos que descrevem a dinâmica do processo, constatado a estabilidade e a controlabilidade dos modelos, a próxima etapa é

o projeto e validação dos sistemas de instrumentação e controle aplicados ao processo por meio de ferramentas especializadas.

O ajuste dos parâmetros de um controlador é chamado de sintonia (tuning). Quando se tem um modelo matemático, representativo, do sistema, a escolha dos parâmetros do controlador recai no desenvolvimento de um projeto, que pode ser feito com base no método do lugar geométrico das raízes, Ziegler e Nichols ou a sintonia por técnicas inteligentes baseadas no histórico do processo. Contudo o procedimento inicial é avaliar a resposta ao degrau e resposta em frequência para verificar a estabilidade em malha aberta e em malha fechada. Por ser de fácil ajuste a técnica de controle, mas usada é a estratégia PID (controlador proporcional, integral e derivativo), implementada em um CLP (controlador lógico programável).

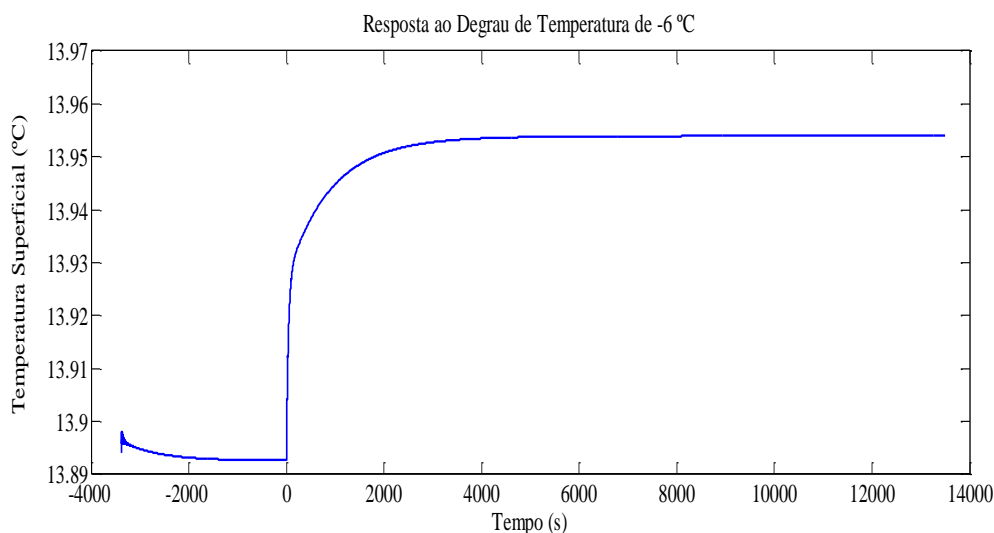


Figura 12. Resposta do modelo paramétrico ao degrau unitário de -6 °C na temperatura da câmara bioclimática. Percebe-se que a resposta é estável e controlável.

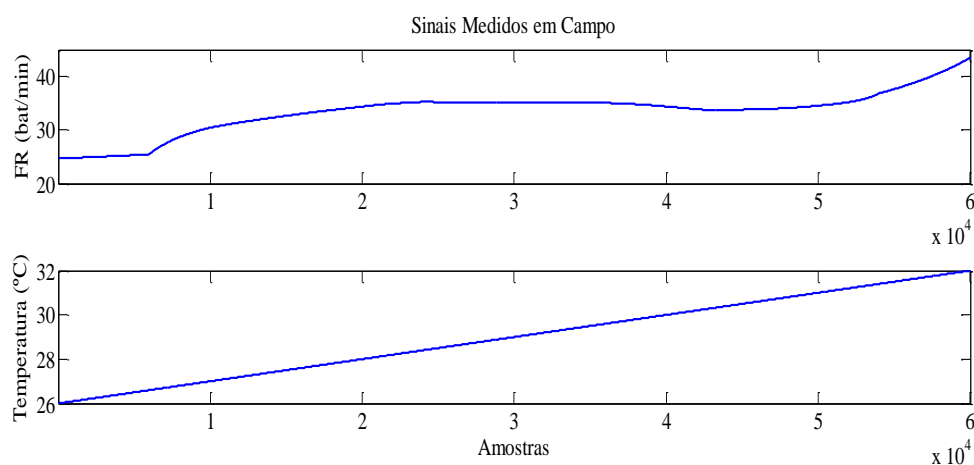


Figura 13. Medições de entradas e saídas.

CONCLUSÕES

Os modelos heurísticos propostos permitem estimar, com eficiência, o consumo de água, consumo de ração, frequência respiratória e frequência cardíaca de ovinos da raça Morada Nova, submetidos a diferentes temperaturas e níveis de salinidade. Tais modelos possibilitam o desenvolvimento de estratégias de controle para a câmara bioclimática, o que pode ser uma motivação para estudos futuros, que visem à automação do processo e conseqüentemente, o re-projeto do sistema de instrumentação e controle da câmara de confinamento, visando à otimização da produção e o bem estar animal.

REFERÊNCIAS

- Aguirre, L. A. **Introdução a Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais**. 2005. 2ª edição, Editora UFMG.
- Alexandre, G. B.; Lima, A. M. N. **Diagnose de Falhas e Gestão de Alarmes em Sistemas de Instrumentação e Controle Industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2013, Campina Grande, Brasil.
- Costa, S. A. P. **Oferta de águas com níveis de salinidade para ovinos Morada Nova**. Petrolina, UNIVASF, 2012. 45p. Dissertação (Mestrado).
- Johnson, T. R.; Combs, D. K. Effects of prepartum diet, inert rumen bulk, and dietary polyethylene glycol on dry matter intake of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 74, n. 3, p. 933-944, 1991.
- Ljung, L. **System Identification: Theory for the User**. 2005. Second edition, Prentice Hall Information and System Sciences Series.
- Orenstein, L. P. **Procedimento para identificação de sistemas dinâmicos em ambiente industrial**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013, Rio de Janeiro, Brasil.

**ANÁLISE PUPILAR PARA O MONITORAMENTO DE ESTRESSE TÉRMICO
EM CAPRINOS**

Jordânio Inácio Marques¹

José Pinheiro Lopes Neto²

Bruna Bezerra Cunha³

Washington da Silva Sousa¹

Dermeval Araújo Furtado²

Nítalo André Farias Machado¹

RESUMO

Os caprinos são animais homeotérmicos considerados rústicos do ponto de vista bioclimático, porém em condições térmicas desfavoráveis ocorre a redução de sua eficiência produtiva, devido à necessidade do acionamento e manutenção dos mecanismos termorregulatórios. O presente estudo foi realizado com objetivo de avaliar a dilatação pupilar como indicador do estresse térmico em caprinos mestiços Boer, mantidos em condições ambientais controladas (câmara climática). Foram avaliados 6 caprinos machos mestiços da raça Boer, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado submetidos às temperaturas de 26, 29 e 33 °C e umidade relativa do ar média de 68%. Foram monitoradas a dilatação e temperatura pupilar (DP e TP), Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), Temperatura Superficial (TS) e Retal (TR), Ganho de Peso (GP) e Conversão Alimentar (CA). Constatou-se o aumento da DP dos animais com a elevação da temperatura do ar, observando-se um acréscimo de 26,96 mm² de área pupilar quando comparadas as temperaturas de 26 e 33°C. Ocorreu a elevação nas TP, FR, FC, TS e TR, assim como o decréscimo no GP e na CA, em resposta ao aumento da temperatura do ar. A DP mostra-se como uma resposta eficiente para se mensurar o nível de estresse térmico a que os caprinos estão submetidos.

PALAVRAS-CHAVE: caprinocultura, fisiologia animal, pupilometria animal.

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Campina Grande, PB.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

INTRODUÇÃO

A caprinocultura de corte se destaca como potencial para o desenvolvimento socioeconômico do Nordeste brasileiro, devido ao elevado grau de adaptação da espécie às condições climáticas regionais, sendo essa região caracterizada por apresentar valores elevados de temperatura do ar devido à alta incidência de radiação solar, o que interfere negativamente no desenvolvimento dos animais, onde estes deixam de utilizar suas reservas energéticas para produção, redirecionando-as para o acionamento e manutenção dos mecanismos termorreguladores. A eficiência produtiva é ampliada quando os animais se encontram em condições de conforto térmico, dispensando o acionamento desses mecanismos e destinando maior parte de suas reservas para o seu desenvolvimento (Souza et al., 2012).

A raça Boer é caracterizada por sua eficiência na produção de carne, sendo utilizada no cruzamento com raças nativas menos produtivas a fim de se melhorar os índices zootécnicos. No entanto, para uma melhor produção desta raça em escala comercial no semiárido brasileiro é necessário que o fator climático seja levado em consideração.

Um aspecto relevante para estimativa do estresse em animais mantidos em ambientes térmicos desfavoráveis é a observação de algumas alterações fisiológicas que são moduladas pelo sistema nervoso autônomo (SNA). No entanto, pode-se dizer que os progressos tecnológicos para a aquisição e análise desses sinais biológicos, a fim de inferir significados em relação às condições a que os animais estão acometidos, ainda é um grande desafio e necessita de maior desenvolvimento, podendo-se afirmar que o reconhecimento desses padrões não atingiu ainda níveis satisfatórios (Pedrotti et al., 2014).

Pesquisas que relacionam a dilatação pupilar com o estresse e fatores psicológicos em animais não são comumente encontradas, porém em seres humanos estudos já vêm sendo desenvolvidos há mais de 50 anos (Laeng et al., 2012). A função primária da pupila é a regulação da quantidade de luz que entra na retina, através da dilatação ou constrição da íris. A reação da pupila a estímulos luminosos ocorre para evitar a exposição excessiva e danos na retina (Helene & Helene, 2011), podendo ser afetada também por fatores como excitação, emoção e estresse.

Laeng et al. (2012) conduzindo experimento com iluminação constante, constataram a ocorrência da dilatação pupilar, quando submeteram pessoas a atividades

envolvendo atenção e decisões comportamentais. Isso se justificou pelo aumento na produção e liberação de monoaminas (norepinefrina) nas mediações do locus coeruleus, como consequência da liberação desses neurotransmissores, ocorreu a ativação do sistema nervoso autônomo (parte do sistema nervoso que está relacionada ao controle da vida vegetativa), ocasionando a dilatação pupilar.

A pupilometria (medição do diâmetro pupilar) é uma ferramenta viável para o estudo de processos cognitivos e emocionais (Granholm & Steinhauer, 2004). A pupila representa a abertura da íris, a estrutura pigmentada contendo dois grupos musculares antagonistas: os do esfíncter e o músculo dilatador da pupila. A pupila é conhecida de modo a refletir as atividades do SNA: Em particular, foi demonstrado que a pupila amplia-se (midríase) como consequência de esforço mental e exposição a variantes estressoras (Lempert et al., 2015; Pedrotti et al., 2014). Com isso, surge a hipótese de que ocorrerá o aumento substancial nas dimensões da pupila dos animais quando submetidos a situações de estresse térmico. A amplitude média das dimensões da pupila deve aumentar, indicando maiores níveis de estresse conforme se eleva a temperatura do ambiente.

Atualmente é comum avaliar o nível do estresse em animais por meio de avaliações fisiológicas, tais como: frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura retal, temperatura superficial, etc. na busca de avaliações de condições estressantes para animais em produção industrial. A pupilometria será um dos métodos a ser utilizado no futuro por não proporcionar contato direto do operador com o animal, assim como determinações precisas possibilitando o desenvolvimento de modelos matemáticos para diferentes níveis de estresse.

Esse trabalho teve como objetivo medir através de imagens digitais a dilatação pupilar de caprinos mestiços Boer + SPRD (sem padrão racial definido) submetidos à diferentes temperaturas em câmara climática, correlacionar esta variável com as respostas fisiológicas e estabelecer padrões de variação com o estresse térmico sofrido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Construções Rurais e Ambiência (LaCRA) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste).

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pela Comissão de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015.

Inicialmente foram selecionados seis caprinos machos inteiros mestiços de $\frac{3}{4}$ da raça Boer e $\frac{1}{4}$ Sem Padrão Racial Definido (SPRD), destinados à reprodução de rebanhos com aptidão à produção de carne, com peso médio de $25,06 \pm 4,43$ kg e idade média de seis meses sendo estes adquiridos em lotes de três animais divididos em duas fases experimentais.

Os animais foram alojados em baias metálicas com dimensões de 1,15 x 0,50 x 0,84 m de comprimento, largura e altura, respectivamente (Figura 1A), dispostas no interior de uma câmara climática (Figura 1B) que possui 5,70 m² de área construída com 2,60 m de pé-direito, conforme mostrado no esquema da Figura 1C, onde os animais foram alojados em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais), considerando-se as duas fases experimentais.

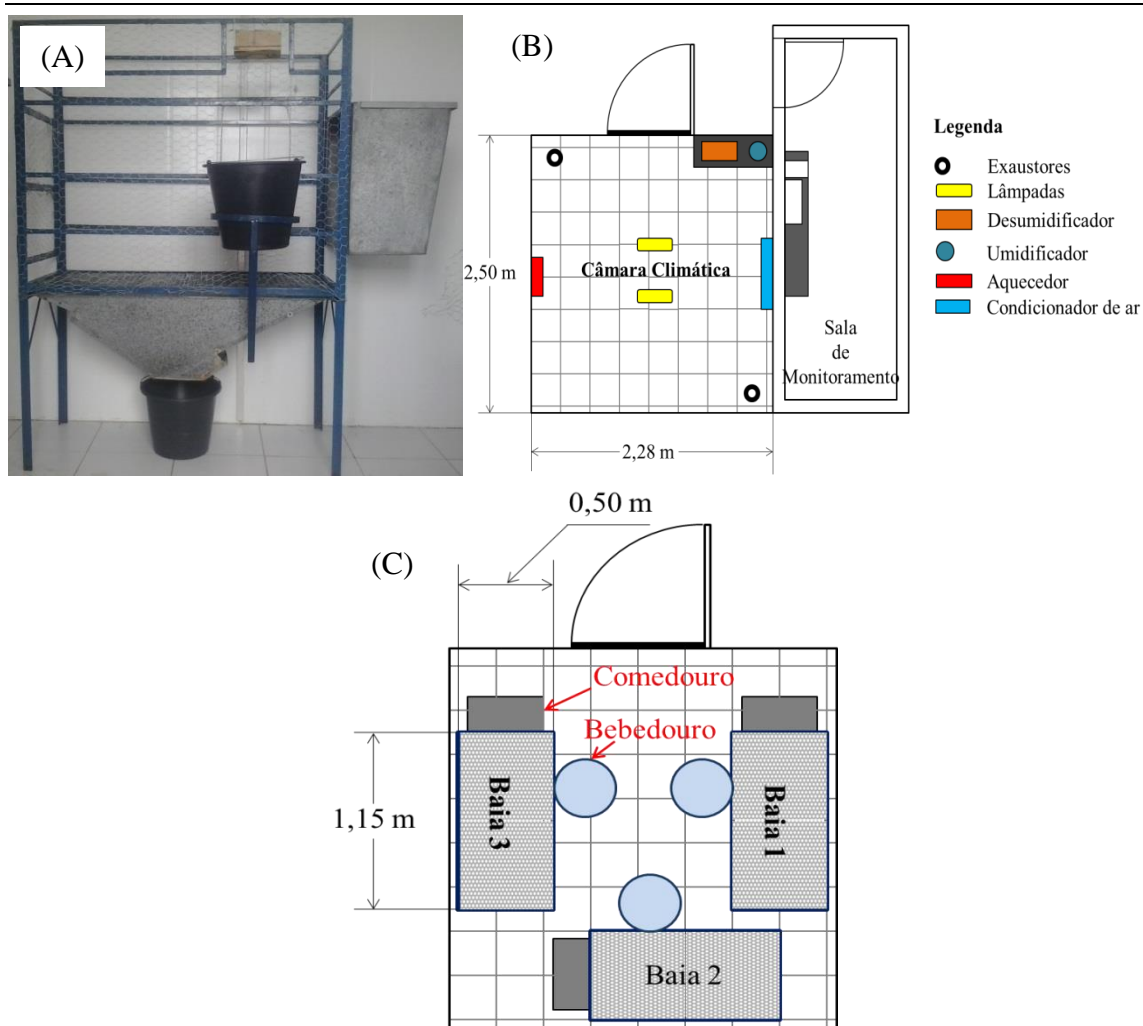


Figura 1. (A) Baia metálica para o alojamento dos animais; (B) Ilustração da câmara climática para simulação das condições ambientais; e (C) Disposição das baias no interior da câmara climática

As temperaturas do ar utilizadas na experimentação foram definidas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30°C com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, os animais foram submetidos a 3 diferentes temperaturas controladas médias, sendo elas: T1 = 26±0,07 °C (zona de conforto térmico), T2 = 29,44±0,06 °C (temperatura limite entre as zonas de conforto e estresse térmico) e T3 = 33,38±0,31°C (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de 68±3,89% e 1 m s⁻¹, respectivamente.

O procedimento experimental foi realizado em duas etapas separadamente, sendo que em cada etapa foram utilizados 3 animais diferentes totalizando 6 animais ao final da pesquisa.

Para cada temperatura, foi adotado um período de cinco dias de adaptação ao ambiente controlado, manejo e alimentação e dez dias de coleta de dados. No início de cada etapa experimental e entre o final de cada tratamento e início do próximo, os animais ficaram durante cinco dias expostos às condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a recomposição de suas funções fisiológicas. Desta forma, levando-se em consideração as duas etapas, o experimento teve duração total de 110 dias.

Em cada etapa de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um programa de 8/16 h (temperatura controlada/temperatura ambiente). Este procedimento visava submeter os animais a cada temperatura experimental por um período de 8 h contínuas. O preparo diário da câmara para o experimento consistia em ligá-la às 7 h da manhã, permitindo um tempo de 1 h para estabilização da temperatura do ar e umidade relativa interna. Após essa estabilização (8 h da manhã), iniciava-se de fato o período de 8 h em temperatura experimental, permanecendo os animais com a câmara fechada até às 16 h onde, a partir deste momento a câmara era desligada e aberta para que fosse iniciado o período de 16 h contínuas em temperatura ambiente.

A ração e água foram fornecidas ad libitum às 7 e 16 h, quando também ocorria a limpeza da instalação. A ração ofertada aos animais foi composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43,0% do volume total da ração, farelo de milho (26,6%), melaço (2,5%), farelo de soja (24,0%), óleo de soja (2,0%), sal mineral (1,5%) e calcário calcítico (0,4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

Durante as 8 h de experimentação diárias, a iluminância no interior da câmara foi mantida constante em 257 lx (medida com luxímetro digital portátil) utilizando-se para isso duas lâmpadas fluorescentes de 15 W cada, com o intuito de evitar a dilatação ou contração da pupila do animal por influência da luz.

As variáveis físicas do ambiente interno da câmara foram monitoradas, controladas e armazenadas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD® interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, Termistor e Umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint).

A captura das imagens para o monitoramento da dilatação pupilar dos animais ocorreu durante os 10 dias de cada tratamento, no período em que a câmara permanecia

fechada. As imagens foram capturadas sem que houvesse o contato direto com os animais e para isso foram montadas estruturas de hardware (Figura 2), sendo esta composta por uma câmera de alta resolução (16 Mp), um micro controlador específico – Arduino UNO, um módulo relé de 5 V, um sensor ultrassônico modelo HC-SR04 e uma fonte/carregador de 5 V de tensão.

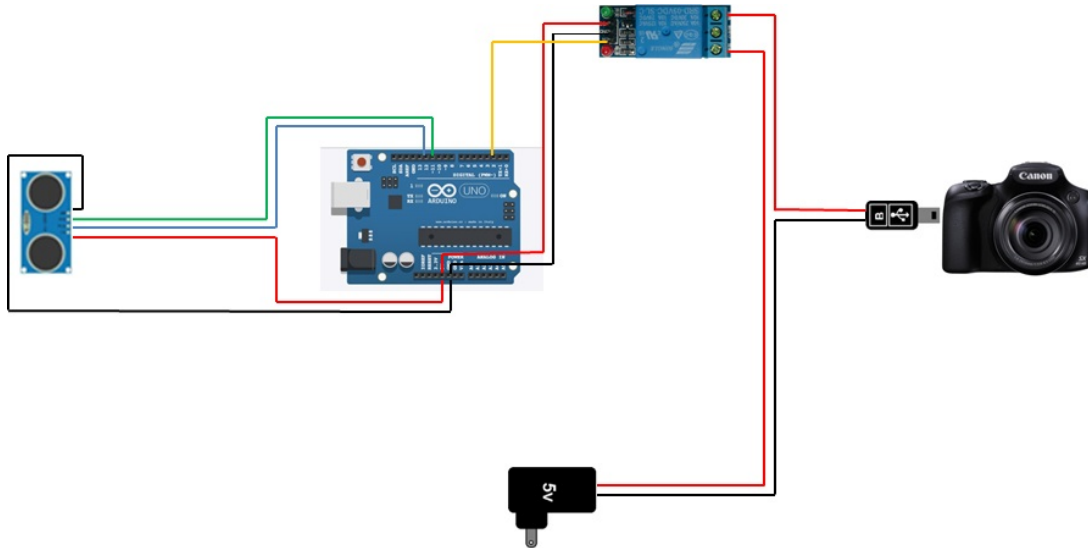


Figura 2. Estrutura de hardware para aquisição das imagens da pupila dos animais

As câmeras foram acopladas em tripés e posicionadas de maneira a captar as imagens das pupilas dos animais. Para o acionamento das mesmas foram instalados os sensores ultrassônicos nas gaiolas (sobre os bebedouros) de modo a captarem a presença dos animais através do envio e recepção de ondas ultrassônicas sempre que houvesse busca por água. Ao identificar a presença do animal, o sonar enviava um pulso elétrico via protocolo de comunicação I2C\RS232 – comunicação serial – para o Arduino que enviava pulsos elétricos de 5 V para ativação do módulo relé, liberando o pulso de 5 V do carregador/fonte para a entrada USB das câmeras, ocasionando o disparo e capturando as imagens da pupila dos animais (Figura 3).

Foi fixada uma escala de referência no chifre dos animais (Figura 3) com intervalos de 5 mm para permitir a conversão das dimensões da pupila que foram coletadas nas imagens em escala de pixel e posteriormente convertidas para milímetros em suas reais dimensões.



Figura 3. Imagem da pupila de um dos animais com escala de referência fixada ao chifre.

A extração dos dados das dimensões das pupilas dos animais foi feita com o auxílio de um microcomputador, e devido à singularidade da forma do globo ocular e pupila (elipsoidal) dos caprinos, foram coletadas as dimensões do Diâmetro Maior (horizontal), Diâmetro Menor (vertical) e área pupilar (Figura 4). Para a obtenção dessas dimensões pupilares foram selecionadas para a análise 30 fotos de cada um dos animais em cada tratamento.

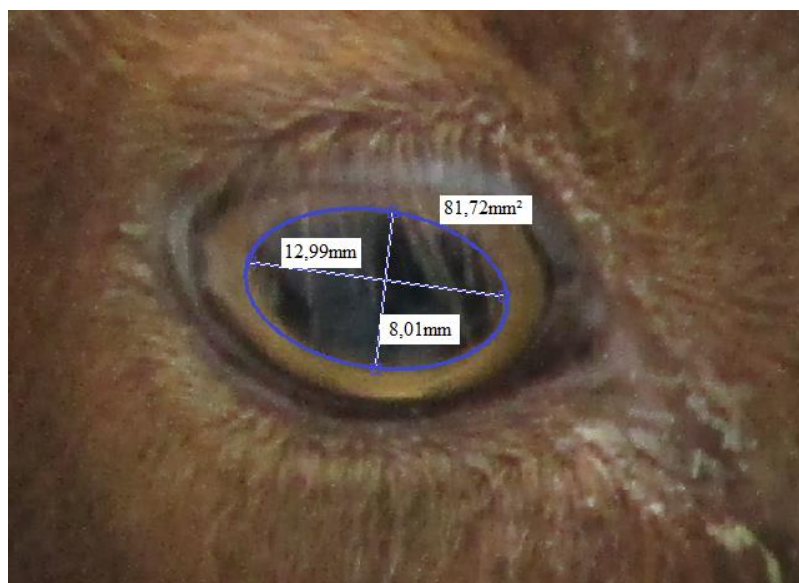


Figura 4. Medidas pupilares de um dos animais avaliados.

A temperatura da pupila dos animais foi monitorada através da captura de termogramas do globo ocular, utilizando-se para isso uma câmera termográfica Fluke® modelo Ti55FT. As imagens térmicas foram coletadas a cada três dias em cada tratamento proposto sempre às 9 h da manhã. Os termogramas foram analisados com auxílio do software SmartView® versão 3.1, disponibilizado juntamente com o termovisor, com isso foi obtida a temperatura média da pupila dos animais (Figura 5) nas três condições térmicas avaliadas adotando-se a emissividade de 0,98 (emissividade de tecido biológico).

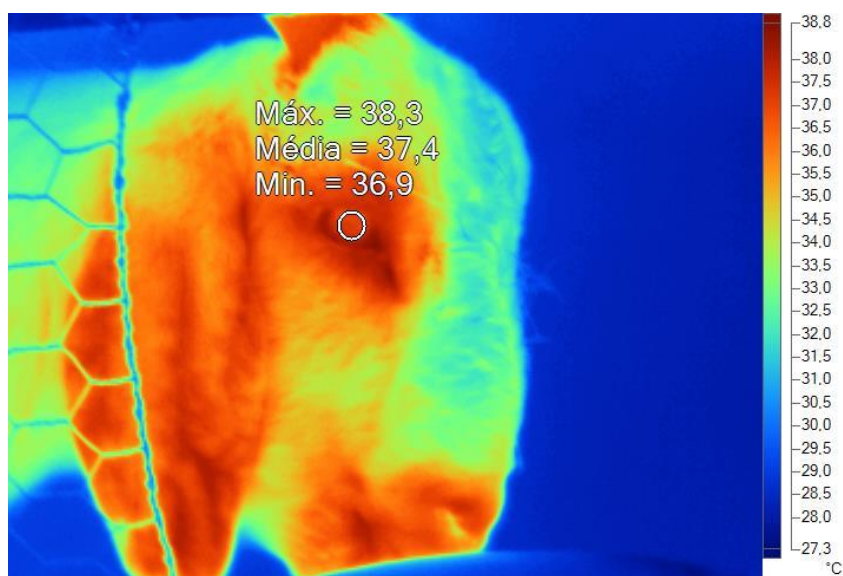


Figura 5. Termograma da cabeça do animal, destacando as temperaturas mínima, máxima e média da pupila

Além das respostas fisiológicas da dilatação e temperatura pupilar, foram coletados dados de frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR). Essas variáveis foram coletadas a cada três dias em cada temperatura testada, sendo sempre coletadas no período da manhã (1 h após a estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara, com o intuito de evitar interferências e ruídos na observação dos dados).

A frequência respiratória foi obtida por meio da ausculta indireta das bulhas com auxílio de estetoscópio flexível, na região laringo-traqueal durante o período de 20 s, realizando-se a extrapolação para um minuto (mov min-1). O procedimento para obtenção da frequência cardíaca (FC) foi também com o auxílio de um estetoscópio, posicionado diretamente sobre a região torácica esquerda, contando-se o número de movimentos durante 20 s, sendo o valor coletado multiplicado por três para determinação da frequência cardíaca em bat min-1.

A temperatura superficial (TS) foi obtida através da média aritmética das temperaturas da frente, do pescoço, do lombo, do costado, do ventre e da canela com auxílio de um termômetro de infravermelho digital, conforme Lucena et al. (2013).

A temperatura retal (TR) foi determinada através da introdução de um termômetro clínico veterinário digital, introduzido diretamente no reto do animal (a uma profundidade de 2 cm) com o bulbo junto à mucosa retal, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura.

O consumo de ração foi registrado diariamente e o ganho de peso foi dado pela média diária do ganho de peso adquirido pelos animais durante os dez dias de cada tratamento. Já a conversão alimentar foi dada pela razão entre o consumo de matéria seca e o quando os animais conseguiam convertê-la o alimento em peso vivo, utilizando-se para isso a Equação 1.

$$CA = \frac{CMS}{GP} \quad (1)$$

Onde,

CA – Conversão Alimentar, kg kg⁻¹;

CMS – Consumo de Matéria Seca, kg;

GP – Ganho de Peso de cada animal, kg.

Com os resultados de área pupilar obtidos em cada situação foi proposto um índice de conforto térmico denominado de Razão de Estresse Pupilar (REP) (Equação 2), sendo este calculado através da razão da área pupilar do animal para a condição em que se encontra e a área pupilar de referência (animal na condição de conforto térmico).

$$REP = \frac{A}{71,88} \quad (2)$$

Onde,

REP – razão de estresse pupilar;

A – área pupilar do animal na condição de estresse, mm²;

71,88 – corresponde à área pupilar do animal em condição de conforto térmico, mm².

Com isso foram propostas três categorias de classificação do estresse fisiológico devido ao desconforto térmico, levando em consideração o comportamento da REP nas

faixas de temperatura estudadas, sendo classificadas em conforto térmico, estresse inicial e estresse pleno.

Os testes de normalidade e de hipótese foram alcançados através da ANOVA utilizando-se o software estatístico Assitat (Silva & Azevedo, 2002), onde os dados foram submetidos a análise de variância e teste F. Utilizou-se o teste de Tukey para comparação das médias a 5% de probabilidade de erro. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores obtidos do Diâmetro Menor (d), Diâmetro Maior (D), Área (A) e Temperatura Pupilar (TP) dos animais seguidos dos respectivos desvios padrão, nas três condições térmicas avaliadas. Pode-se observar uma correlação positiva dessas variáveis fisiológicas com o aumento da temperatura do ar nos animais.

Tabela 1. Diâmetro menor (d) e maior (D), Área (A) e Temperatura pupilar (TP) dos animais

Temperatura do ar (°C)	d (mm)	D (mm)	A (mm ²)	TP (°C)
26	7,68±0,27c	11,90±0,20c	71,88±2,79c	35,13±0,48b
29	8,51±0,17b	12,87±0,15b	86,10±1,05b	37,13±0,54a
33	9,20±0,33a	13,67±0,33a	98,84±3,36a	37,71±0,29a
CV(%)	3,17	1,4	3,03	1,23

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = coeficiente de variação.

Observou-se que o diâmetro menor e maior e a área pupilar dos animais apresentaram diferença significativa (*P<0,05) para as três temperaturas do ar avaliadas, observando-se um acréscimo de 26,96 mm² de área pupilar que corresponde a um aumento de 37%, quando comparadas as temperaturas de 26 °C (dentro da zona de conforto térmico para caprinos) a temperatura de 33 °C (condição de estresse térmico), o que evidencia a influência da temperatura ambiente nas reações pupilares dos animais em estudo.

A dilatação da pupila dos animais pode estar associada à ativação imediata do eixo neural, frente à situação de estresse térmico, o que implica na ativação principalmente do sistema nervoso autônomo (feixe simpático) e do sistema nervoso periférico, o que pode ocasionar dentre outras respostas fisiológicas, a dilatação das

pupilas (Laeng, Sirois & Gredback, 2012). O sistema nervoso autônomo é responsável pela regulação da temperatura corporal dos caprinos, sendo controlado pelo hipotálamo que compõe o sistema de controle central, responsável pela regulação da temperatura interna do organismo do animal.

Desse modo, as alterações fisiológicas dos animais, quando submetidos a modificações de temperatura, estão intensamente relacionadas com as respostas provocadas pelo sistema nervoso autônomo, podendo gerar alterações fisiológicas devido ao esforço realizado pelos animais na tentativa de manter a temperatura corporal constante em resposta às variáveis estressantes (Silva et al., 2016).

O acréscimo na temperatura do ar também ocasionou uma elevação da temperatura superficial da pupila dos animais (Tabela 1) havendo diferença significativa (* $P < 0,05$) da temperatura de 26 °C em relação às duas outras temperaturas do ar (29 e 33 °C). Esse aumento na temperatura pupilar pode ser justificado pelo aumento da irrigação sanguínea no globo ocular devido à vasodilatação que é uma ferramenta de dissipação de calor sensível do núcleo corporal dos animais (devendo esta ser mantida variando dentro de uma faixa estreita de temperatura), que se intensifica devido ao aumento da temperatura do ar.

Stewart et al. (2008) destacam a temperatura pupilar como uma medida precisa para a mensuração do estresse em animais homeotérmicos, por ser facilmente medida e sem a interferência de pele ou pelo, demonstrando ser esta uma medida mais consistente de mudanças de temperaturas do que em outras áreas anatômicas como nariz, orelha, corpo e casco como resposta ao estresse, com isso os autores sugerem que o aumento da temperatura dos olhos, como resultado do estresse, ocorre devido ao aumento correspondente das atividades no eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) que compõem o sistema de controle central, responsável pela regulação da temperatura corporal.

Na Figura 6, pode-se observar o comportamento das temperaturas retal, superficial e pupilar, podendo-se notar um comportamento semelhante das curvas de TR e TP, quando os animais foram submetidos à condição de estresse térmico, apresentando uma diferença de 1,90 e 1,81 °C entre a TR e TP nas temperaturas de 29 e 33 °C, respectivamente, mostrando-se assim a TP como sendo uma variável capaz de indicar variações sensíveis da temperatura do núcleo corporal dos animais quando estes são

mantidos em condições de estresse térmico. Pode-se notar ainda uma diferença brusca no comportamento das curvas de temperatura pupilar e temperatura média da superfície das demais partes do animal, devido a influência direta da temperatura ambiente sobre a variável TS, o que ocorre com menos intensidade na TP, sofrendo esta última maior influência da temperatura do núcleo corpóreo.

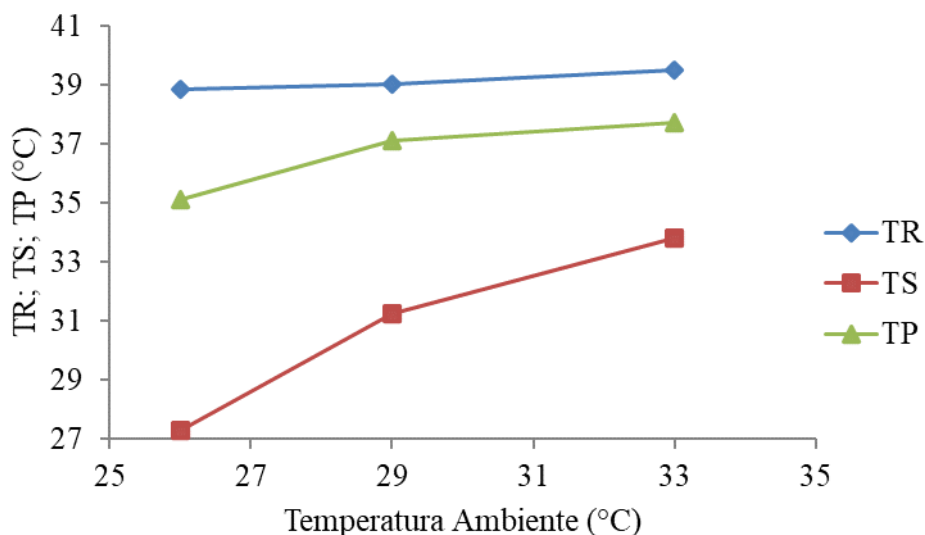


Figura 6. Comportamento da temperatura retal, superficial e pupilar dos animais em função do acréscimo na temperatura ambiente

As médias das respostas fisiológicas frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR) estão apresentadas na Tabela 2. Verifica-se que os animais apresentaram uma frequência respiratória significativamente (* $P < 0,05$) mais elevada conforme a temperatura do ar distanciou-se da zona de conforto térmico para os caprinos, que segundo Souza et al. (2008) é entre 20 e 30 °C. Esse aumento da frequência respiratória surge como uma solução do sistema termorregulatório dos animais necessária para se manter a temperatura corporal relativamente constante, devido ao balanço existente entre a quantidade de calor produzido e perdido, ficar em desequilíbrio, impossibilitando a perda de calor dos animais na forma sensível, ocorrendo a necessidade do aumento da perda de calor pela forma evaporativa através do aumento da frequência respiratória (Silva et al. 2006).

Tabela 2. Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), Temperatura Superficial (TS) e Temperatura Retal (TR) dos animais para as condições avaliadas

Temperatura do ar (°C)	FR (mov.min ⁻¹)	FC (bat.min ⁻¹)	TS (°C)	TR (°C)
26	22,78±1,67c	100,67±3,48c	27,28±0,45c	38,84±0,08b

Pesquisas em ambiência animal

Volume 1

29	28,28±3,62b	108,89±3,48b	31,27±0,41b	39,03±0,05b
33	46,72±2,62a	116,22±2,12a	33,83±0,35a	39,52±0,19a
CV(%)	17,43	7,6	3,03	0,83

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação.

Em relação à FC, verifica-se que também houve diferença significativa (* $P < 0,05$) entre as temperaturas de 26 (dentro da zona de conforto térmico), 29 (zona de transição entre o conforto e o estresse térmico) e 33 °C (acima da zona de conforto térmico), cujos valores mais elevados ocorreram conforme o aumento da temperatura do ambiente.

Lucena et al. (2013) ao conduzirem experimento com caprinos nativos da região Nordeste em ambiente controlado, onde foram avaliadas quatro temperaturas: 20,6; 24,8 e 27,8 °C – todas dentro da ZCT – e 31,6 °C – acima da ZCT – observaram que não houve diferença significativa (* $P < 0,05$) da frequência cardíaca entre as temperaturas consideradas confortáveis para os animais, porém houve efeito significativo (* $P < 0,05$) quando estas foram comparadas com a temperatura estressante. Os dados dos autores corroboram com a afirmativa de que os animais avaliados neste trabalho, quando submetidos à temperatura 29 °C se encontram em uma condição de estresse térmico moderado, agravando-se conforme ocorreu o aumento da mesma para 33 °C.

A TS foi diretamente influenciada pela temperatura do ar, elevando-se significativamente (* $P < 0,05$) quando comparadas as médias obtidas nas três condições avaliadas (Tabela 2). Conforme Souza & Batista (2012), o aumento da temperatura ambiente resulta no aquecimento superficial e endógeno dos animais ocasionado por mudanças fisiológicas e metabólicas como tentativa de se manter a homeostasia do metabolismo.

A temperatura retal não diferiu (* $P < 0,05$) com o aumento da temperatura do ar de 26 para 29 °C; já em comparação destas com a temperatura ambiente de 33 °C, verificou-se o aumento significativo (* $P < 0,05$) da TR. Apesar do aumento da temperatura retal a mesma ainda se encontra dentro da normalidade para a espécie que, segundo Dukes & Swenson (2006), pode variar de 38,5 a 39,7 °C. Isso significa que, para manter a TR (temperatura representativa do núcleo corporal dos animais) dentro de uma faixa estreita de variação, os animais tiveram que ativar seus mecanismos de troca de calor, o que pode ser comprovado pelo aumento significativo de 105,10; 15,45 e

24,01% quando comparadas a primeira e a terceira temperaturas para FR, FC e TS, respectivamente.

Ao se analisar o diagrama de dispersão (Figura 7A) constatou-se forte correlação entre a temperatura do ar e a dilatação pupilar, podendo-se verificar o comportamento linear do acréscimo da área pupilar dos animais conforme se aumenta a temperatura do ambiente com coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as duas variáveis, superior a 0,999, o que demonstra que a medição da variação da dilatação pupilar pode ser adotada como um bom indicador do nível de estresse térmico sofrido por caprinos mestiços Boer.

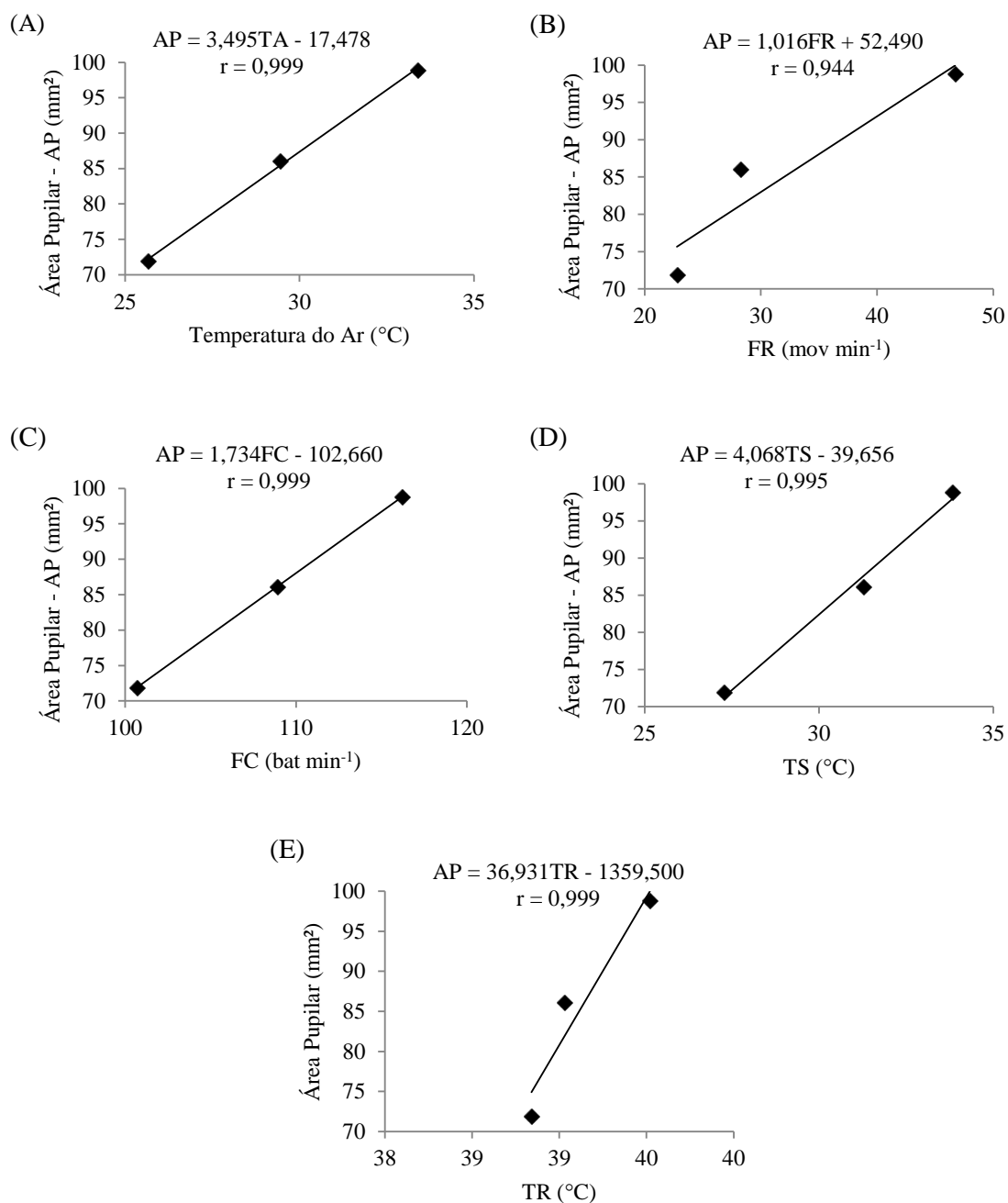


Figura 7. Correlação entre a área pupilar e: (A) Temperatura do ar (°C); (B) FR (mov min-1); (C) FC (bat min-1); (D) TS (°C); e (E) TR (°C).

A dilatação da pupila também apresentou altas correlações lineares positivas em relação às demais respostas fisiológicas dos animais (Figuras 7B a 7E), constatando-se coeficientes de correlação $R = 0,944; 0,999; 0,995$ e $0,999$ para FR, FC, TS e TR, respectivamente. Dessa forma, a observação da dilatação pupilar mostra-se viável na descrição do funcionamento dos mecanismos termorreguladores autônômicos dos

caprinos mestiços Boer quando submetidos a condições de estresse térmico, podendo ser utilizada como variável para a mensuração de respostas fisiológicas de maneira não invasiva e com alto grau de acurácia.

A Razão de Estresse Pupilar (REP) proposta na Equação 2 foi calculada, tendo como resultado 1; 1,19 e 1,37, respectivamente para os três tratamentos, representando um aumento 19% da primeira para a segunda temperatura e de 18% desta para a terceira temperatura do ar, observando-se um aumento total de 37% na REP, quando comparados o primeiro com o terceiro tratamento. Com isso, foram sugeridas três categorias de classificação do estresse fisiológico em função da Razão de Estresse Pupilar, conforme Figura 8.

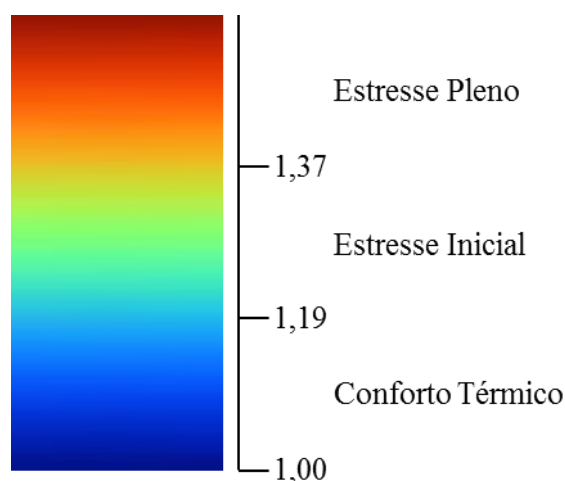


Figura 8. Categorias de classificação do estresse fisiológico devido a razão de estresse pupilar (REP).

Quando a REP variou dentro do intervalo de 1,00 a 1,19, foi categorizado como uma situação de conforto térmico, devido esta faixa de variação na razão de dilatação pupilar ter ocorrido quando os animais estavam submetidos a uma condição de termoneutralidade (26 °C). Já o intervalo compreendido entre 1,19 e 1,37 foi classificado como uma zona de transição entre a condição de conforto e estresse térmico (29 °C), e quando a REP foi constatada como sendo superior a 1,37, indicou que os animais estavam em uma condição de estresse pleno (33 °C), onde passaram a utilizar mais intensamente seus mecanismos de termorregulação e conseqüentemente, despendendo maior quantidade de energia para isso.

Dessa forma, a Razão de Estresse Pupila pode ser adotada como um índice para a mensuração da situação de estresse dos animais e o quanto esse estresse pode

influenciar nas respostas produtivas dos animais. Na Tabela 3, pode-se observar que nas temperaturas de 26 e 29 °C, onde o REP variou de 1,00 a 1,37, não houve diferença significativa (*P<0,05) entre o ganho de peso e a conversão alimentar dos animais. Porém, na terceira condição estudada, pode-se verificar uma redução significativa (*P<0,05) de 58% no ganho de peso dos animais, assim como o aumento significativo (*P<0,05) da conversão alimentar, mostrando que os animais reduziram sua capacidade de converter alimento em carcaça, conforme a REP se distanciou da faixa classificada como zona de conforto térmico.

Tabela 3. Ganho de peso e conversão alimentar dos caprinos mestiços submetidos aos três diferentes tratamentos.

Temperatura do ar (°C)	Ganho de Peso (kg)	Conversão Alimentar (kg kg-1)
26	1,55±0,39a	5,81±1,58b
29	1,32±0,22a	6,80±1,25b
33	0,90±0,10b	9,42±0,85a
CV%	20,63	17,24

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação.

A categorização dessas zonas de classificação de estresse térmico, a partir da observação da dilatação pupilar, é de suma importância, podendo proporcionar a elaboração de equipamentos capazes de observar a pupila do animal e gerar respostas imediatas e precisas em relação ao nível de desconforto térmico a que os animais estão sendo submetidos no ambiente de criação. Com esse suporte tecnológico o produtor poderá agilizar suas tomadas de decisões para a melhoria do conforto térmico no ambiente de criação, tendo como consequência a redução das perdas e aumento da produtividade dos animais, viabilizando mais ainda a exploração da espécie.

CONCLUSÕES

1. A elevação da temperatura ambiente ocasiona o aumento da área pupilar dos animais;
2. A temperatura pupilar pode ser adotada como resposta para indicar variações sensíveis da temperatura do núcleo corporal dos animais quando mantidos em situação de estresse térmico;
3. Quando submetidos à condição de estresse térmico os animais apresentam um aumento na FR, FC, TS e TR;

4. A área pupilar apresenta elevados coeficientes de correlação com a temperatura do ar, FR, FC, TS e TR, respectivamente;
5. É possível estabelecer categorias de classificação do estresse térmico dos animais por meio do índice REP (razão de estresse pupilar), com escala variando de conforto térmico a estresse pleno;
6. A REP pode ser adotada como um índice para a mensuração da situação de estresse e o quanto esse estresse pode influenciar nas respostas produtivas dos animais.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida e financiamento da pesquisa e ao Grupo de Estudos em Construções Rurais e Ambiência (GCAMB) da Universidade Federal de Campina Grande pelo apoio em prol da realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Dukes, H. H.; Swenson, H. J. **Fisiologia dos Animais Domésticos**. 12 .ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2006.
- Granholm, E.; Steinhauer, S. R. Pupillometric measures of cognitive and emotional processes. **International Journal of Psychophysiology**, v. 52, n. 1, p. 1–6, 2004.
- Helene, O.; Helene, A.F. Alguns aspectos da óptica do olho humano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1-8, 2011.
- Laeng, B.; Sirois, S.; Gredebäck, G. Pupillometry: A window to the preconscious?. **SAGE Journals**, v. 7, n. 1, 18-27, 2012.
- Lempert, K. M.; Chen, Y. L.; Fleming, S. M. Relating Pupil Dilation and Metacognitive Confidence during Auditory Decision-Making. **Plos One**, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2015.
- Lucena, L. F.; Furtado, D. A.; Nascimento, J. W. Respostas fisiológicas de caprinos nativos mantidos em temperatura termoneutra e em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 672-679, 2013.
- National Research Council, 2007. **Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids**, 6^a ed. National Academy Press, Washington, D. C.

- Pedrotti, M.; Mirzaei, M.A.; Tedesco, A.; Chardonnet, J.; Mérienne, F.; Benedetto, S.; Baccino, T. Automatic stress classification with pupil diameter analysis. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 30, n. 3, p. 220-236, 2014.
- Silva, F. de A. S. E.; Azevedo, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.
- Silva, G. de A.; Souza, B. de; Alfaro, C. E. P.; Silva, E. M. N. da; Azevedo Neto, S. A.; Silva, R. M. N. Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 1807-1929, 2006.
- Silva, M. R.; Souza, B. B.; Guimarães, L. J.; Costa, D. F.; Rocha, E. F.; Souto, D. V. O.; Silva, E. M. N. Estresse térmico e sua influência na fisiologia de pequenos ruminantes. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 4, n. 2, p. 50-54, 2016.
- Souza, B. B.; Souza, E. D. de; Silva, M. N. da; Cezar, M. F.; Santos, J. R. S. dos; Silva, G. de A. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 314-320, 2008.
- Souza, B. B.; Batista, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 3, p. 06-10, 2012.
- Souza, P. T. de; Salles, M.G.F.; Araújo, A.A. de, 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1888-1895.
- Stewart, M.; Stafford, K. D.; Dowling, S. K.; Schaefer, J. R. Eye temperature and heat rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior**, v. 93, n. 4-5, 789-797, 2008.

EFEITO DO TEMPO DE TRANSPORTE NO BEM-ESTAR DE LEITÕES

*Ana Letícia Vieira e Silva*¹

*José Antonio Delfino Barbosa Filho*²

*Daniel Gurgel Pinheiro*²

*Nítalo André Farias Machado*¹

*Bruna Bezerra Cunha*³

*Jordânio Inácio Marques*¹

RESUMO

A redução das perdas no trânsito de animais tem se tornado um desafio para os criadores e transportadoras. O objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do tempo de transporte de leitões sobre o bem-estar animal e as perdas de produção da carga. Um total de 20 viagens, com tempos de transporte de 30 minutos (15 km) e 150 minutos (170 km) foram monitoradas. Em cada viagem, registrou-se o perfil de entalpia na carroceria do caminhão. Após a chegada, mensurou-se indicadores fisiológicos em 960 leitões com peso corporal de $26,4 \pm 2,8$ kg (48 por viagem). O percentual de suínos machucados (NAI), fadigados (NANI), mortos na chegada (DOA) foram contabilizados e a perda total determinada ($\Sigma = \text{NAI} + \text{NANI} + \text{DOA}$). Os leitões transportados por 30 minutos apresentaram maiores médias de temperatura retal, frequência respiratória e também os níveis de cortisol e creatina quinase mais elevados. Maiores taxas de perdas foram observadas nos carregamentos transportados por 30 minutos, em decorrência do maior percentual de suínos classificados como fadigados e pelo percentual de DOA. Portanto, viagens com menores tempos de transporte apresentam maior risco ao bem-estar animal, e são mais suscetíveis à ocorrência de perdas em trânsito em operações de transporte comercial de leitões em clima tropical.

PALAVRAS-CHAVES: estresse, termorregulação, perdas produtivas

¹Universidade Federal do Maranhão – UFMA – Chapadinha, MA.

²Universidade Federal do Ceará – UFCE – Fortaleza, CE.

³Faculdade do Baixo Parnaíba – FAP – Chapadinha, MA.

INTRODUÇÃO

O transporte representa um risco ao bem-estar e à sobrevivência dos animais e também de prejuízo à indústria animal. Durante essa operação, pode ocorrer perdas consideráveis em decorrência de lesões, contusões, mortes em trânsito e desenvolvimento de características indesejáveis na carne e carcaça (RIOJA-LANG et al., 2019). Esse cenário, motivou vários estudos sobre a condição do transporte nos segmentos da produção animal, como avicultura (SANTOS et al., 2020), suinocultura (MACHADO et al., 2021a), ovinocultura (MIRANDA-DE LA LAMA et al., 2018), bovinocultura (BERTOLONI et al., 2012), entre outros.

No entanto, investigações sobre condições de transporte de leitões são incipientes (RIOJA-LANG et al., 2019), especialmente em regiões de clima tropical (MACHADO et al., 2021a). Estudos em clima temperado mostram que o transporte pode causar perda de peso por desidratação (JOHNSON et al., 2018) redução do consumo de ração dos leitões até 7 dias pós transporte (MOTA-ROJAS et al., 2014) e, em alguns casos, mortes em trânsito, associada diretamente com a hipotermia (AVERÓS et al., 2010), especialmente pela formação de núcleos térmicos (MACHADO et al., 2021a), afetando o bem-estar animal e a lucratividade dos criadores e transportadoras.

Os suínos são animais homeotérmicos que possuem glândulas sudoríparas funcionais reduzidas, o que compromete sua capacidade termorregulatória (RIOJA-LANG et al., 2019). Nesse sentido, estudos sobre o transporte de leitões em países de clima tropical podem auxiliar entidades competentes no desenvolvimento e aperfeiçoamento de protocolos para reduzir o estresse animal e perdas produtivas associadas.

O objetivo com este estudo foi avaliar o efeito do tempo de transporte (30 minutos e 150 minutos) sobre indicadores fisiológicos e comportamentais de bem-estar animal e nas perdas de produção, durante o transporte rodoviário de leitões em uma região de clima tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido de acordo com os padrões éticos de pesquisa com animais, após aprovação pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (Processo número 9871250719).

Um total de 1.920 leitões mestiços Large White x Landrace x Duroc com 68 dias de idade e peso médio corporal de $25,2 \pm 5,3$ kg foram transportados por 150 minutos (170 km) e 30 minutos (15 km) no verão de 2019 (janeiro a fevereiro) para fazendas localizadas nas cidades de Caucaia ($3^{\circ} 44'4''$ S $38^{\circ} 39'23''$ W e 24 m de altitude) e Morada Nova ($5^{\circ} 06'24''$ S $38^{\circ} 22'21''$ W e 52 m de altitude), respectivamente. Todos os leitões eram provenientes de uma mesma fazenda, situada em Maracanaú ($3^{\circ} 54' 46,4''$ S $38^{\circ} 39' 19,2''$ W e 43 m de altitude), estado do Ceará, região nordeste do Brasil.

O transporte foi realizado em um caminhão Ford® cargo 1519, com carroceria modelo Triel® - HT de dois andares, contendo seis compartimentos (altura = 0,95 m, comprimento = 2,40 m e largura = 1,30 m, totalizando área de 3,20 m²) por nível e uma capacidade de carga de 13 toneladas (Figura 1). A densidade da carga utilizada no transporte foi de 290 kg/m². A alimentação dos animais foi suspensa com o início do carregamento. O manuseio de animais, pré-carregamento e transporte foram padronizados de acordo com o padrão comercial da empresa.

Durante o carregamento, ocorreu o “molhamento da carga”, onde os animais e a carga foram molhados de forma aleatória por um funcionário da fazenda usando uma mangueira, a quantidade média de água utilizada (\pm SE) foi de 2.680 ± 309 litros / carga (mín = 2035 litros / carga e máx = 3008 litros / carga).

Sensores (Onset, U23-001 HOBO Pro v2, Massachusetts, USA) foram instalados no centro de cada dos doze compartimentos da carroceria do caminhão, na altura dos animais. O monitoramento dos dados de temperatura do ar e umidade relativa foram a cada 10 minutos. A caracterização do perfil micrometeorológico foi realizada com base na entalpia específica (Rodrigues et al., 2011) usando a equação 1.

$$H = 1.006 \times AT + \frac{RH}{Pb} \times 10^{7.5TA(237.3 + TA)^{-1}} \times (71.28 + 0.052 \times TA) \quad (1)$$

Onde,

H – entalpia específica (kJ/kg de ar seco);

TA – temperatura do ar (° C);

RH – umidade relativa (%);

Pb – pressão barométrica local (mmHg).

Na baía da instalação de terminação, cerca de 20 ± 5 minutos após o transporte, uma subamostra de 960 animais (48 por viagem, sendo 4 por compartimento da carroceria) com peso corporal de $26,4 \pm 2,8$ kg foi selecionada aleatoriamente e

identificada com marcações de tinta na região dorsal para posterior coleta da temperatura retal ($^{\circ}$ C), temperatura superficial ($^{\circ}$ C), a frequência respiratória (FR, respirações/minutos), a concentração sérica de lactato (m / M) e creatina quinase (CK, U / L).

Antes da contenção dos animais, coletou-se a frequência respiratória e a temperatura superficial dos leitões. A frequência respiratória foi obtida por dois especialistas, que foram previamente treinados, observando o movimento do flanco dos animais por um intervalo de 30 segundos (SANTOS et al., 2019). A temperatura superficial foi obtida usando uma câmera termográfica com resolução de 4800 pixels (Fluke, TiS10, Everett, WA, EUA).

A câmera foi calibrada com a temperatura da baia no momento da coleta e também foi previamente ajustada com a emissividade (ϵ) indicada para tecidos biológicos, com $\epsilon = 0,98$ (MACHADO et al., 2021b). As imagens térmicas foram geradas adotando uma distância fixa de 1 m entre a câmera termográfica manipulada pelo observador e os animais analisados. Por fim, a temperatura superficial dos leitões foi determinada contornando a área corporal do animal no software Connect.

Em seguida, os leitões foram brevemente contidos em decúbito dorsal (~ 2 minutos) para a coleta de amostras de sangue da veia jugular por um médico veterinário, usando agulhas hipodérmicas 18G, 38 mm. Foram coletadas amostras de 10 ml de sangue foi coletado em tubos (BD Vacutainers, Kasvi K50204S, São José dos Pinhais, Brasil). Esse procedimento foi seguido de hemostasia e limpeza das orelhas dos animais para evitar sequelas.

Para análise do cortisol, utilizou-se um kit comercial ELISA (Neogen Corp. Lexington, KY, EUA) com um leitor de microplaca. Para análise da creatina quinase utilizou-se um kit comercial (Creatina Quinase-SL, Sukisui Diagnostics, Charlottetown, PE, Canadá), sendo a concentração sérica determinado usando espectrofotômetro (Konica Minolta, CM-3600A, Tóquio, Japão).

Durante o descarregamento, um observador registrou o número de suínos classificados como fadigados (NANI) - animais ofegantes ou que se recusam a ficar de pé, mas sem ferimentos, traumas ou doenças aparentes; machucados (NAI) - animais feridos que param de movimentar-se ou têm sua locomoção comprometida e a ocorrência de mortes na chegada (DOA) de acordo com Ritter et al. (2006). Em seguida, a perda produtiva total da carga foi estimada, somando a incidência de suínos NANI, suínos NAI e DOA (RITTER et al., 2009).

Dois grupos de animais, transportados por 30 minutos ou transportados por 150 minutos, foram comparados. Os resultados foram analisados pelo procedimento MIXED no Statistical Analysis System (SAS Inst. Inc., Cary, NC), com base no modelo estatístico: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta X_{ij} + e_{ij}$, onde Y_{ij} = valor observado; μ = média geral; T_i = efeito do tempo de transporte; βX_{ij} = efeito da semana de coleta e e_{ij} = efeito do erro experimental. A validade da suposição de normalidade dos resíduos foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para todas as variáveis, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey-Kramer. Foi adotado um nível de $P < 0,05$ como limite de significância em todos os testes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos resultados da avaliação térmica na carga de acordo com o tempo de transporte são mostrados na Figura 2. A umidade relativa e a entalpia foram afetadas (ambos $P < 0,01$) pelo tempo de transporte, com aumentos médios de 7% da umidade e 3,75 kJ / kg de ar seco da entalpia específica na carga transportada por 30 minutos. No entanto, ambos os tratamentos apresentaram média de entalpia acima de 80 kJ / kg de ar seco, caracterizando ambiente propício para o “estresse térmico” de leitões (SILVA-MIRANDA et al., 2012).

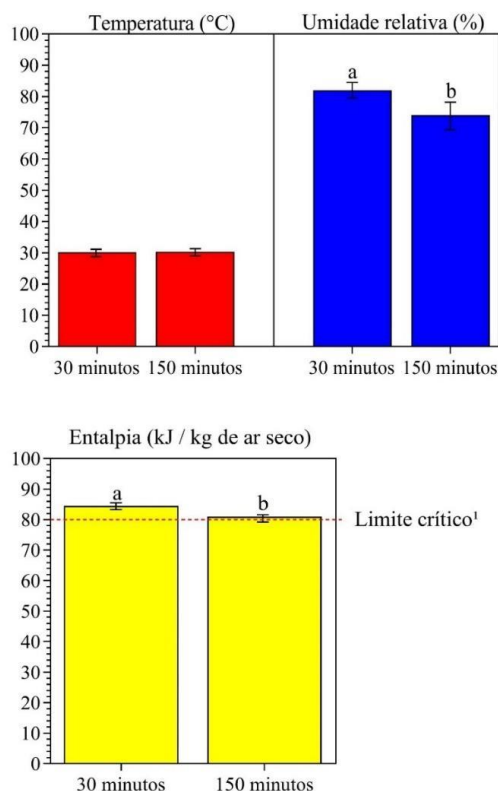


Figura 2. Valores médios da temperatura do ar, umidade relativa e entalpia das cargas transportados por 30 minutos e 150 minutos. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$).

O tempo de transporte teve efeito em todas variáveis fisiológicas avaliadas, exceto a temperatura superficial (Tabela 2). Aumentos na temperatura retal ($+0,77$ ° C; $P = 0,019$) e frequência respiratória ($+8$ respirações / min; $P = 0,017$) foram registrados no grupo de animais transportados por 30 minutos. Maiores concentrações de cortisol ($+3,96$ ng / mL) e creatina quinase ($+684$ U / L) foram registradas no grupo de animais transportado por 30 minutos (ambos, $P < 0,001$) em comparação com o grupo transportado por 150 minutos.

Tabela 2. Médias e erro padrão das médias das variáveis fisiológicas dos leitões transportados por 30 minutos e 150 minutos

Item	Tempo de Transporte		Valor de P
	30 min	150 min	
Temperatura retal (°C)	39,85±0,48 ^a	39,08±0,64 ^b	0,019
Temperatura superficial (°C)	39,61±0,69	39,58±0,79	0,280
Frequência respiratória (respirações/min)	98,00±1,50 ^a	90,00±3,00 ^b	0,017
Cortisol (ng/mL)	82,17±1,08 ^a	78,21±1,12 ^b	<0,001
Creatina quinase (U/L)	4140±34,20 ^a	3456±32,66 ^b	<0,001

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey-Kramer ($P < 0,05$).

Os resultados obtidos com a avaliação térmica das cargas já eram esperados e, em geral, evidenciam o desafio ambiental enfrentado pelos leitões durante a viagem. Como resultado, ocorre os aumentos na temperatura retal e frequência respiratória nos leitões transportados por 30 minutos sugerem maior demanda do sistema de termorregulação para manutenção da temperatura corporal em razão da hipotermia (ZHOA et al., 2016), indicando um cenário de estresse mais evidente neste grupo.

No entanto, os aumentos observados no nível de cortisol e creatina quinase indicam um efeito aditivo do estresse fisiológico e físico. Esse resultado pode ser associado, provavelmente, ao manejo de carregamento dos animais. Assim,

aparentemente, ocorre elevada carga de estresse durante o carregamento, associado ao demasiado esforço físico dos animais e práticas de manejo. Foi relatado em estudos aumento na frequência cardíaca (CORREA et al., 2014) e dos níveis de cortisol salivar e lactato sanguíneo dos suínos (CORREA et al., 2010) no embarque dos animais no caminhão, em comparação com os valores de suínos em repouso.

Neste estudo, a alta densidade de carga adotada pela transportadora (290 kg/m²) certamente influenciou negativamente o perfil meteorológico da carga, por exemplo um suíno de 100 kg emite 160 W (KETTLEWELL et al., 2001). Consequentemente a mesma atuou como um fator potencializador da hipertermia dos leitões, o que pode ter influenciado as respostas fisiológicas (URREA et al., 2021). A legislação da União Europeia recomenda como densidade ideal até 235 kg/m², baseia-se na evidência de que, quando a densidade da carga for superior, nem todos os suínos conseguem deitar-se e não podem descansar (LAMBOOIJ, 2014).

Observou-se um aumento na indecência de animais fadigados (+ 3,06%; P <0,001) e nas taxas de mortes na chegada (+ 4,08%; P = 0,027) no grupo transportado por 30 minutos. Isso teve influência no percentual de perda produtiva total, que aumentou (+9,18%) significativamente nas cargas transportadas por 30 minutos em comparação com o grupo transportado por 150 minutos (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias e erro padrão da média para as perdas produtivas da carga

Item	Tempo de Transporte		Valor de P
	30 min	150 min	
Animais Fadigados, %	4,08±0,02 ^a	1,02±0,04 ^b	<0,001
Animais Machucados, %	2,04±0,10	1,02±0,04	0,137
Mortes na Chegada, %	6,12±0,08 ^a	2,04±0,06 ^b	0,027
Perda Total, %	12,24 ±0,06 ^a	3,06±0,05 ^b	<0,001

Médias seguidas da mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey-Kramer (P <0,05).

Portanto, essas evidências sugerem que após certo tempo de transporte os animais se adaptam às condições de viagem, como o estresse térmico (MACHADO et al., 2021a), a vibração e ruído da carroceria (DONOFRE et al., 2017), densidade da carga

(RIOJA- LANG et al., 2019) entre outros, como pode ser visto pelas respostas fisiológicas (ex: temperatura retal, frequência respiratória e concentração de cortisol e creatina quinase mais baixas). Isso também mostra que dependendo da magnitude do estresse causado pelo carregamento, os animais podem apresentar maiores dificuldades na recuperação do seu estado fisiológico em viagens mais curtas (DALLA COSTA et al., 2019).

No geral, parece haver um crescente corpo de literatura que apoia a visão de que tempos de transporte curtos tendem a ser mais prejudiciais. No entanto, existem necessidade de estudos avaliando as condições de transporte longos (> 8 horas). Sobre os resultados das perdas produtivas, Haley et al. (2008) relataram que, para cada aumento de 50 km na distância no transporte de suínos pré-abate, pode-se esperar que o DOA diminua em cerca de 0,81 vezes, além de diminuir o risco das taxas de DOA em viagens com distâncias acima de 134 km.

Em um outro estudo, Pérez et al. (2002) sob condições comerciais normais para transporte de suínos na Espanha, concluíram que suínos submetidos a viagens mais curtas (15 minutos) apresentaram uma resposta ao estresse mais intensa (+ 29,46 ng / mL de cortisol) em comparação com suínos submetidos a viagens mais longas (3 horas).

CONCLUSÕES

Os transportes com menores tempos de operação possuem maior risco ao bem-estar animal e são mais susceptíveis a ocorrência de perdas produtivas durante o transporte de leitões em regiões de clima tropical. Os resultados sugerem que o carregamento e descarregamento dos animais devem ser melhorados. Recomenda-se o planejamento do transporte, o treinamento dos funcionários e a redução da densidade da carga como medidas para melhorar a qualidade do transporte.

REFERÊNCIAS

- Averós, X.; Knowles, T. G.; Brown, S. N.; Warriss, P. D.; Gosálvez, L.F. Factors affecting the mortality of weaned piglets during commercial transport between farms. **Veterinary Record**, v. 167, n. 21, p. 815-819, 2010.
- Bertoloni, W.; Silva, J. L.; Abreu, J. S.; Andreolla, D. L. Bem-estar e taxa de hematomas de bovinos transportados em diferentes distâncias e modelos de carroceria no estado do Mato Grosso - Brasil. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 3, p. 850-859, 2012.

CONTRAN – **National Traffic Council, resolution N°791, 18 of June, 2020.**

Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-791-de-18-de-junho-de-2020-263184341> >. Acesso em: 18 Jan. 2022.

Correa, J. A.; Gonyou H. W.; Torrey, S.; Widowski, T.; Bergeron, R.; Crowe, T.; Laforest, J. P.; Faucitano, L. Welfare of pigs being transported over long distances using a pot-belly trailer during winter and summer. **Animals**, v. 4, n. 2, p. 200–213, 2014.

Correa, J. A.; Torrey, S.; Devillers, N.; Laforest, J. P.; Gonyou, H. W.; Faucitano, L. Effects of different moving devices at loading on stress response and meat quality in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 12, p. 4086-4093, 2010.

Dalla Costa, O. A.; Dalla Costa, F. A.; Feddern, V.; Lopes, L. S.; Coldebella, A.; Gregory, N. G.; Lima, G. J. M. M. Risk factors associated with pig pre-slaughtering losses. **Meat Science**, v. 155, n. 1, p. 61–68, 2019.

Dalla Villa, P.; Marahrens, M.; Calvo, A. V.; Di Nardo, A.; Kleinschmidt, N.; Fuentes-Alvarez, C.; Truar, A.; Di Fede, E.; Otero, L. J.; Müller-Graf, C. 2009. **Project to develop Animal Welfare Risk Assessment Guidelines on Transport**. Available at <https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/en-21> (Accessed 19 January 2021).

Donofre, A. C.; Silva, I. J.; Nazareno, A. C.; Ferreira, I. E. P. Mechanical vibrations in the transport of hatching eggs and the losses caused in the hatch and quality of broiler chicks. **Journal Of Agricultural Engineering**, v. 48, n. 1, p. 36-41, 2017.

Faucitano, L. Preslaughter handling practices and their effects on animal welfare and pork quality1. **Journal Of Animal Science**, v. 96, n. 2, p. 728-738, 2018.

Fox, J.; Widowski, T.; Torrey, S.; Nannoni, E.; Bergeron, R.; Gonyou, H.W.; Brown, J.A.; Crowe, T.; Mainau, E.; Faucitano, L. Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 1. Effects on pig behaviour, gastrointestinal tract temperature and trailer micro-climate. **Livestock Science**, v. 160, n. 1, p. 113-123, 2014.

Haley, C.; Dewey, C. E.; Widowski, T.; Poljak, Z.; Friendship, R. Factors associated with in-transit losses of market hogs in Ontario in 2001. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 72, n. 5, p. 377-384, 2008.

Johnson, J. S.; Aardsma, M. A.; Duttlinger, A. W.; Kpodo, K. R. Early life thermal stress: impact on future thermotolerance, stress response, behavior, and intestinal morphology in piglets exposed to a heat stress challenge during simulated transport. **Journal Of Animal Science**, v. 96, n. 5, p. 1640-1653, 4 abr. 2018.

- Kettlewell, P. J.; Hoxey, R. P.; Hampson, C. J.; Green, N. R.; Veale, B. M.; Mitchell, M. A. AP-Animal production technology: design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles. **Journal of agricultural engineering research**, v. 79, n. 4, p. 429-439, 2001.
- Lambooj, E. Transport of pigs. In: Grandin, T. (org.). **Livestock Handling and Transport**. Wallingford: CABI Publishing. 2014
- Machado, N. A. F.; Martin, J. E.; Barbosa-Filho, J. A. D.; Dias, C. T. S.; Pinheiro, D. G.; Oliveira, K. P. L.; Souza-Júnior, J. B. F. Identification of trailer heat zones and associated heat stress in weaner pigs transported by road in tropical climates. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, n. 1, p. 102882, 2021a.
- Machado, N. A. F.; Costa, L. B. S.; Barbosa-Filho, J. A. D.; Oliveira, K. P. L.; Sampaio, L. C.; Peixoto, M. S.; Damasceno, F, A. Using infrared thermography to detect subclinical mastitis in dairy cows in compost barn systems. **Journal of Thermal Biology**, v. 97, p. 102881, 2021b.
- Miranda-De La Lama, G. C.; Palomares, M. R.; Monterrosa, R. G. R.; Amor, A. A. R.; Pinheiro, R. S. B.; Galindo, F. M.; Villarroel, M. Long-distance transport of hair lambs: effect of location in pot-belly trailers on thermo-physiology, welfare and meat quality. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, n. 1, p.327-336, 2018.
- Mota-Rojas, D.; Santiago, P. R.; Pedraza, E. P.; Rodriguez, R. M.; Trujillo, E. H.; Ortega, M. E. T. Stress factors in weaned piglet. **Veterinaria México**, v.1, n. 1, p.37-51, 2014.
- Perez, M. P.; Palacio, J.; Santolaria, M. P.; Aceña, M. C.; Chacón, G.; Gascón, M.; Calvo, J. H.; Zaragoza, P.; Beltran, J. A.; García-Belenguer, S. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. **Meat Science**, v. 61, n. 4, p. 425-33, 2002.
- Rioja-Lang, F. C.; Brown, J. A.; Brockhoff, E. J.; Faucitano, L. A review of swine transportation research on priority welfare issues: A canadian perspective. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2019.
- Ritter, M. J.; Ellis, M.; Bowman, R.; Brinkmann, J.; Curtis, S. E.; DeDecker, J. M.; Mendoza, O.; Murphy, C. M.; Orellana, D. G.; Peterson, B. A.; Rojo, A.; Schlipf, J. M.; Wolter, B. F. Effects of season and distance moved during loading on transport losses of market-weight pigs in two commercially available types of trailer. **Journal of animal science**, v. 86, n. 11, p. 3137-3145, 2008.

- Ritter, M.J.; Ellis, M.; Berry, N. L.; Curtis, S. E.; Anil, L.; Berg, E.; Benjamin, M.; Butler, D.; Dewey, C.; Driessen, B.; Dubois, P.; Hill, J. D.; Marchant-Forde, J. N.; Matzat, P.; Mcglone, J.; Mormede, P.; Moyer, T.; Pfalzgraf, K.; Salak-Johnson J.; Siemens, M.; Sterle, J.; Stull, C.; Whiting, T.; Wolter, B.; Niekamp, S. R.; Johnson, A. K. Review: Transport Losses in Market Weight Pigs: I. A Review of Definitions, Incidence, and Economic Impact. **The Professional Animal Scientist**, v. 25, n. 4, p. 404–414, 2009.
- Ritter, M. J.; Ellis, M.; Brinkmann, J.; Dedecker, J. M.; Keffaber, K. K.; Kocher, M. E.; Peterson, B. A.; Schlipf, J. M.; Wolter, B. F. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 10, p. 2856-2864, 2006.
- Rodrigues, V. C.; Da Silva, I.; Vieira, F.; Nascimento, S. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, n. 1, p. 455-459, 2011.
- Santos, A. R. D.; Parentes, H. N.; Machado, N. A. F.; Araujo, J. S.; Ferreira, D. J.; Rocha, K. S.; Anjos, L. F.; Portela, Y. N.; Sousa, M. N.; Zanine, A. M. The physiological response, feeding behaviour and water intake of goat kids fed diets with increasing levels of babassu mesocarp flour. **Biological Rhythm Research**, v. 53, n. 3, p. 1-13, 2019.
- Santos, V. M.; Dallago, B. S.; Racan Ricci, A. M.; Santana, Â. P.; Cue, R. I.; Bernal, F. E. Effect of transportation distances, seasons and crate microclimate on broiler chicken production losses. **PloS one**, v.15, n. 1, p. e0232004, 2020.
- Silva-Miranda, K. O.; Borges, G.; Menegale, V. L. C.; Silva, I. J. O. Effects of environmental conditions on sound level emitted by piglets. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 435-455, 2012.
- Urrea, V. M.; Bridi, A. M.; Ceballos, M. C.; Da Costa, M. J. R. P.; Faucitano, L. Behavior, blood stress indicators, skin lesions, and meat quality in pigs transported to slaughter at different loading densities. **Journal of Animal Science**, v. 99, n. 6, p. 16, 2021.
- Zhao, Y.; Xin, H.; Harmon, J. D.; Bass, T. J. Mortality rate of weaned and feeder pigs as affected by ground transportation conditions. **Transactions of the ASABE**, v. 59, n. 1, p. 943-948, 2016.

