

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JÉSSICA CAETANO DIAS CAMPOS

**Respostas termorregulatórias de bezerras da raça Holandesa submetidas
à ondas de calor: avaliação do estresse agudo e crônico**

Pirassununga

2022

JÉSSICA CAETANO DIAS CAMPOS

**Respostas termorregulatórias de bezerras da raça Holandesa submetidas
à ondas de calor: avaliação do estresse agudo e crônico**

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientadora: Prof. Dra. Luciane Silva Martello

Pirassununga

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C198r Caetano Dias Campos, Jéssica
Respostas termorregulatórias de bezerras da raça
Holandesa submetidas à ondas de calor: avaliação do
estresse agudo e crônico / Jéssica Caetano Dias
Campos ; orientadora Luciane Silva Martello. --
Pirassununga, 2022.
145 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia
de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Bovinos leiteiros. 2. Câmara climática. 3.
Comportamento. 4. Estresse calórico. 5. Termografia.
I. Silva Martello, Luciane, orient. II. Título.



CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Respostas termorregulatórias de bezerras holandesas submetidas a ondas de calor: avaliação do estresse agudo e crônico", protocolada sob o CEUA nº 6957201219 (ID 001415), sob a responsabilidade de **Luciane Silva Martello** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo - FZEA/USP (CEUA/FZEA) na reunião de 28/01/2020.

We certify that the proposal "Thermoregulatory responses of Holstein calves submitted to heat waves: evaluation of acute and chronic stress", utilizing 10 Bovines (males and females), protocol number CEUA 6957201219 (ID 001415), under the responsibility of **Luciane Silva Martello** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Animal Science and Food Engineering - (São Paulo University) (CEUA/FZEA) in the meeting of 01/28/2020.

Finalidade da Proposta: [Pesquisa \(Acadêmica\)](#)

Vigência da Proposta: de [05/2020](#) a [07/2020](#)

Área: [Engenharia de Biosistemas](#)

Origem: [Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos \(FZEA/USP\)](#)

Espécie: [Bovinos](#)

sexo: [Machos e Fêmeas](#)

idade: [60 a 70 dias](#)

N: [10](#)

Linhagem: [Raça Holandesa](#)

Peso: [120 a 140 kg](#)

Local do experimento: Câmara climática do Departamento de Reprodução Animal, pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (VRA/FMVZ) e baía coletiva, anexa à câmara climática.

Pirassununga, 28 de janeiro de 2020

Profa. Dra. Daniele dos Santos Martins
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo - FZEA/USP

Profa. Dra. Cristiane Gonçalves Titto
Vice-Cordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo - FZEA/USP

JÉSSICA CAETANO DIAS CAMPOS

Respostas termorregulatórias de bezerras da raça Holandesa submetidas à ondas de calor: avaliação do estresse agudo e crônico

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências

Área de concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientadora: Professora Doutora Luciane Silva Martello

Data de Aprovação: 17/01/2022

Banca examinadora:

Profa Dra: Luciane Silva Martello

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Profa Dra: Cristiane Gonçalves Titto

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Profa Dr: Rafael Vieira de Sousa

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Profa Dra: Késia Oliveira DA Silva Miranda

Instituição: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Julgamento: _____

Profa Dra: Roberta Passini

Instituição: Universidade Estadual de Goiás

Julgamento: _____

Profa Dra: Priscila Pereira Coltri

Instituição: Universidade Estadual de Campinas

Julgamento: _____

DEDICO...

Aos meus pais Dione e João

Aos meus irmãos Thiago, Rafaela e Erick

À minha filha Laura

Vocês me fortaleceram para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

À Deus por permitir a execução desta pesquisa e por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais Dione e João pelo incentivo aos estudos, e por sempre estarem presentes nos momentos de dificuldades e nos momentos de alegria.

Aos meus irmãos Thiago, Rafaela e Erick pelo companheirismo e apoio durante essa jornada.

À minha orientadora Dra. Luciane Silva Martello por aceitar me orientar, e me deixar à vontade com a escolha do projeto, do qual fui insistente em trabalhar com bezerras. Agradeço por me mostrar sempre o lado positivo das situações, por me fazer acreditar no meu potencial, pela preocupação, apoio, pelos conhecimentos transmitidos ao longo desses anos, pela confiança depositada principalmente durante a execução do experimento. Pela parceria, planejamento e dedicação na elaboração e finalização deste trabalho, meus eternos agradecimentos e imensa admiração.

Ao professor Dr. Evaldo Antonio Lencioni Titto por toda preocupação e incentivo desde a minha chegada ao Campus da USP, por todos os ensinamentos durante longas conversas, pela paciência, pelo entusiasmo nas discussões de trabalhos, por todo o apoio demonstrado. Você conquistou meu respeito, admiração e eterna gratidão.

À professora Dra. Cristiane Gonçalves Titto pelos ensinamentos durante o estágio PAE, pelas sugestões de projetos, correções de artigos e toda ajuda em submissões nas revistas, pela confiança em ceder o laboratório durante o experimento, por todo incentivo e apoio. Deixo aqui minha eterna gratidão e admiração por seu profissionalismo.

Ao professor Dr. Rafael Vieira que dedicou seu tempo várias vezes para me receber em sua sala e discutir várias ideias de projetos. Sua sabedoria ao longo desses anos contribuiu para o meu desenvolvimento pessoal.

Ao técnico de laboratório Edson Sardinha por toda ajuda prestada e parceria durante o curso.

À professora Dra. Priscila Pereira Coltri pelas dúvidas sanadas, pela paciência e ensinamentos durante a elaboração deste projeto.

À toda equipe do Projeto Bezerras, pela amizade que construímos nesses dias de trabalho árduo, pelo companheirismo, momentos de desespero e diversão sempre terminando com muitas risadas. Alex, André Levi, Maria, Isabele e Gabriel Pagin, deixo aqui meu singelo agradecimento a todos vocês.

À toda equipe do LAZP pelos momentos de trocas de conhecimento, descontrações em nossas reuniões, Workshops e passeios, por todo incentivo no desenvolvimento pessoal e profissional. Obrigada Verônica, Jonathan, Taisla, Gabriel e Emanuel.

Às amigas que construí no LABE, Dra. Thays, Elder, Felipe, Douglas, Kelly, Renata, Alanis e Bruna, agradeço por toda parceria, apoio, incentivo e cooperativismo.

À Messy por sempre estar ao meu lado, nos momentos bons e ruins. Sua presença e parceria foram fundamentais para a elaboração e desenvolvimento da pesquisa. Que nossa amizade prevaleça apesar da distância.

Às boas amigas que construí dentro do Campus da USP Thais, Jéssica, Tamyres, Mellory, Aska, Mariane e Camylla. Vocês alegraram os meus dias e me fortaleceram com todo o carinho que sempre demonstraram por mim.

A todos da República Caipira pelo acolhimento, companheirismo, conselhos e momentos de diversão.

A toda equipe do setor de gado leiteiro (PCAPS/USP) por me receberem de braços abertos e por toda ajuda na execução do experimento.

Às toda equipe do serviço de Pós-Graduação da USP/FZEA, especialmente à Maria Cecília, Kefilin e Erica que sempre me atenderam prontamente com muito carinho e acolhimento agradeço imensamente.

Aos meus amigos de longa data Marcus, Jefferson, Edith, Felipe Eguti, Lainny e Claudinea pelos sábios conselhos e incentivo ao longo desses anos.

Às 10 bezerras que participaram deste experimento as quais conviveram comigo por quase 3 meses.

A todos que participaram comigo direta ou indiretamente durante a pesquisa e todo o processo de aprendizagem durante a Pós-Graduação.

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

RESUMO

CAMPOS, J.C.D. **Respostas termorregulatórias de bezerras da raça Holandesas submetidas à ondas de calor: avaliação do estresse agudo e crônico.** 2022. 145f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

A pecuária leiteira é de suma importância para o país, no entanto, as características climáticas do clima tropical representa um grande desafio para alcançar alta produtividade e o bem-estar dos animais, sobretudo em situações de ocorrência de ondas de calor causando perdas produtivas e consequentemente prejuízos econômicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas fisiológicas e comportamentais de bezerras desaleitadas da raça Holandesa submetidas ao estresse agudo e crônico causados por ondas de calor. O experimento foi conduzido na câmara climática do Departamento de Reprodução Animal, pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (VRA/FMVZ). Foram utilizadas 10 bezerras desaleitadas, da raça Holandesa, com idade aproximada de 3 a 6 meses e peso médio de ± 120 a 220 Kg. Os animais foram submetidos a duas ondas de calor com duração de 5 dias cada uma e um intervalo de 13 dias entre elas. A temperatura da câmara foi ajustada gradualmente para atingir a máxima de 35,7 °C às 14h, sendo reduzida gradualmente até o final do dia. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, sendo que a condição do estresse agudo (TEsA) e crônico (TEsC) foram considerados como tratamentos para as avaliações, além do tratamento controle de temperatura ambiente (TCO). Portanto, foram 3 tratamentos (TCO, TEsA e TEsC), com 10 repetições. Os efeitos dos tratamentos, da hora da avaliação (06h, 10h, 14h, 18h e 22h) e das ondas de calor (1 e 2) e suas interações sobre as características de frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudorese (TS) e temperatura de superfície de pele (TIV) de diferentes regiões corporais foram analisadas pelo software SAS®. Os comportamentos diários posturais e ingestivos foram analisados nos períodos da manhã (05h, 09h e 11h), tarde (13h e 17h) e noite (23h30min-00h e 00h-00h30min). Todas as interações (tratamento, horário e onda) foram abertas e avaliadas. Como resultado observou-se que as bezerras estudadas apresentaram um desconforto maior durante o estresse crônico do que no estresse agudo. Os horários mais estressantes para os animais foram entre 10h e 18h, sendo o mais crítico às 14h. As duas ondas de calor enfrentadas pelos animais foram desconfortantes, sendo que a onda 2 foi mais desafiadora e impactante. A ordem de atuação das variáveis fisiológicas foi a taxa de sudorese, seguida da elevação da temperatura de superfície corporal e simultaneamente a frequência respiratória e por último a elevação da temperatura retal. A temperatura retal mostrou um efeito cumulativo de calor. A capacidade sudorífera de bezerras com idade de 3 a 6 meses se mostrou ativa e elevada durante as ondas de calor. As regiões corporais mais promissoras para avaliação do estresse térmico foram as áreas do olho e orelha. Os limites do índice de temperatura e umidade e entalpia encontrados na literatura para bovinos leiteiros não pareceram ser aplicáveis para a categoria de bezerros. O comportamento dos animais em ambiente controlado e com limitação de deslocamento se mostrou diferente dos comportamentos encontrados na literatura para animais a campo. Os

comportamentos deitado e deitado em ócio foram os mais evidentes em todos os tratamentos. O comportamento bebendo foi maior durante o estresse crônico. Os ajustes fisiológicos de dissipação de calor através dos mecanismos latentes foi a principal via utilizada pelos animais durante o estudo. O intervalo de 13 dias entre as duas ondas calor não pareceu ser suficiente para a recuperação dos animais. Não foi evidenciado que os animais passaram por alguma aclimatação, quando submetidos a pelo menos 5 dias de estresse térmico.

Palavras-chave: bovinos leiteiros, câmara climática, comportamento, estresse calórico, termografia.

ABSTRACT

CAMPOS, J.C.D. **Thermoregulatory responses of Holstein calves submitted the heat waves: evaluation of acute and chronic stress.** 2022. 145f. Thesis (Doctoral) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022.

Dairy farming is important for the country, however, the climatic characteristics of the tropical climate represent a great challenge to achieve high productivity and animal welfare, especially in situations of heat waves causing production losses and consequently economic losses. The objective of this work was to evaluate the physiological and behavioral responses of weaned Holstein heifers submitted to acute and chronic stress caused by heat waves. The experiment was conducted in the climatic chamber of the Department of Animal Reproduction, belonging to the Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo. (VRA/FMVZ). Ten Holstein heifers were used, with an approximate age of 3 to 6 months and mean weight of ± 120 to 220 kg. The animals were submitted to 2 heat waves lasting 5 days each and with an interval of 13 days between them. The chamber temperature was gradually adjusted to reach a maximum of 35.7 °C at 2 pm, being gradually reduced until the end of the day. A completely randomized design was used, and the condition of acute stress (TEsA) and chronic stress (TEsC) were considered as treatments for the evaluations, in addition to the control room temperature (TCO) treatment. Therefore, there were 3 treatments (TCO, TEsA and TEsC), with 10 repetitions. The effects of treatments, evaluation time (6:00 am, 10:00 am, 2:00 pm, 6:00 pm and 10:00 pm) and heat waves (1 and 2) and their interactions on the characteristics of respiratory rate (FR), rectal temperature (TR), capacity sudative (TS) and skin surface temperature (TIV) of different body regions were analyzed by the SAS® software. The daily postural and ingestive behaviors were analyzed in the morning (5 am, 9 am and 11 am), afternoon (1 pm and 5 pm) and night (11:30 pm until midnight and midnight until half past midnight). All interactions (treatment, time and wave) were opened and evaluated. As a result, it was observed that the studied heifers showed more discomfort during chronic stress than in acute stress. The most stressful times for the animals were between 10 am and 6 pm, with 2 pm being the most critical. The two heat waves faced by the animals were uncomfortable, with wave 2 being more challenging and impactful. The order of action of the physiological variables was the sweating rate, followed by the elevation of the body surface temperature and simultaneously the respiratory rate and finally the elevation of the rectal temperature. Rectal temperature showed a cumulative heat effect. The sudative capacity of calves aged 3 to 6 months was active and elevated during heat waves. The most promising body regions for the assessment of heat stress were the eye and ear areas. The thresholds for the temperature and humidity index and enthalpy found in the literature for dairy cattle did not seem to be applicable for the category of calves. The behavior of animals in a controlled environment and with limited movement was different from the behaviors found in the literature for field animals. The behaviors lying down and lying idle were the most evident in all treatments. Drinking behavior was greater during chronic stress. The physiological adjustments of heat dissipation through latent mechanisms was the main route used by the animals

during the study. The 13-day interval between the two heat waves did not seem to be sufficient for the animals to recover. It was not evident that the animals underwent any acclimatization when subjected to at least 5 days of heat stress.

Keywords: dairy cattle, climate chamber, behavior, heat stress, termography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Visão frontal da câmara climática.	42
Figura 2- Desenvolvimento de vínculo entre a equipe experimental e os animais selecionados para o estudo durante a fase final de aleitamento e fase inicial de desaleitamento.....	43
Figura 3- Momento de fornecimento de água e alimento para os animais.....	44
Figura 4- Câmara climática no início do experimento para avaliações dos tratamentos: TCO, TEs agudo e crônico.	45
Figura 5- Linha do tempo do período experimental.	47
Figura 6- Avaliação da frequência respiratória.	50
Figura 7- Mensuração da temperatura retal.	50
Figura 8- Etapas da produção de discos de papel filtro para mensuração de sudação.	51
Figura 9- Mensuração da taxa de sudação.	52
Figura 10- Regiões da superfície corporal onde foram registradas imagens termográficas: A- TIVOlh (área ocular), B- TIVOre (orelha), C- TIVFro (fronte), D- TIVFla (flanco) e E- TIVCos (costela).	53
Figura 11- Registro da área experimental e dos animais pela câmera filmadora.	54
Figura 12- Janela para seleção do animal analisado.....	56
Figura 13- Janela para seleção do comportamento a ser anotado.....	56
Figura 14- Exibição dos labels (rótulos) no <i>frame</i> do vídeo.....	57
Figura 15- Esquema geral de registro de dados do experimento.	58
Figura 16- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TCO (tratamento controle).....	60
Figura 17- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TEsA (tratamento estresse agudo).	61
Figura 18- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TEsC (tratamento estresse crônico).....	62

Figura 19- Médias de frequência respiratória (FR) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.	69
Figura 20- Médias de temperatura retal TR para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.....	70
Figura 21- Médias de taxa de sudção TS para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.....	72
Figura 22- Médias de frequência respiratória FR para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	77
Figura 23- Médias de temperatura retal TR para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.	78
Figura 24- Médias de taxa de sudção TS para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.	79
Figura 25- Médias da temperatura de infravermelho do olho (TIVOlh) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	81
Figura 26- Médias da temperatura de infravermelho da orelha (TIVOre) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	82
Figura 27- Médias da temperatura de infravermelho da frente (TIVFro) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	83
Figura 28- Médias da temperatura de infravermelho da costela (TIVCos) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	84
Figura 29- Médias da temperatura de infravermelho do flanco (TIVFla) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.....	85

Figura 30- Médias de taxa de sudção TS para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.....	86
Figura 31- Médias de TIVOre (temperatura de infravermelho da orelha) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.	87
Figura 32- Médias de TIVFro (temperatura de infravermelho da frente) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.	88
Figura 33- Médias do TIVFla (temperatura de infravermelho do flanco) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.	89
Figura 34- Médias de frequência respiratória FR para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEsA.....	91
Figura 35- Médias de temperatura retal TR para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEsA.....	92
Figura 36- Médias de taxa de sudção TS para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEsA.....	93
Figura 37- Médias de temperatura do olho TIVOlh (A), orelha TIVOre (B), frente TIVFro (C), costela TIVCos (D) e flanco TIVFla (E) para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h no TEsA.	94
Figura 38- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsA (temperatura estresse agudo) e TEsC (temperatura estresse crônico) durante o período da manhã (05h, 09h e 11h).	104
Figura 39- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsA (temperatura estresse agudo) e TEsC (temperatura estresse crônico) durante o período da tarde (13h e 17h).....	106
Figura 40- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsA (temperatura estresse agudo) e TEsC (temperatura estresse crônico) durante o período da tarde (13h e 17h).....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Etograma de trabalho: comportamentos observados nas bezerras durante o período experimental.	55
Tabela 2- Médias da temperatura do ar (TBS °C) no TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nos diferentes horários e ondas de calor (1 e 2).	63
Tabela 3- Médias de ITU (índice de temperatura e umidade) observadas nos TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico), em cada horário e ondas de calor (1 e 2).	64
Tabela 4- Médias de entalpia observadas nos TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) em cada horário e nas duas ondas de calor (1 e 2).	66
Tabela 5- Efeitos e interações observadas da análise estatística para as variáveis fisiológicas estudadas FR (frequência respiratória), TR (temperatura retal), TS (taxa de sudção), TIVOlh (temperatura de infravermelho do olho), TIVFro (temperatura de infravermelho da frente), TIVOre (temperatura de infravermelho da orelha), TIVCos (temperatura de infravermelho da costela), TIVFla (temperatura de infravermelho do flanco).	67
Tabela 6- Médias de temperatura de infravermelho do olho (TIVOlh) ($p \geq 0,05$). Médias de efeito tratamento x hora ($p \leq 0,05$) para a temperatura de infravermelho da frente (TIVFRO), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFLA).	74
Tabela 7- Correlações entre as variáveis meteorológicas temperatura do ar (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia (H) e variáveis fisiológicas frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS).	95
Tabela 8- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS), temperatura média de infravermelho do olho (TIVOlh), frente (TIVFro), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento controle: temperatura.	97
Tabela 9- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS), temperatura média de infravermelho do olho	

(TIVOlh), frente (TIVFRO), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento estresse agudo (TEsA).....	98
Tabela 10- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudação (TS), temperatura média de infravermelho do olho (TIVOlh), frente (TIVFRO), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento estresse crônico (TEsC).....	99
Tabela 11- Variações das respostas fisiológicas de bezerras desaleitadas da raça Holanda sob condições de estresse térmico advindas de ondas de calor em ambiente controlado.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍGLAS

°C	Escala Celsius
cm	Centímetros
FR	Frequência respiratória
H	Entalpia
h	Hora
ITU	Índice de temperatura e umidade
Kg	Quilograma
m ²	Metro quadrado
Min	Minutos
r	Correlação de Pearson
RS	Radiação solar
TBS	Temperatura de bulbo seco
TCI	Temperatura crítica inferior
TCO	Tratamento controle- temperatura ambiente
TCS	Temperatura crítica superior
TEsA	Tratamento de estresse térmico agudo
TEsC	Tratamento de estresse térmico crônico
TIV'S	Termografias de infravermelho
TIVCos	Termografia de infravermelho da costela
TIVFla	Termografia de infravermelho do flanco
TIVFro	Termografia de infravermelho da frente
TIVOIh	Termografia de infravermelho do olho
TIVOre	Termografia de infravermelho da orelha
Tpo	Temperatura de ponto de orvalho
TR	Temperatura retal
TS	Taxa de sudação
UR	Umidade relativa do ar
ZTN	Zona de termoneutralidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Influência do clima na produção animal e ocorrência de ondas de calor	22
2.2 Estresse térmico: termorregulação e fisiologia do estresse em bezerras	26
2.3 Técnicas para avaliação de estresse térmico	30
2.3.1 Índice de temperatura e umidade.....	31
2.3.2. Entalpia.....	32
2.3.3 Avaliação comportamental	33
2.3.4 Avaliação das características de termorregulação.....	35
2.3.5 Termografia de infravermelho.....	39
3 OBJETIVOS	40
3.1 Objetivo geral:	40
3.2 Objetivos específicos:	41
4 HIPÓTESE	41
5 METODOLOGIA	41
5.1 Bioética.....	41
5.2 Local e período experimental.....	42
5.3 Animais.....	42
5.4 Tratamentos e instalação	44
5.5 Caracterização das ondas de calor.....	46
5.6 Monitoramento no ambiente climático	48
5.7 Monitoramento dos animais.....	49
5.8 Análise estatística dos dados	58
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
6.1 Ambiente climático	59
6.1.1 Temperatura e umidade relativa do ar	59

6.1.2 Índice de temperatura e umidade	64
6.1.3 Entalpia	66
6.2 Respostas fisiológicas	67
6.3 Análise descritiva das respostas fisiológicas durante o estresse agudo	90
6.4 Correlações	95
6.5 Classificação de limiares de estresse térmico	101
6.6 Respostas comportamentais	104
7 CONCLUSÕES GERAIS	109
8 IMPLICAÇÕES	110
9 REFERÊNCIAS	111
APÊNDICE	128
APÊNDICE A- Artigo Científico	129

1 INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é praticada em toda extensão do território brasileiro, sendo uma atividade importante para o país, tanto no contexto social quanto no econômico (EURICH et al., 2016). Na bovinocultura leiteira a fase de cria e recria de bezerras tem como objetivo principal a reposição dos animais no plantel (BARNABÉ et al., 2014), sendo, portanto, de suma importância ao sistema produtivo.

Geralmente, nos modernos sistemas de criação, os produtores buscam desaleitar o animal o mais rápido possível, entre 60 a 90 dias após o nascimento, ou até mesmo a partir dos 45 dias. O objetivo desta prática é reduzir a dependência de um alimento líquido e caro (leite) e, conseqüentemente, possibilitar o maior uso de alimentos sólidos, já que são mais baratos, tornando menores os custos com a alimentação (VASCONCELOS et al., 2009).

Nesta fase de vida, os animais já apresentam desenvolvidos os seus sistemas termorregulatório, imunitário e ruminal. No entanto, a atenção nessa fase deve ser redobrada por parte dos criadores, já que é uma fase de grande risco de incidência de doenças em virtude do estresse causado pelos manejos de descorna, mudança de instalação, troca de dieta (líquida para sólida) e adaptação das bezerras ao novo processo de digestão e fermentação ruminal (SIGNORETTI, 2017).

Em regiões tropicais como é o caso do Brasil, a combinação de altas temperaturas ambientais e alta radiação solar ao longo do ano representa um desafio ainda maior para os animais nessa fase, uma vez que, não raro, são acometidos pelo estresse térmico. Nessa situação os animais precisam realizar ajustes fisiológicos para manutenção do conforto térmico e manutenção do seu metabolismo. Tais ajustes provocam gasto energético extra, podendo comprometer de modo negativo a produtividade e bem-estar dos animais (SOUZA e BATISTA, 2012).

Sobre questões relativas ao estresse térmico, um fenômeno que tem chamado atenção em estudos da área de ambiência animal é relativo à ocorrência de ondas de calor, que são fenômenos meteorológicos que podem ocorrer em várias regiões tropicais e também de clima temperado. Esse

fenômeno está relacionado com a manutenção de elevadas temperaturas do ar durante vários dias. A chegada de uma onda de calor pode trazer diversos transtornos aos sistemas de criação, culminando inclusive em morte de animais (BISHOP-WILLIAMS et al., 2015; VITALI et al., 2015; MARCÍAS-RIOSECO et al., 2018).

Estudos sobre os efeitos de ondas de calor para bezerras leiteiras em fase de recria (desaleitadas) são insipientes, sobretudo no que se refere ao acometimento de um estresse térmico crônico, ou seja, um estresse de maior duração. Características fisiológicas, como frequência respiratória, temperatura retal, temperatura de superfície corporal e taxa de sudação são frequentemente utilizadas para avaliar o estresse térmico, assim como as características comportamentais. Essas respostas podem ser alteradas em função da duração e intensidade do estresse térmico em que os animais se encontram (BERNABUCCI et al., 2010; RENAUDEAU et al., 2012). Adicionalmente, grande parte dos estudos são relacionados ao acometimento de respostas agudas ao estresse pelo calor e que podem não persistirem ou serem alteradas através do estresse térmico crônico, sendo, portanto, importante avaliar as respostas dos animais nessa condição de ajustes do organismo ao estresse crônico.

Considerando a fase de recria como sendo de grande importância para a produção leiteira e que, principalmente, nesta fase de vida os animais já apresentam sistema termorregulatório eficiente (SANTOS, 2006), torna-se importante conhecer as respostas termorregulatórias e comportamentais dos animais frente a esse desafio ambiental, o que poderá contribuir para o planejamento estratégico de produtores e tomadas de decisões, evitando prejuízos ao sistema produtivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Influência do clima na produção animal e ocorrência de ondas de calor

De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2009) o clima de uma região reflete as condições médias atmosféricas de elementos meteorológicos (temperatura do ar, ventos, pressão atmosférica, umidade

relativa do ar e precipitação pluviométrica, dentre outros) em determinado local da superfície terrestre, por um período mínimo de 30 anos. O clima de determinado local ou região tem influência diretamente no potencial dos animais de produção (DELFINO et al., 2012). De acordo com Bond et al. (1967); Blackshaw e Blackshaw (1994) e Brown-Brandl et al., (2006) as condições meteorológicas que mais influenciam a carga de calor aplicada aos bovinos são a temperatura ambiente (T °C), umidade relativa (UR%), radiação solar (RS) incluindo radiação de ondas longas e curtas, velocidade do vento (V (m/s) e a precipitação (mm).

A combinação de altas temperaturas ambientais, alta umidade relativa do ar, alta incidência de radiação solar e baixa velocidade do vento podem desencadear o estresse térmico nos animais (SOUZA e BATISTA, 2012). Essas condições modificam o equilíbrio térmico do organismo, provocando alterações nas respostas fisiológicas, comportamentais (DOMINGOS et al., 2013) e adaptativas nos animais (BARBOSA et al., 2014), podendo causar consequências negativas no crescimento, produção e eficiência reprodutiva (DASH et al. 2016).

Mediante as consequências citadas, estudos relacionados ao clima são necessários para a compreensão do amplo campo da climatologia e seus impactos sobre a qualidade de vida dos animais. Um dos assuntos que vem sendo estudado com relação aos possíveis efeitos das mudanças climáticas é a ocorrência mais frequente de eventos extremos de calor, que são identificados como “ondas de calor” (KOGILMA e ELY, 2019). É importante ressaltar que as ondas de calor sempre ocorreram e fazem parte da variabilidade natural do clima. No entanto, em cenários de mudanças climáticas, essas ondas podem se tornar mais frequentes e mais intensas.

Pesquisas sobre a ocorrência de ondas de calor e seus impactos na produção animal têm sido realizadas por Hahn e Mader (1997), Hubbard et al., (1997) e Brown-Brandl et al., (2005) com bovinos de corte, Lima et al., (2007) e Vitali et al., (2015) com bovinos de leite e por Vale et al., (2008) com frangos. Até onde se sabe, são escassos ou não existem trabalhos avaliando bezerras leiteiras em situações de ondas de calor.

Existem várias definições para o termo “onda de calor” (BISHOP-WILLIAMS et al., 2015) e apesar de não existir um consenso internacional

sobre a correta definição do termo (MONTERO et al., 2013; PERKINS, 2015; SON et al., 2016; GUO et al., 2016), as diferentes definições partem do pressuposto de que, uma onda de calor é uma situação de longo período de tempo com temperaturas mais elevadas do que a média esperada para uma área ou região (CHESINI et al., 2019).

Na Argentina, o serviço Nacional de Meteorologia (SMN) define como onda de calor o período em que as temperaturas máximas do ar se mantiveram similares por 3 dias consecutivos ou mais. Na caracterização das ondas de calor, eles também observam se as temperaturas mínimas do ar se mantiveram semelhantes durante este período, portanto, observam tanto os limiares máximos, quanto os limiares mínimos (CHESINI et al., 2019). A Organização Meteorológica Mundial (OMM: WMO-TD n°. 1071), considera uma onda de calor como sendo, o período de pelo menos 6 dias consecutivos em que a temperatura média do ar é 5°C superior ao valor médio das temperaturas do ar do período de referência. Já o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) recomenda considerar um período de 5 ou mais dias consecutivos com temperatura média do ar diárias excedendo 5 °C ou mais a temperatura média considerada da região, conforme banco de dados climáticos dos últimos 30 anos. Alguns países utilizam os critérios fixos propostos da OMM e do IPCC, mas os redefinem a partir de suas próprias características térmico-ondulatórios (OLIVEIRA et al., 2018).

As ondas de calor costumam ocorrer principalmente durante períodos de verão, quando campos de pressão semi-fixos bloqueiam a chegada de frentes frias, produzindo bolsões de ar quente durante os dias (OLIVEIRA et al 2018). O evento é justificável não apenas em regiões de clima tropical, mas também em regiões de clima temperado (RENAUDEAU et al., 2012).

A sociedade não está preparada para a chegada dessas ondas de calor, por isso podem trazer diversos transtornos à sociedade, de acordo com a intensidade e duração de seus eventos (OLIVEIRA et al., 2018), dentre esses transtornos, pode-se citar, o aumento significativo do consumo de energia (BITENCOURT et al., 2016), déficits na produção animal (LIMA et al., 2006; MCKECHNIE e WOLF, 2010) e vegetal (GUSSO et al., 2014; OLESEN et al., 2010), aumento da mortalidade de animais de produção (VALE et al., 2008;

BISHOP-WILLIAMS et al., 2015; CHESINI et al., 2019), incêndios florestais e perdas de safras (BITENCOURT et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

No Brasil especificamente, já existem estudos relacionados às ondas de calor ou frio para as regiões dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (ALVES, 2016; FIRPO, 2008; MENDONÇA e ROMERO, 2012; WOLLMANN e GALVANI, 2012; SILVEIRA et al., 2017), enquanto que, para a região Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) existem poucos estudos (SON et al., 2016; FANTE e ARMOND, 2016; FANTE e SANT'ANNA NETO, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Estudos realizados por Meehl e Tebaldi (2004) na cidade de Chicago nos Estados Unidos e na cidade de Paris na França sobre os impactos futuros das ondas de calor, projetaram que a ocorrência de ondas de calor durante o século 21, tenderia a aumentar na frequência, duração e intensidade. No Brasil, tal projeção também foi confirmada por Bitencourt et al. (2016) onde ressaltaram que, estas tendências de aumento irão se manter e trazer sérios riscos à população mundial, bem como para a biodiversidade vegetal e animal para as regiões afetadas (HAINES et al., 2006).

Bishop-Williams et al., (2015) ao avaliarem a ocorrência de ondas de calor em fazendas da região Sul de Ontário no Canadá entre os anos de 2010 e 2012, verificaram a morte de 281 vacas leiteiras, sendo 108 (38%) ocorridas em 2010, 126 (45%) em 2011 e 47 (17%) no ano de 2012. Na América do Norte, Austrália e Europa, esses eventos causaram morbidade, mortalidade e redução do desempenho dos animais, resultando em perdas econômicas e preocupações com o bem-estar dos animais (RENAUDEAU et al., 2012). Em 2006, uma grande onda de calor que se deslocava pelos EUA resultou na morte de 25.000 bovinos e 700.000 aves na Califórnia (NIENABER e HAHN, 2007).

Segundo Renaudeau et al. (2012) são necessários trabalhos adicionais em condições práticas, capazes de projetar os efeitos de eventos extremos que provocam o estresse térmico sobre a produtividade animal. A compreensão das respostas dos animais frente a uma onda de calor, por exemplo, pode ajudar na elaboração de estratégias para melhorar a produção em regiões acometidas por esse fenômeno.

2.2 Estresse térmico: termorregulação e fisiologia do estresse em bezerras

O estresse térmico animal tem sido reconhecido como um problema grave em todo o mundo, mas especialmente em fazendas leiteiras que utilizam raças com alto potencial de produção de leite (SILANIKOVE, 2000; ARIAS et al., 2008). O estresse térmico é definido como uma resposta fisiológica ao calor ambiental que pode causar sinais ou sintomas de desconforto, como o aumento da taxa de respiração, desidratação, alterações na função cardíaca, entre outras respostas, e em casos graves, pode resultar em morte (JOSSERAN et al., 2009). De acordo com a intensidade e a duração do estresse térmico, este irá condicionar as respostas dos animais em estresse agudo ou estresse crônico (GERALDO, 2013).

Segundo Silva (2015) o estresse térmico agudo implica na atuação do agente estressor por um período imediato e curto, enquanto que, o estresse térmico crônico implica na atuação do agente estressor por um período mais prolongado. Para Bernabucci et al. (2010) as respostas dos bovinos ao estresse térmico agudo geralmente ocorrem em segundos ou em minutos, após a atuação do agente estressor enquanto que, as respostas ao estresse térmico crônico, podem levar dias ou semanas para ocorrer. Para o estresse térmico agudo, os animais respondem alterando suas respostas fisiológicas, comportamentais e imunológicas de maneira, imediata (WEST, 2003), enquanto, para o estresse crônico as respostas são observadas mais tardiamente, como por exemplo, observadas no desempenho animal (NIENABER e HAHN 2007; SANKER et al. 2012).

De acordo com McManus et al., (2009) os animais possuem uma capacidade de adaptação, ou seja, a habilidade de se ajustarem a um conjunto de condições ambientais, até mesmo a extremos meteorológicos. A adaptação ao calor é dividida em termotolerância e aclimatação (MOSELEY, 1997). A termotolerância é considerada uma adaptação celular causada por uma única e severa, mas não letal exposição ao calor, que permite ao organismo sobreviver devido à acumulação celular de proteínas do choque térmico. Enquanto a aclimatação é a habilidade do organismo em tolerar temperaturas mais elevadas e aprimorar sua capacidade de dissipar calor quando há repetidas e

persistentes elevações da temperatura (MOSELEY 1997). A aclimação pode ocorrer num período de dias ou semanas (GAUGHAN et al., 2009), dependendo da intensidade e a frequência da alteração da temperatura do ar em câmaras climáticas (BRIDI, 2019). Estes processos têm a função de colocar o animal em melhores condições para ultrapassar os desafios impostos pelo ambiente (SILVA, 2015). O processo de aclimação se inicia com a sinalização celular, levando à alteração da homeostasia das células, que se reprogramam para sobreviver à nova situação ambiental (BERNABUCCI et al., 2010). Na sequência ocorre o aumento da perda de calor por via evaporativa nos animais, através das glândulas sudoríparas, posteriormente, ocorre o aumento da ingestão de água e a diminuição da ingestão de alimento (COLLIER et al., 2008; GAUGHAN et al., 2009).

A adaptação do animal geralmente é adquirida durante sua vida (de maneira fenotípica), ou pode resultar da seleção genética de uma espécie ou subespécie (maneira genotípica) (BLIGH e JOHNSON 1973; GAUGHAN et al., 2009; GERALDO, 2013). De acordo com Nienaber e Hanhn (2007) e Sanker et al. (2012) o organismo animal sofre alterações adaptativas de curto prazo alterando suas respostas fisiológicas, funções imunológicas e comportamentais. Assim, os critérios de adaptação dos animais a determinadas condições ambientais são determinadas principalmente pela frequência respiratória, temperatura retal e pela taxa de sudação (AIURA et al., 2010). A temperatura da superfície corporal também se apresenta como importante parâmetro para avaliação da adaptação (SANTOS et al., 2005), por ser uma medida representativa do microambiente em torno do animal e apresentar alta correlação com a FR (COLLIER et al., 2006).

Brown-Brandl et al. (2003) estudando a aclimação de bovinos de corte em câmara climática, perceberam uma mudança metabólica entre o estresse térmico agudo e crônico, onde a produção de calor pelos animais aumentou na fase aguda e diminuiu na fase crônica, bem como a TR e FR em alguns horários do dia. Observaram também que o nível de atividade dos animais aumentou na fase crônica, demonstrando que os animais estavam aclimatados. Os autores concluíram que os bovinos poderiam se adaptar a situações extremas de calor como, por exemplo, na chegada de ondas de calor.

Brown-Brandl et al. (2005), em outro estudo também com bovinos, avaliaram durante 18 dias os efeitos de ondas de calor (10 dias com temperatura termoneutra 18 ± 7 °C) e (8 dias com estresse térmico, em temperatura de 32 ± 7 °C) em câmaras climáticas. O objetivo era entender como animais aclimatados respondiam à ocorrência do evento de estresse. Os autores observaram que os animais que foram aclimatados apresentaram um menor desconforto durante a onda de calor do que os animais que não foram aclimatados.

A termorregulação é descrita como o processo de controle da temperatura em um sistema biológico qualquer. Seus mecanismos tem a função de garantir a sobrevivência dos animais e outras funções metabólicas (crescimento, lactação, reprodução, etc.) (DANTAS et al., 2012). Os bovinos são animais homeotérmicos, ou seja, necessitam manter a temperatura corporal constante, independente das condições ambientais. Para isso, realizam a troca de calor com o meio em que vivem (DELFINO et al., 2012).

Uma das estratégias para manter a homeotermia nesses animais é deixar a temperatura corporal interna maior que a temperatura ambiente e permitir um fluxo de calor entre o organismo e o ambiente externo. O fluxo ocorre por meio de quatro vias básicas de troca de calor: condução, convecção, radiação e evaporação (SILVA, 2000). A condução, convecção e radiação referem-se às formas sensíveis de transferência de calor e necessitam de um gradiente térmico para seu funcionamento. Enquanto a evaporação refere-se à forma latente de transferência de calor, cujo fluxo é causado por gradiente de pressão de vapor, sendo que esta indica a quantidade de vapor de água contido em dado volume de ar (BAÊTA e SOUZA, 1997).

A máxima eficiência produtiva dos animais só pode ser atingida se os mesmos forem mantidos em sua zona de termoneutralidade (ZTN), a qual refere-se a uma faixa de temperatura que indica conforto térmico, ou seja, não há necessidade de ganhar ou perder calor, ocorrendo um gasto mínimo de energia para manter a homeotermia (SILVA, 2000). De acordo com Santos et al. (2012), a ZTN é delimitada pelas temperaturas crítica inferior (TCI) e crítica superior (TCS). Quando a temperatura ultrapassa a TCS o animal entra em estresse pelo calor (hipertermia) e quando a temperatura atinge a TCI o animal

está sujeito ao estresse causado pelo frio (hipotermia) (SILVA, 2000). Abaixo da temperatura crítica inferior, o animal inicia processos para manutenção da temperatura interna, ou seja, inicia processos de produção de calor (termogênese); e acima da temperatura crítica superior, o animal aciona mecanismos termorregulatórios para realizar a perda de calor interno (termólise) (AZEVEDO e ALVES, 2008).

A zona termoneutra (ZTN) é delimitada pelas temperaturas crítica inferior (TCI) e temperatura crítica superior (TCS). Para bezerros jovens, Baêta e Souza (2010) consideram como TCI 10 °C e TCS 26 °C. Ainda relatam a existência de uma zona ótima entre TCI e TCS quando a temperatura do ar se encontra entre 18 a 21 °C. Quando os animais estão em estresse causado pelo frio, ou seja, quando a temperatura se encontra abaixo da TCI esses produzem calor (termogênese), que pode ser por meio do aumento da ingestão de alimentos, aumento do ritmo metabólico, tremores musculares, ou reduzem a perda de calor por vasoconstrição e hemoconcentração, eliminação de urina e ereção dos pelos. Já em condições de estresse pelo calor, quando a temperatura se encontra acima da TCS, os animais procuram meios de perder calor (termólise), ou seja, diminuem a ingestão de alimentos, diminuem o ritmo metabólico, ou aumentam a taxa de troca térmica por meio da vasodilatação periférica, hemodiluição, aumento da sudação, frequência respiratória e ingestão de água.

Quando a temperatura ambiente se encontra acima da temperatura crítica superior, os bovinos elevam a frequência respiratória, ativando as trocas de calor por evaporação por meio do trato respiratório. Esse mecanismo auxilia a dissipação de calor corporal e a manutenção do equilíbrio térmico (LEGATES et al. 1991). As perdas evaporativas são os principais meios para dissipação de calor para bovinos sob condições de alta temperatura (BLACKSHAW e BLACKSHAW, 1994). Com isso, o animal aumenta sua frequência respiratória, a temperatura de superfície corporal (BIANCA, 1965) e a produção de suor (BACCARI JÚNIOR, 2001). O animal ofegante aumenta sua taxa metabólica, apresenta alcalose respiratória e altera o seu comportamento (STARLING et al. 2002). Nessas condições de alta temperatura ambiente, os mecanismos sensíveis de troca de calor (condução, convecção e radiação) são neutralizadas ou minimizadas (SOUSA JÚNIOR et al., 2008), se tornando mais

significativas as perdas de calor latente, sobretudo por evaporação cutânea correspondendo a 85% das perdas e o restante por evaporação respiratória (FAÇANHA et al., 2013).

Purwanto et al. (1993) ao avaliarem novilhas leiteiras da raça Holandesa expostas as temperatura de 15 °C e 30 °C em câmara climática, verificaram que a exposição dos animais em temperatura mais quente (30 °C) diminuíram a perda de calor sensível e aumentaram a perda de calor latente por via evaporativa. Existem vários estudos sobre bezerros leiteiros enfrentando desafios de estresse, como os realizados por Broucek et al. (2009) avaliando desempenho e crescimento, Tripon et al. (2013) avaliando o comportamento e o conforto térmico, Kim et al. (2018) avaliando o desempenho, comportamento, parâmetros fisiológicos e hematológicos, dentre outros como o de Kovács et al. (2018) avaliando respostas termorregulatórias.

Todos esses estudos concluíram que bezerros leiteiros expostos a altas temperaturas têm seus parâmetros fisiológicos, hematológicos, comportamentais e de desempenho marcadamente alterados, causando prejuízos ao sistema produtivo. Apesar da existência desses trabalhos, poucas são as informações sobre as respostas fisiológicas dos animais em estresse térmico prolongado. O que se sabe é que os animais tentam manter sua homeostasia durante períodos de estresse térmico. Estudos adicionais poderiam esclarecer se existe alguma diferença nessas respostas durante as situações de estresse agudo e crônico.

2.3 Técnicas para avaliação de estresse térmico

Existem técnicas para avaliar o estresse térmico utilizando tanto parâmetros do microclima do ambiente como também por meio das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais. A avaliação do microclima do ambiente, seja interno ou externo a instalações, pode ser realizada por meio de índices de conforto térmico como no caso do índice de temperatura e umidade (ITU), pela entalpia (H), ou por meio do monitoramento das variáveis meteorológicas. Por outro lado, a resposta dos animais pode ser avaliada por meio do uso de ferramentas e equipamentos capazes de identificar tais respostas em diferentes condições térmicas. A identificação dessas respostas

se torna importante para auxiliar na seleção de animais de interesse zootécnico, que apresentem uma maior tolerância ao calor (RASHAMOL et al., 2019).

Essas respostas são comumente avaliadas por meio do ambiente climático de criação seja ele, bezerreiros, abrigos individuais, ou outras instalações, pode ser realizada por meio dos índices de conforto térmico, predizendo se o ambiente é ou não estressante para aqueles animais. São realizadas também por meio da avaliação comportamental dos animais, da frequência respiratória, capacidade de sudorese, mensuração da temperatura corporal e colheita de amostras de cortisol. Estes diferentes métodos de avaliação e sua importância para estudos de estresse térmico serão abordados com mais detalhes nos tópicos a seguir.

2.3.1 Índice de temperatura e umidade

Os índices de conforto térmico são recursos importantes para monitoramento do estresse térmico em instalações pecuárias, principalmente por considerarem informações de fácil acesso, presentes em estações meteorológicas, e por não necessitar de contato físico com os animais. Os índices têm a finalidade de qualificar e quantificar o desconforto térmico dos animais em determinado ambiente, que por sua vez, podem estar relacionados às respostas fisiológicas e desempenho produtivo dos animais (MELO et al., 2013).

Existem vários índices com numerosas modificações e refinamentos que foram desenvolvidos e têm sido usados extensivamente para estimar o grau de estresse térmico nos animais (BUFFINGTON et al., 1981; ARMSTRONG, 1994; MADSTRONG et al., 2006; MARAI et al., 2007; MORTON et al., 2007; BOHMANOVA et al., 2007; HAHN et al., 2009; BERRY et al., 2012).

O índice de temperatura e umidade (ITU), o qual relaciona temperatura e umidade relativa do ar, é um dos índices mais utilizados pelos pesquisadores para avaliação do estresse térmico (HAHN, 1985; NÃÃS, 1989; PASSINI et al., 2014). Atualmente este índice vem fazendo parte de várias pesquisas relacionadas ao estresse térmico, como por exemplo, em estudos para vacas

leiteiras (SALLES et al., 2016; GANTNER et al., 2017) e bezerras leiteiras (BROUCEK et al., 2009; TRIPON et al., 2014; KOVÁCS et al., 2018; KIM et al., 2018).

Apesar de não existir uma classificação de ITU específica para bezerros desaleitados, os autores citados acima têm utilizado a classificação usada para bovinos adultos em seus estudos com bezerros. Portanto, a literatura disponível para a classificação do ITU é específica para bovinos adultos. Para vacas leiteiras Mader et al. (2006), determinaram 74 como o valor crítico de ITU, enquanto outros autores consideram 72 o limite crítico. Já Pires e Campos (2004), também para vacas leiteiras, classificam da seguinte forma: resultados menor ou igual a 70: normal – animais na faixa de temperatura e umidade ideal; entre 70 e 72: alerta – condições climáticas no limite; entre 72 e 78: alerta – desempenho comprometido; 78 a 82: perigo – o animal está com todas as funções orgânicas comprometidas; e acima de 82: emergência – é preciso tomar providências urgente (PIRES e CAMPOS, 2004).

Kovács et al. (2018) ressaltam que os bezerros jovens devem sofrer menos com o estresse térmico, quando comparados a vacas adultas, pois, para vacas deve-se levar em conta a maior demanda energética para a produção de leite e por terem uma superfície e massa corporal maior. Os bezerros, devido ao seu tamanho e fase de vida, geram menos calor metabólico do que vacas (KOVÁCS et al., 2018). Estes mesmos autores avaliando bezerros da raça Holandesa em diferentes ambientes térmicos, encontraram correlação positiva entre o ITU e TR ($r= 0,53$) e entre o ITU e FR ($r=0,81$), indicando que esse índice está relacionado também com as respostas de bezerros. Apesar disso, os limiares considerados críticos para o ITU mediante a categoria de bezerras desaleitadas ainda não foram estudados.

2.3.2. Entalpia

Para a produção animal a entalpia tem sido utilizada como variável física de avaliação do estresse térmico dentro de instalações rurais (NÃÃS et al. 1995); (JÚNIOR e SILVA, 2020). A entalpia (H) é definida como a energia do ar úmido por unidade de massa de ar seco Kj kg^{-1} de ar seco), ou seja, é uma

variável que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d'água (CARRIER, 1999). Quanto maior o valor de entalpia, maior a quantidade de energia presente no ar e, conseqüentemente, maior será o desconforto sentido pelos animais em determinado ambiente, já que a mesma está diretamente relacionada com as perdas de calor latente (CONCEIÇÃO, 2008).

A equação da entalpia (H) atualmente utilizada é composta pelas variáveis TBS (°C) e UR (%) (BARBOSA FILHO et al. 2007). Segundo o mesmo autor, para se chegar aos valores críticos de entalpia, partiu-se do valor crítico da TBS quando se encontrava em 26 °C e do valor crítico da umidade relativa do ar quando estava em 70%, então, nessas condições, o valor de entalpia 67,4 KJ Kg⁻¹ seria considerado desconfortante para bovinos (BARBOSA FILHO et al., 2007; ARAUJO, 2001). Já, Kawabata et al. (2005) em seu estudo com bezerros jovens da raça Holandesa considerou como faixa crítica para a entalpia, valores superiores a 66,1 kJ kg⁻¹ de ar seco, valor determinado pelo programa computacional GRAPSI 4.0, da Universidade Federal de Viçosa, a partir da TCS de 25 °C (SILVA, 2000) e da UR de 75% (KELLY et al., 1984).

Grande parte dos estudos encontrados na literatura tem utilizado a entalpia para caracterizar estresse térmico em ambientes fechados como em galpões de frango. Apesar disso, também já foi avaliado em ambientes semi-abertos, para vacas leiteiras da raça Holandesa (MARTELLO et al. 2004) e em abrigos individuais para bezerros leiteiros (KAWABATA et al. 2005; FONSECA et al. 2011; BARNABÉ et al. 2015). Apesar de demonstrar ser um método de avaliação eficiente para identificar desconforto dentro de uma instalação (CASTRO JÚNIOR e SILVA, 2020) os limiares críticos da entalpia e associações com as respostas fisiológicas dos animais ainda não estão claros.

2.3.3 Avaliação comportamental

O comportamento animal é uma das características afetada pelo estresse térmico (JARA et al., 2016; TUCKER et al., 2008). O animal geralmente modifica seu comportamento buscando situações que sejam benéficas durante sua rotina diária e opta por situações que demandem o menor gasto energético possível (ALMEIDA et al., 2013). Com isso, os estudos

comportamentais são importantes para revelar se as condições de bem-estar animal estão sendo proporcionadas ou não, portanto, é uma avaliação útil para o estudo de diferentes mecanismos termorregulatórios que normalmente são acionados pelo estresse ambiental (MARTIN; BATESON, 1986).

As modificações do comportamento tem a função de complementar as respostas fisiológicas, que, por exemplo, foram iniciadas durante uma situação de estresse térmico e tem a função de proporcionar ao animal melhores condições para reduzir a aquisição de calor endógeno e ambiental, bem como, incrementar a velocidade de dissipação do calor (PEREIRA et al., 2019). Diversos trabalhos tem demonstrado o potencial da avaliação do comportamento animal como forma de identificar ambientes estressantes como os realizados com bovinos adultos a campo por Mitlöhner et al. (2001); Meyer et al., (2006); Delfino et al., (2012); Vilela et al. (2013); Almeida et al. (2013); Magrin et al. (2016); Ratnakaran et al., (2017). E os realizados com bezerros a campo por Mac-Lean et al. (2011); Tripón et al. (2013); Kovács et al. (2018).

Esses autores tem descoberto em seus estudos que os bovinos em situações estressantes pelo calor, geralmente aumentam a ingestão de água (MEYER et al., 2006), diminuem a frequência de alimentação, aumentam a procura por sombra (RATNAKARAN et al., 2017), aumentam os padrões usuais de postura em pé (TRIPON et al., 2013); (KOVÁCS et al., 2018), diminuem o tempo de permanência deitado (DELFINO et al., 2012); (TRIPON et al., 2013); (KOVÁCS et al., 2018), diminuem a frequência de ruminação (PIRES e CAMPOS, 2008); (TRIPON et al., 2013), diminuem o pastoreio diurno e aumentam o tempo em ócio (PARANHOS DA COSTA, 2000).

A identificação de maior ingestão de água em estudos de comportamento animal em situações de estresse térmico serve em boa parte, para perceber que o animal fez face às maiores necessidades hídricas para a termólise evaporativa e também para o efeito do arrefecimento imediato do corpo (PEREIRA et al. (2019). A redução do comportamento deitado e aumento do tempo de permanência em pé é uma resposta do animal que está em desconforto térmico.

Em estudo realizado por Zahner et al. (2004) verificaram que, com o aumento do ITU no ambiente durante o dia, houve diminuição do tempo de comportamento deitado. Ansell (1981) também percebeu que bovinos sob

estresse térmico se recusaram a deitar, explicando que nessa situação de desconforto, o animal busca expor a maior parte do corpo à atmosfera visando facilitar a perda de calor. A redução dos comportamentos ingestivo e atividade também são indicativos de que o animal se encontra em desconforto, já que após um aumento da temperatura corporal, o animal tende a cessar a ingestão alimentar visando reduzir a termogênese por via do decréscimo da atividade física e do calor proveniente da atividade digestiva (PEREIRA et al. 2019).

Tripon et al. (2013) ao avaliarem os efeitos das variações meteorológicas e sazonais no comportamento de bezerros, constataram que o comportamento é influenciado por variações climáticas e sazonais, sendo que, durante o verão (temperatura média 30 °C e máxima 41 °C) observaram um aumento do tempo dispendido para os comportamentos, em pé e bebendo água, e encontraram redução para os comportamentos deitado, ruminando e auto-limpeza. Kovács et al. (2018) avaliando o efeito de estresse térmico agudo sobre o comportamento deitado de bezerros leiteiros, perceberam que durante os estresse agudo quando a temperatura variou de 28,8 °C a 38,8 °C e ITU acima de 78, verificaram que os animais mudaram de postura com mais frequência, resultando em menor tempo de permanência deitado e maior tempo de permanência em pé.

Ao analisar esses trabalhos notou-se que ainda existe a necessidade de estudos mais detalhados a respeito do efeito de altas temperaturas, como no caso de ondas de calor, e como o animal responde durante este tipo de fenômeno. Adicionalmente, é de interesse saber se os animais mantidos em ambientes controlados, como no caso de câmaras climáticas, apresentam comportamentos que podem ser extrapolados para os comportamentos observados a campo. Pois, até onde se buscou na literatura essas informações são insuficientes ou pouco esclarecedoras.

2.3.4 Avaliação das características de termorregulação

Além do comportamento, outra forma de avaliar as respostas dos animais em determinado ambiente térmico é por meio das características fisiológicas, como a frequência respiratória (FR), a temperatura retal (TR)

(VIEIRA et al., 2010), a taxa de sudação (TS), entre outras (BACCARI JÚNIOR, 2001). Animais em situações de estresse térmico tendem a aumentar sua FR (BARNABÉ et al., 2015), TR (BARNABÉ et al., 2015) e TS (SOUZA et al., 2007). Segundo Bianca, (1965), Ferreira et al. (2006) e Almeida et al. (2016), animais homeotérmicos aumentam a FR, a temperatura de superfície corporal e a TS antes de aumentarem a TR, quando submetidos a altas temperaturas.

A FR dos animais pode variar conforme seu nível de produção, o período do dia e a temperatura ambiente em que os animais se encontram (MARTELLO, 2010). Em se tratando de bezerros de até um ano de idade, Reece (2006) considera como faixa normal da FR 21 a 25 mov.min⁻¹. Quando os animais apresentam a FR dentro desse limiar significa que estão com ausência de estresse térmico, ou que este é mínimo.

A principal vantagem da utilização da FR como uma forma de avaliação de estresse térmico é por não haver a necessidade de contenção física ou equipamento adicional (BROWN- BRANDL et al., 2005). No entanto, a avaliação da FR pode ser trabalhosa e pouco viável se houver a necessidade de avaliar muitos animais ao mesmo tempo, além de necessidade de contato visual com o animal.

A avaliação da capacidade de sudação dos bovinos apesar de ser uma técnica considerada laboriosa com necessidade de contenção e uso de equipamentos para sua mensuração, tem sido recomendada por Silva (1999) e Silva et al. (2001) no sistema produtivo, principalmente, quando se busca selecionar animais mais adaptados a regiões de temperatura mais elevada. De acordo com Ferreira (2011) a densidade, número de glândulas sudoríparas e a capacidade de sudação variam conforme os indivíduos e as raças. As glândulas sudoríparas dos zebuínos apresentam maior volume do que aquelas dos bovinos europeus, sendo essa uma das diferenças marcantes de adaptação ao calor e que torna o gado de raça européia menos adaptados ao clima quente.

Bianchini et al. (2006), avaliando as características corporais de bovinos naturalizados brasileiros, observaram que animais da raça Holandesa apresentaram menor área de tecido (em percentual) ocupada pela parte secretora das glândulas sudoríparas, o que pode indicar maior dificuldade de adaptação da raça a ambientes tropicais. Silva et al. (2012), trabalhando com

vacas leiteiras em ambiente equatorial semiárido, encontraram maior média de evaporação cutânea na região do pescoço ($133,3 \text{ W.m}^{-2}$), seguida pela região do flanco ($116,2 \text{ W.m}^{-2}$) e os quartos traseiros ($98,6 \text{ W.m}^{-2}$). McManus et al. (2005) avaliando a taxa de sudação em bovinos naturalizados encontrou uma média de $269,13 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a raça Holandesa. Maia et al. (2005) medindo perdas de calor latente em vacas Holandesas a $36 \text{ }^\circ\text{C}$ durante estresse agudo, constataram que a sudação é responsável pela perda 85% do calor latente (cerca de 350 W.m^{-2}), enquanto que a polipnéia térmica apenas permitiu a dissipação de 57 W.m^{-2} .

Até onde se buscou na literatura não foram encontrados valores referenciais ideais de TS para bezerras desaleitadas da raça Holandesa e nem para as diferentes categorias de vida de bovinos. Essa falta de informação se deve possivelmente devido à variação da densidade de glândulas sudoríparas que é muito variável tanto entre raças como no próprio indivíduo, além do fato de que, tanto a morfologia quanto o volume de glândulas sudoríparas parece estar dependente de reajustes sazonais associados a temperatura ambiente (PEREIRA et al. 2019). Schleger e Bean (1971) constataram que a variação da TS dentro de cada indivíduo pode ser superior a 300%.

Silva (2000) recomenda que a avaliação da taxa de sudação deve ser realizada na parte centro lateral do tronco à altura das costelas, pois essa região representa um valor médio das diversas regiões quanto à densidade de glândulas sudoríparas, sendo uma localização conveniente para representação da capacidade sudativa. Especificamente na posição mediana entre a 10° e 11° costelas da região centro-lateral do tronco (MCLEAN, 1963; AMAKIRI e MORDI, 1975).

A avaliação da temperatura retal além de ser usada para identificação do status de saúde dos animais (SPIERS et al. 2018; HOFFMANN et al. 2020), também é utilizada como um indicativo de acúmulo de calor corporal, uma vez que quando um animal aumenta sua TR, significa que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia (DUPREEZ, 2000). Segundo Martello et al. (2004), a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, variando também com a categoria animal. A TR

considerada normal para bezerros variam de 38,0 a 39,3°C (ROBINSON, 1999; DUKES, 1996 e ROBERTSHAW, 2006).

Purwanto et al (1993) estudando os efeitos das temperaturas ambientais na produção de calor em novilhas leiteiras perceberam que tanto a FR, TR e frequência cardíaca (FC) aumentaram na temperatura de 30 °C, em relação à temperatura de conforto de 15 °C, aumentando a perda de calor de maneira evaporativa. Grande parte dos estudos sobre estresse térmico analisam essas variáveis de maneira isolada. Diante disso torna-se importante analisar a magnitude com que essas variáveis se relacionam.

Para vacas leiteiras, no estudo realizado por Martello et al. (2010), foram observadas correlações positivas para TR e temperatura da superfície corporal ($r=0,64$), FR e TR ($r=0,55$), bem como, entre temperatura da superfície corporal e FR ($r=0,54$). Daltro et al. (2017) estudando a termografia de infravermelho como método de avaliação da tolerância ao calor para vacas leiteiras encontraram correlações positivas para FR e TIV do olho ($r=0,43$) e TR e TIV do olho ($r=0,57$), sendo a TIV do olho uma região importante a ser considerada em estudos relacionados a estresse térmico.

Em estudos com bezerros da raça Holandesa em diferentes ambientes térmicos, incluindo avaliação do estresse agudo, Kovács et al. (2018) observaram correlações positivas entre a temperatura ambiente e FR ($r=0,78$) e temperatura ambiente e TR ($r=0,52$). O mesmo autor sugere que novos estudos devem ser feitos, a fim de fornecer mais informações sobre respostas fisiológicas nas situações de estresse agudo, quanto para o estresse crônico.

Diante disso, a avaliação de outras associações da FR e TR com outras variáveis, por exemplo, com a TS e temperatura de superfície corporal em diferentes regiões do animal são importantes, visto que essas informações são insuficientes ou pouco esclarecedoras para a categoria de bezerras desaleitadas. Roland et al. (2016) relataram que existe um déficit de informações disponíveis no que diz respeito às diferenças termorregulatórias entre a categoria de bezerros e bovinos adultos sob condições climáticas extremas.

2.3.5 Termografia de infravermelho

A termografia de infravermelho (TIV) é uma técnica não-invasiva de sensoriamento remoto (BROWN-BRANDL et al., 2013), que, possibilita a medição da radiação térmica de um corpo e a formação de imagens termográficas a partir da radiação de infravermelho (ROBERTO et al., 2014). A formação destas imagens termográficas ou mapas termográficos permitem a observação direta da distribuição da temperatura em determinado corpo ou ambiente (KNÍŽKOVÁ et al., 2007), sendo que, cada região corporal, ou região do ambiente emite radiação infravermelha distinta, demonstrando um gradiente térmico com uma escala em diferentes tonalidades de cores (TORQUATO et al., 2015). Essa ferramenta vem sendo utilizada em estudos de comportamento, estresse térmico, diagnóstico de doenças e para monitorar processos ligados à produção e bem-estar animal (TORQUATO et al., 2015).

Uma das finalidades da técnica é auxiliar no diagnóstico de alterações térmicas que envolvem os animais, sendo que com a detecção de alterações térmicas é possível traçar estratégias capazes de aumentar o conforto térmico em determinado ambiente e minimizar os efeitos estressantes sobre a produção animal. (SILVA et al., 2014). Diferentes aplicações da (TIV) em estudos têm sido relatadas por pesquisadores das mais diversas áreas, como por exemplo, pesquisas sobre doenças respiratórias em bezerros (SCHAEFER et al., 2007; SCHAEFER et al., 2011), diagnóstico de febre aftosa (RAINWATER-LOVETT et al., 2009), produção de gás metano (MONTANHOLI et al., 2008), eficiência alimentar (MARTELLO et al., 2015), estresse térmico (BROWN-BRANDL et al., 2013; ALMEIDA et al., 2016) e avaliação de comportamento e bem-estar (STEWART et al., 2005; KOTRBA et al., 2007; MCCAFFERTY et al., 2011) dentre outros.

Para vacas leiteiras é possível encontrar uma gama de estudos utilizando a TIV. Daltro et al. (2017) utilizaram a TIV como método de avaliação da tolerância ao calor, Hoffman et al. (2020) e Spiers et al. (2018) utilizaram a TIV para identificar situações de estresse térmico, Diniz et al. (2020) para avaliação da produção de calor corporal, Peng et al. (2018) e Macmillan et al. (2019) relacionaram ou compararam a TIV com a temperatura retal. Para novilhas Salles et al. (2016) utilizaram a TIV como mapeamento de temperatura

de superfície corporal, Lage et al. (2020) avaliaram a relação entre índices de eficiência alimentar com a TIV.

Especificamente para bezerros leiteiros, há estudos sobre o monitoramento de temperatura corporal utilizando a TIV em situações de estresse térmico (HOFFMANN et al., 2012; ALMEIDA et al., 2016; KOVÁCS et al., 2018; KOVÁCS et al., 2020) e utilização da TIV para mensuração da taxa de respiração (LOWE et al. 2019). Mas ainda falta saber como a temperatura superficial corporal de bezerras se altera nas situações de estresse agudo e crônico. Um ponto importante é que estudos utilizando TIV para avaliação do estresse animal apresentam grande potencial para desenvolvimento de sistemas automáticos de avaliação do estresse. Diversos estudos (Sousa et al., 2016; Sousa et al., 2018; Pacheco et al., 2020) têm utilizado a temperatura de superfície corporal, medida por meio da TIV, para desenvolver algoritmos baseados em inteligência artificial e visão computacional capazes de estimar o estresse térmico do animal de modo não invasivo.

Diante do exposto, apesar de já termos algum conhecimento acerca dos comportamentos das características termorreguladoras de bezerras como a FR, TS, TR e TIV'S, poucos trabalhos detalham o comportamento dessas variáveis em situações de estresse agudo e crônico condicionados por ondas de calor. A realização de tais investigações pode fornecer respostas sobre a existência de um padrão similar ou diferente durante essas duas condições de estresse e quais seriam seus impactos para os animais que enfrentam essas condições.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral:

O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fisiológicas e comportamentais de bezerras desaleitadas da raça Holandesa submetidas ao estresse agudo e crônico, causado por ondas de calor consecutivas.

3.2 Objetivos específicos:

- Avaliar as características de termorregulação de bezerras durante a ocorrência de ondas de calor, considerando as repostas ao estresse agudo (primeiro e segundo dia) e ao estresse crônico (terceiro ao quinto dia de calor);
- Identificar a região corporal mais representativa para o monitoramento da temperatura superficial, por meio da termografia;
- Avaliar a correlação das medidas de temperatura superficial corporal de diferentes regiões do corpo (TIV) com a frequência respiratória (FR), taxa de sudação (TS) e temperatura retal (TR) durante estresse agudo e crônico.
- Desenvolver um novo limiar de classificação de estresse térmico para bezerras da raça Holandesa.
- Avaliar os efeitos das diferentes situações térmicas (temperatura ambiente, estresse agudo e crônico) sobre o comportamento dos animais quanto à atividade postural (em pé ou deitado) e atividades (comendo, bebendo, ócio e manejo);

4 HIPÓTESE

As características termorreguladoras (FR, TR, TIV, TS) e comportamentais apresentam padrões de comportamentos diferentes em condições de estresse térmico agudo e crônico durante ocorrência de ondas de calor.

5 METODOLOGIA

5.1 Bioética

O experimento foi aprovado pela CEUA- Comissão de Ética para o Uso de Animais, considerando aspectos legais e éticos das intervenções que serão realizadas, sob o protocolo nº 6957201219 (ID 001415).

5.2 Local e período experimental

O experimento foi realizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA da Universidade de São Paulo (USP), em Pirassununga – SP, localizada a 21° 59' 46" S 47° 25' 33" W e altitude aproximada de 627 metros. O clima da região é classificado segundo Kooppen como Cwa, com duas estações bem definidas (verão chuvoso e inverno seco), com raras ocorrências de geadas. A cidade possui temperatura e pluviosidade média anual de 21,5°C e 1395 mm, respectivamente.

A coleta de dados foi realizada na câmara climática (Figura 1), localizada no Departamento de Reprodução Animal (VRA), pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ), da Universidade de São Paulo, durante o final do inverno e início da primavera, nos meses de setembro e outubro de 2020, totalizando 46 dias de duração.



Figura 1- Visão frontal da câmara climática.

5.3 Animais

Foram utilizadas 10 bezerras desaleitadas, da raça Holandesa, com idade aproximada de 3 a 6 meses e peso médio de \pm 120 a 220 Kg. Os animais utilizados neste trabalho foram manejados desde a fase final de aleitamento para que pudessem estabelecer contato com os membros da equipe do

experimento. Portanto, pelo menos uma vez ao dia, um membro da equipe ajudava durante o manejo alimentar. Quando desaleitados, esses animais foram transferidos a um piquete coletivo e durante a primeira semana neste ambiente os animais foram escovados diariamente a fim de minimizar o estresse causado pelo desaleitamento e também para maximizar o vínculo entre os animais e a equipe do experimento (Figura 2).



Figura 2- Desenvolvimento de vínculo entre a equipe experimental e os animais selecionados para o estudo durante a fase final de aleitamento e fase inicial de desaleitamento.

As 10 bezerras selecionadas para o estudo foram divididas em dois grupos de cinco animais cada. Dentro da instalação cada grupo teve acesso à água *ad libitum* e alimentação composta por feno, silagem (3 kg dia^{-1}), mistura mineral, e mistura concentrada (3 kg dia^{-1}), essa quantidade era fracionada em 2 porções, sendo ofertada nos horários 07h e 17h. Após o fornecimento de alimento, os baldes de água eram higienizados, sendo, lavados com água e detergente neutro e depois eram preenchidos com água fresca e limpa (Figura 3).



Figura 3- Momento de fornecimento de água e alimento para os animais.

5.4 Tratamentos e instalação

Os tratamentos avaliados foram:

Tratamento controle TCO – situação sem aquecimento, ou seja, com a temperatura ambiente (temperatura média de 26,9 °C); tratamento de estresse térmico agudo (TEsA) e tratamento de estresse térmico crônico (TEsC). Os dois últimos tratamentos eram compostos de ambiente com ocorrência de ondas de calor, sendo simuladas ondas de calor com temperaturas do ar máxima de 35,7 °C e mínimas de 24 °C. No TEsA foram considerados os dois primeiros dias de onda de calor, enquanto no TEsC foram considerados os três últimos dias de ondas de calor.

Os três tratamentos foram realizados na instalação da câmara climática, sistema *Tie Stall*, com uma área total de 60 m² (12 m² animal⁻¹), com piso de concreto e 3 m de pé direito. Na instalação havia 6 divisões (bairros) com perfil tubular, com largura de 1m e comprimento 1,80 m cada uma. Em cada divisão havia um cocho de concreto com dimensões de 0,63 m de largura e 1 m de comprimento e 1 bebedouro individual. Os animais ficaram cabresteados nas baias individuais dentro da câmara Climática (Figura 4), podendo andar linearmente entre as divisões, com acesso ao cocho e bebedouro. O piso de

concreto da instalação foi forrado com cama de feno, numa altura aproximada de 15 cm, para facilitar o manejo sanitário do ambiente e promover conforto para o descanso dos animais durante a execução do experimento. A troca da cama era feita semanalmente conforme necessidade.



Figura 4- Câmara climática no início do experimento para avaliações dos tratamentos: TCO, TEs agudo e crônico.

A câmara climática possui termostatos internos, um exaustor e quatro ventiladores. Possui um controle automático de temperatura e umidade, permitindo também o controle manual pelo pesquisador, possibilitando o ajuste de temperatura desejada para o estudo.

Foram simuladas duas ondas de calor, de 5 dias consecutivos cada uma, com um intervalo de descanso (sem estresse térmico) de 13 dias entre elas. Dessa forma, os dois grupos de animais foram submetidos à duas ondas de calor, com intervalo de 13 dias entre elas). Durante as duas ondas de calor foram avaliadas as respostas fisiológicas dos animais (FR, TR, TS e TIV) considerando as primeiras 48 horas como estresse agudo (TEsA) e a partir das

48h até o quinto dia como estresse crônico (TEsC). O comportamento dos animais foi avaliado também nas duas ondas de calor, no TEsA e TEsC, conforme detalhado no tópico 5.7.

O experimento ocorreu durante o mês de setembro de 2020, durante a estação de final de inverno até início da primavera, em outubro de 2020.

5.5 Caracterização das ondas de calor

As ondas de calor foram caracterizadas a partir da análise de um banco de dados climáticos de 30 anos da região de Pirassununga-SP. Foram extraídos dados climáticos obtidos por Xavier et al. (2016) entre os anos de 1980 a 2013. Esses dados foram analisados pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura CEPAGRI- UNICAMP de Campinas-SP utilizando o método de Percentil 90 (VITALI et al., 2015) para a identificação de ondas de calor que ocorreram na região durante este período. Com isso, foram simuladas ondas de calor com duração de 5 dias.

A escolha da magnitude da onda de calor foi determinada de acordo com uma réplica de uma onda de calor que ocorreu no ano de 1988, a qual teve duração de 5 dias e temperatura de 35,7 °C. Foi adotado um intervalo de 13 dias entre as duas ondas de calor conforme o ocorrido no ano de 1988.

As ondas de calor foram realizadas seguindo um padrão de aumento gradual da temperatura durante os cinco dias, em que, foram ajustadas as temperaturas às 10h para 30 °C, as 12h para 32 °C, entre os horários de 14h e 15h a temperatura permaneceu em 35,7° C. Às 15h a câmara climática era desligada, ocorrendo uma perda gradual de temperatura, com consequente redução gradual da temperatura nas horas seguintes.

O experimento ocorreu conforme a (Figura 5).

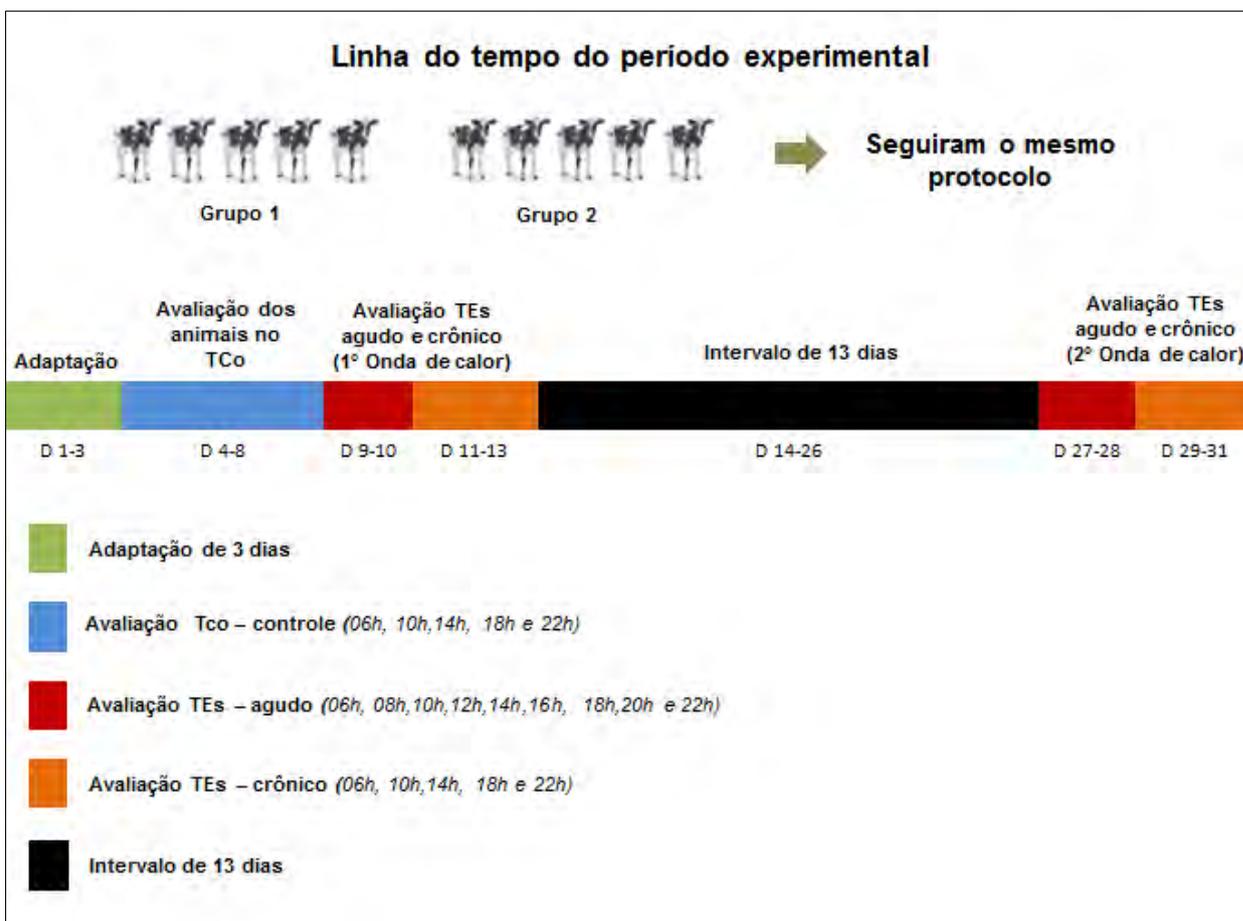


Figura 5- Linha do tempo do período experimental.

A descrição cronológica do experimento está descrita a seguir:

Dia 01/09 a 03/09: Adaptação dos animais do primeiro grupo durante 3 dias. As 5 bezerras permaneceram dentro da câmara climática, em temperatura ambiente (Temperatura média de 27 °C).

Dia 04/09 a 08/09: Avaliação dos animais (n=5) em ambiente controle (TCO). Os animais foram avaliados durante cinco dias consecutivos, em temperatura ambiente dentro da câmara climática (Temperatura média de 27 °C).

Dia 09/09 a 13/09: Ocorrência da 1ª onda de calor para o primeiro grupo de animais submetidos à temperatura do ar máxima de 35,7 °C.

Dia 14/09: Neste dia os animais do primeiro grupo foram transportados até o piquete do setor gado leiteiro para descanso (intervalo de 13 dias para até submetê-los à segunda onda de calor). Neste ambiente a temperatura média do ar estava em 26 °C, temperatura mínima de 16 °C e temperatura máxima de 34 °C. Enquanto os animais do primeiro grupo estavam em

descanso, o segundo grupo de animais foi transportado até a câmara climática neste mesmo dia.

Dia 14/09 a 16/09: Adaptação dos animais do segundo grupo durante 3 dias consecutivos. As 5 bezerras permaneceram dentro câmara climática, em temperatura ambiente (Temperatura média de 27 °C).

Dia 17/09 a 21/09: Avaliação dos animais (n=5) em ambiente controle (TCO). Os animais foram avaliados durante cinco dias consecutivos dentro da câmara climática em temperatura ambiente (Temperatura média de 27 °C).

Dia 22/09 a 26/09: Ocorrência da 1º onda de calor para o segundo grupo de animais submetidos à temperatura do ar máxima de 35,7 °C.

Dia 27/09: Neste dia os animais do segundo grupo foram transportados até o piquete do setor gado leiteiro, permanecendo lá por 13 dias. Neste ambiente a temperatura média do ar estava em 31 °C, temperatura mínima de 21 °C e temperatura máxima de 39 °C. Neste mesmo dia o primeiro grupo de bezerras foi transportado até a câmara climática para darem início às avaliações da 2º onda de calor.

Dia 28/09 a 02/10: Ocorrência da 2º onda de calor para o primeiro grupo de animais submetidos à temperatura do ar máxima de 35,7 °C.

Dia 03/10: Transporte do primeiro grupo de animais ao piquete do setor gado leiteiro (final do experimento para esse grupo).

Dia 10/10: Transporte do segundo grupo de animais até a câmara climática para darem início à ocorrência da 2º onda de calor com o ambiente submetido à temperatura do ar máxima de 35,7 °C.

Dia 11/10 a 15/10: Ocorrência da 2º onda de calor para o segundo grupo de animais submetidos à temperatura do ar máxima de 35,7 °C.

Dia 16/10: Transporte do segundo grupo de animais ao piquete do setor gado leiteiro (final do experimento para esse grupo).

5.6 Monitoramento no ambiente climático

Na câmara climática foi instalado um *data logger* (Onset HOBO) para obtenção dos dados de T_{bs} °C, T_{po} °C e UR %. Os equipamentos foram programados para registrar os dados climáticos a cada 15 minutos, durante todo o período experimental. E também foi instalado um termohigrômetro para

o acompanhamento das temperaturas e umidade Máx e Mín dentro do ambiente.

Os dados climáticos provenientes do data *logger* (Onset HOBO) foram extraídos e armazenados para, posteriormente, ser calculado o índice de conforto térmico ITU.

O ITU foi calculado pela equação 1, proposta por (Yousef, 1985) que relaciona os valores de Tbs, com a Tpo.

$$\text{ITU} = \text{Tbs} + 0,36 \times \text{Tpo} + 41,2 \quad (1)$$

Em que:

Tbs = Temperatura de bulbo seco (°C);

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

Foi calculada também a entalpia (H) por meio do programa computacional GRAPSI 8 – Gráfico Psicométrico Digital desenvolvido por Melo (2011). O software calcula as propriedades psicométricas do ar, a partir de informações inseridas na plataforma. Para a obtenção de dados da entalpia foi necessário inserir a altitude do local, Tbs (C°) e UR (%).

5.7 Monitoramento dos animais

Foram registradas variáveis fisiológicas de frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS) e temperatura de superfície corporal (TIV) em todos os animais (n=10). Tais medidas foram realizadas 5 vezes ao dia nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h para o tratamento controle, 9 vezes ao dia nos horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEsA (primeiras 48 h de estresse) e 5 vezes ao dia nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h para o TEsC (após 48 h de estresse).

A FR foi mensurada pelo monitoramento do tempo para realizar 10 movimentos do flanco, sendo calculado posteriormente o número de movimentos por minuto (Figura 6).



Figura 6- Avaliação da frequência respiratória.

A TR foi medida diretamente na mucosa retal, por meio de um termômetro clínico digital (*TechLine*), com escala entre 20 e 50 °C e precisão de $\pm 0,1$ °C (Figura 7).



Figura 7- Mensuração da temperatura retal.

A TS foi avaliada pelo método colorimétrico proposto por SCHLEGER e TURNER (1965). Os discos de papel filtro foram produzidos no Laboratório de Biometeorologia e Etologia Animal (LBE) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, FZEA-USP, Pirassununga, SP, Brasil (21°57'13"S, 47°27'07"W, 606 m de altitude, acima do nível do mar). Os discos de papel filtro de cromatografia, tipo Whatnam, número 1 de 0,5 cm de diâmetro foram embebidos em solução de cloreto de cobalto a 10% e posteriormente foram secos em estufa em temperatura de 80 a 90 °C até atingir coloração azul-violeta. Após a secagem os discos foram fixados com fita adesiva em lâmina de vidro e foram armazenados em dessecador contendo sílica-gel (Figura 8).



Figura 8- Etapas da produção de discos de papel filtro para mensuração de sudação.

A mensuração da TS nos animais foi realizada da seguinte maneira: Os discos de papel filtro foram aplicados no animal na região centro-lateral do tronco, onde foi realizada a tricotomia na posição mediana, entre a 10° e 11° costela conforme MC LEAN (1963); AMAKIRI e MORDI (1975). E posteriormente foi aferida a sudação do animal a partir do tempo cronometrado em segundos para que ocorra a mudança da cor azul para a cor rosa claro dos 3 discos (Figura 9). Foi utilizada a equação (2) para os cálculos das coletas.

$$TS = (22 \times 3600) \div (2,06 \times \text{Média dos tempos}) = \text{g.m}^{-2} \text{h}^{-1} \quad (2)$$

Em que:

TS = Taxa de sudação em $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$;

t = tempo médio, em segundos para mudança de cor nos três discos de papel.

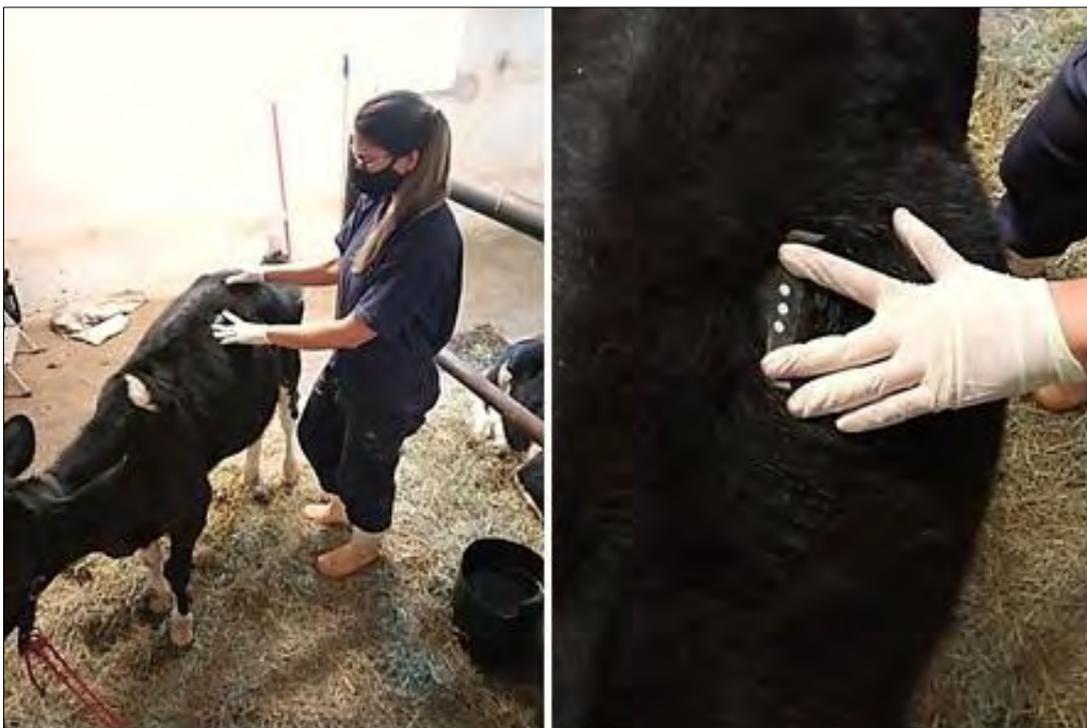


Figura 9- Mensuração da taxa de sudação.

As imagens termográficas (TIV) foram registradas por meio da câmera termográfica (*TESTO 875-2i*), calibrada com coeficiente de emissividade de 0,98. As imagens foram registradas nas seguintes regiões corporais: fronte, olho, orelha, costela e flanco (Figura 10), tomadas a distância entre 0,5 a 1 metro do animal. Posteriormente, as imagens coletadas foram configuradas no programa computacional (*TESTO IRsoft*) para o ajuste de valor da temperatura refletida em °C, de acordo com a temperatura de bulbo seco média do horário de coleta, e em seguida, foram exportadas para o formato XLSX (matriz de temperatura) por meio desse mesmo programa. As matrizes de temperatura foram convertidas para o formato JPG utilizando um programa desenvolvido na plataforma Google Colab. Os arquivos JPG foram analisados por um programa no software MATLAB R2016b (Mathworks Inc., USA) desenvolvido pelo Grupo de Robótica e Automação para Engenharia para Biosistemas (RAEB/FZEA) em parceria com o Laboratório de Zootecnia de Precisão (LAZP) laboratórios da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Com este programa foi realizado o recorte e rotulagem das regiões

estudadas dos animais e posteriormente foi gerado um relatório com as coordenadas do recorte de cada imagem. Após a rotulagem o relatório contendo as coordenadas dos recortes foi associado às matrizes de temperatura para a extração de características de temperaturas máximas, médias e mínimas dos recortes, utilizando um programa desenvolvido na plataforma Google Colab.

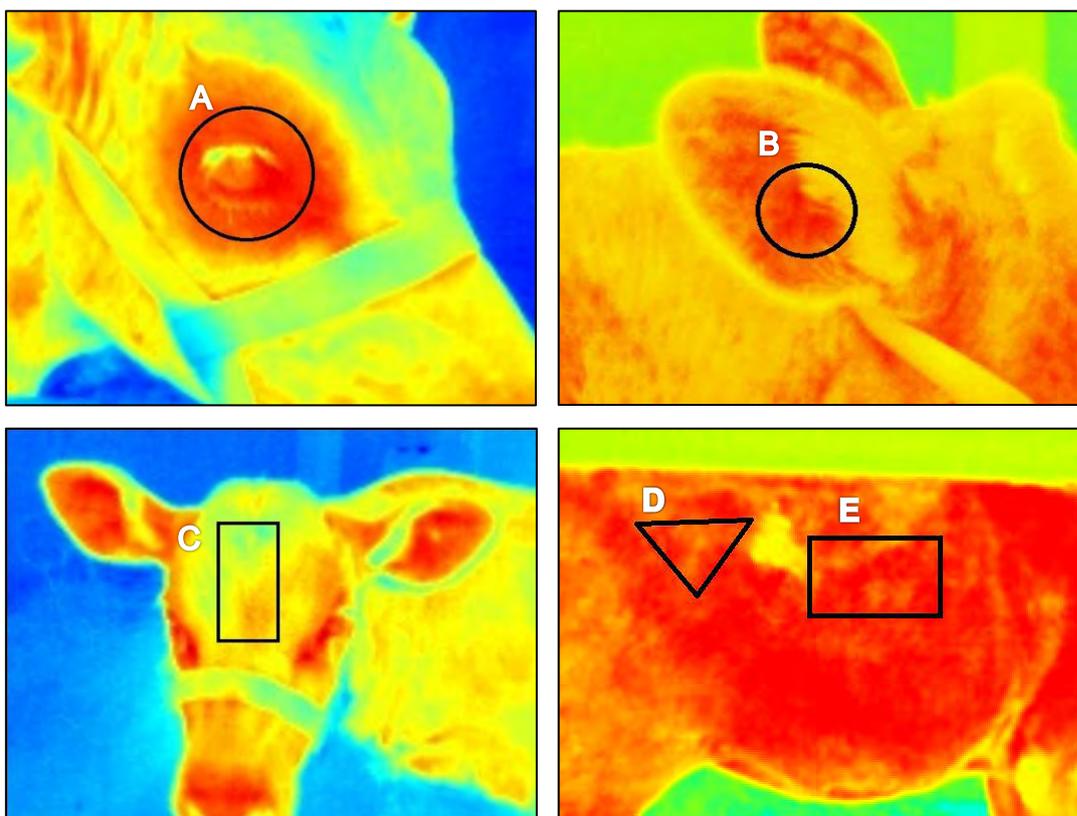


Figura 10- Regiões da superfície corporal onde foram registradas imagens termográficas: A- TIVOlh (área ocular), B- TIVOre (orelha), C- TIVFro (frente), D- TIVFla (flanco) e E- TIVCos (costela).

O comportamento dos animais foi monitorado por meio de uma câmera filmadora de modelo Intelbras VHD 3220 D G4 3000, resolução de 2MP com visão noturna e velocidade de gravação máxima de 30 quadros por segundo. A câmera filmadora foi instalada no ambiente interno da câmara climática a uma altura de 2,80 m, permitindo a visualização de todas as baias (Figura 11). Apesar da visão da filmadora abranger todas as baias, só foi possível observar em detalhes o comportamento dos animais alojados nas 3 baias mais próximas à câmera. Portanto, para a observação comportamental foram observados 3

animais de cada grupo, totalizando 6 animais para as análises comportamentais.

As análises comportamentais ocorreram em horários específicos durante cada tratamento experimental, compreendendo os períodos da manhã (05h às 06h; 09h às 10h; 11h às 12h), tarde (13h às 14h e 17h às 18h) e noite (23:30h às 00:30h). Esses horários foram definidos por não apresentarem interferências externas, de maneira que não coincidissem com as coletas de dados fisiológicos ou qualquer outro manejo com os animais. A análise dos vídeos ocorreu de modo visual, com o auxílio do software MATLAB para rotulagem do vídeo. A rotulagem foi realizada assistindo-se os vídeos e extraindo um *frame* (imagem) a cada segundo. Posteriormente foi emitido um registro em formato de relatório contendo os comportamentos dos 3 períodos analisados, obtendo como resultado a totalização do tempo (minutos) e frequência (%) dos comportamentos. Os comportamentos analisados na etapa da rotulagem se basearam da adaptação de um Etograma que descreve os comportamentos posturais e de atividade (em pé, em pé em ócio, deitada e deitada em ócio, comendo, bebendo ou em manejo). Essas descrições foram adaptadas de Titto (2010) (Tabela 1).



Figura 11- Registro da área experimental e dos animais pela câmera filmadora.

Tabela 1- Etograma de trabalho: comportamentos observados nas bezerras durante o período experimental.

Comportamento	Descrição
Postura/ Atividade	
Em pé	Corpo ereto com os 4 apoios no chão.
Em pé em ócio	Corpo ereto com os 4 apoios no chão sem atividade aparente.
Deitada	Corpo em contato com o piso.
Deitada em ócio	Corpo em contato com o piso sem atividade aparente.
Comendo	Cabeça dentro do comedouro ao ingerir ração e/ou silagem e/ou forragem e/ou sal.
Bebendo	Ingerindo água do bebedouro, com a boca dentro da água ou água escorrendo da boca logo após a permanência no bebedouro.
Manejo	Interferência externa. Animal sendo manejado ou ocorrendo atividades como limpeza, troca de cama, troca do bebedouro, entre outros.

A análise dos vídeos ocorreu da seguinte forma: com o vídeo em exibição ao se detectar um comportamento o vídeo era pausado e ao selecionar qualquer parte do *frame* era exibida a primeira janela com a seguinte opção: seleção do animal a ser analisado (Figura 12). Em seguida era exibida a segunda janela com a opção: comportamento a ser anotado (Figura 13). Com isso, o *label* registrado naquele determinado tempo do vídeo era exibido nos próximos *frames* (Figura 14), até que o animal modificasse o comportamento e somente após a modificação do comportamento, era registrado outro *label* capaz de substituir o anterior.

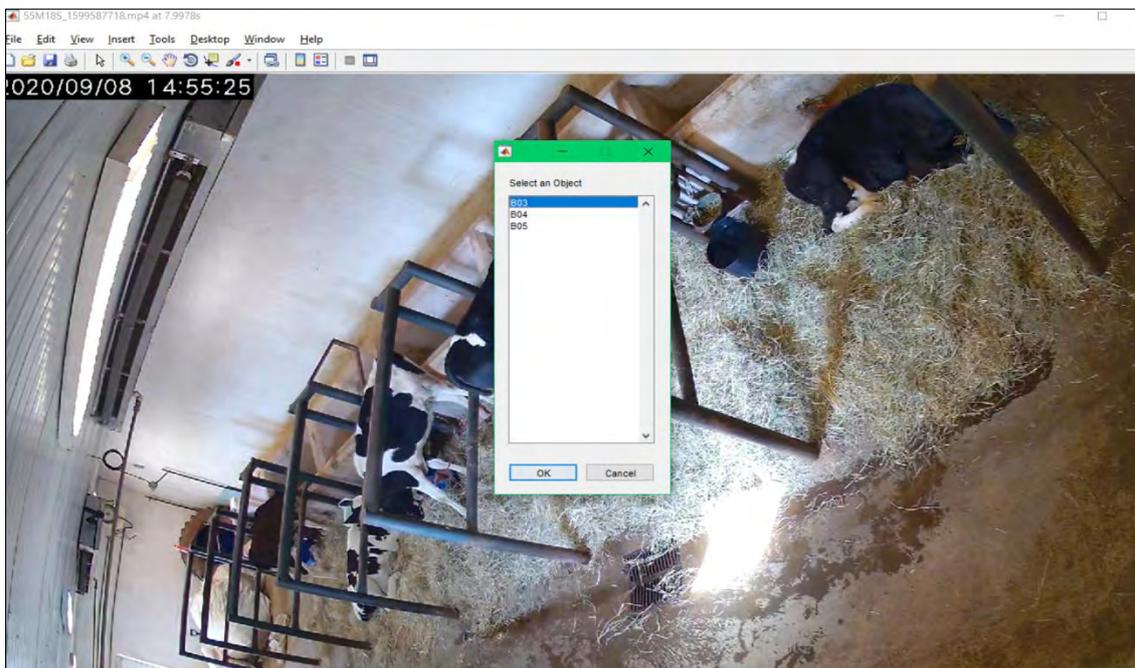


Figura 12- Janela para seleção do animal analisado.

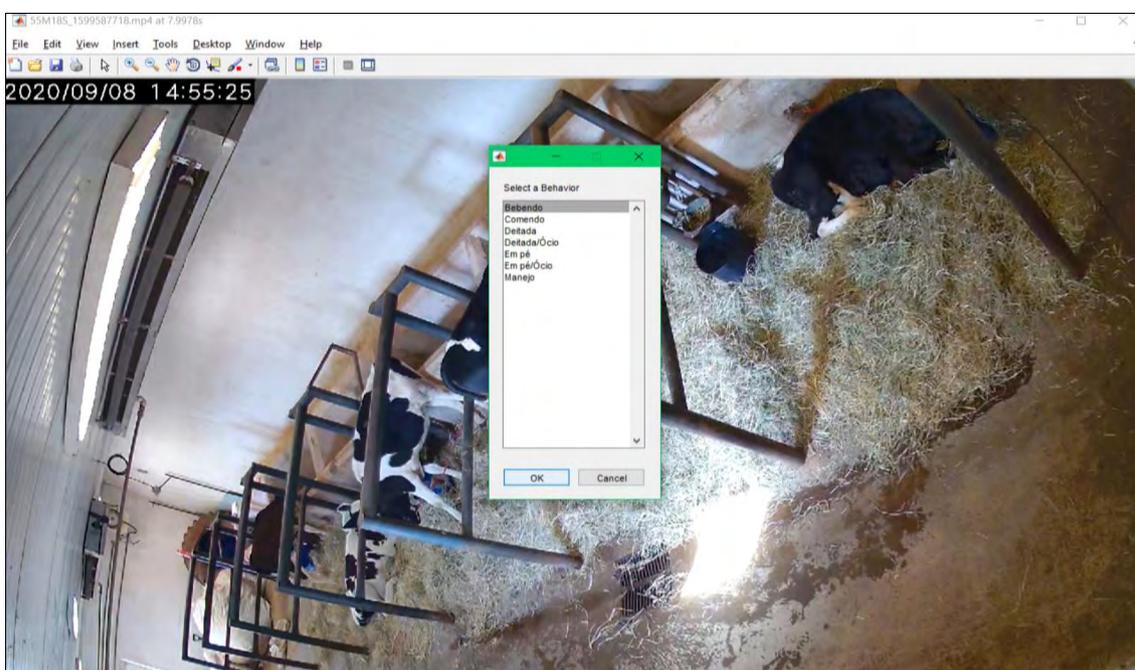


Figura 13- Janela para seleção do comportamento a ser anotado.

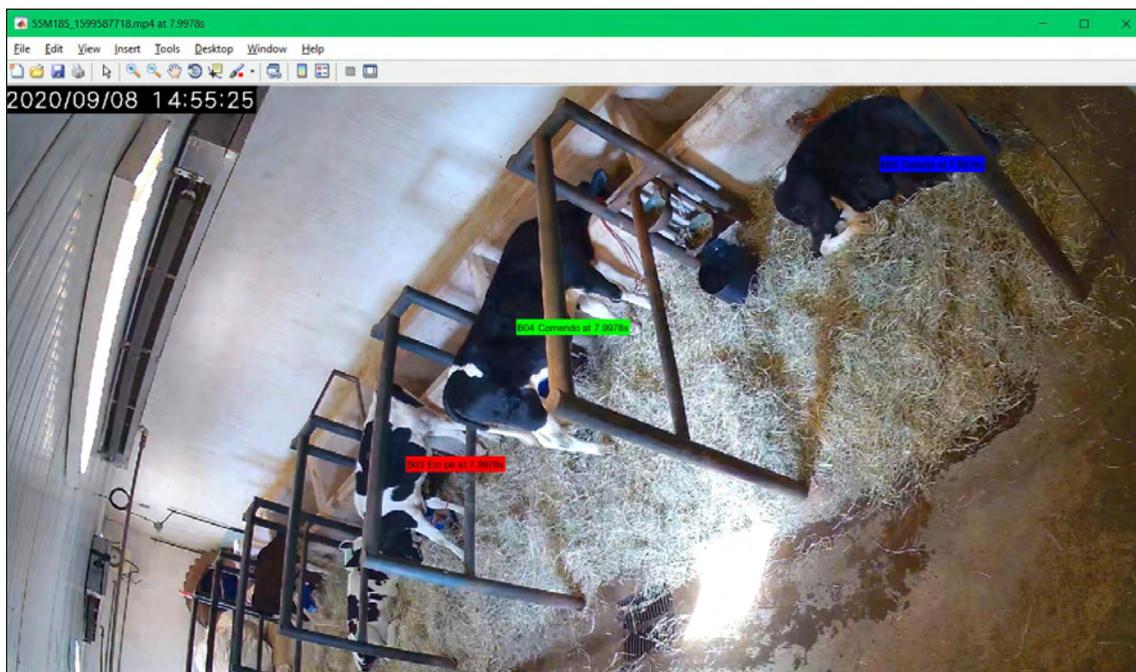


Figura 14- Exibição dos labels (rótulos) no *frame* do vídeo.

Com essa análise foi possível gerar um relatório, em formato de planilha, contendo os números dos animais, os comportamentos observados por animal, a frequência em porcentagem e o tempo em minutos que o animal permaneceu em cada um dos comportamentos.

A Figura 15 representa de forma esquemática os horários das coletas e tipos de dados (ambientais, fisiológicos e comportamentais) registrados durante o período experimental.

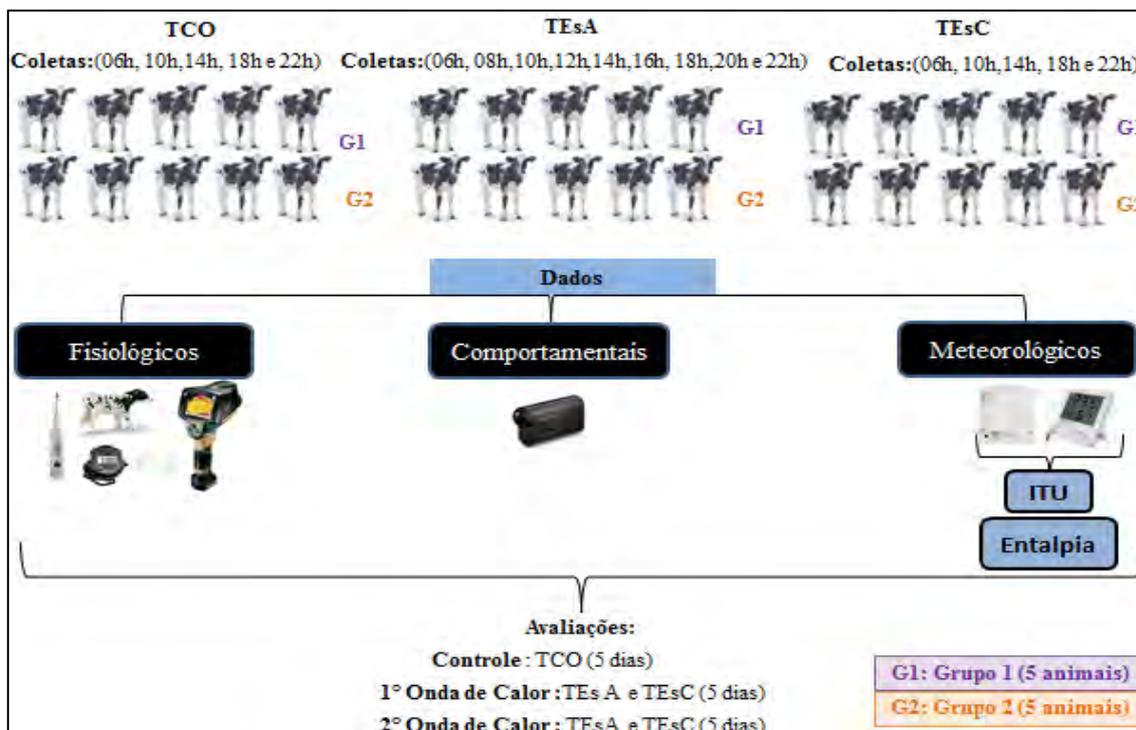


Figura 15- Esquema geral de registro de dados do experimento.

5.8 Análise estatística dos dados

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, sendo que a condição do estresse agudo e crônico foram considerados como tratamentos para as avaliações. Portanto, foram 3 tratamentos (TCO, TEsA e TEsC), com 10 repetições. Os efeitos dos tratamentos, hora do dia (06h, 10h, 14h, 18h e 22h) e ondas de calor (1 e 2) sobre as características fisiológicas (FR, TR, TS e TIV), foram analisados por análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS® 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

As características fisiológicas avaliadas (FR, TR, TS e TIV), foram consideradas como medidas repetidas no tempo (CROWDER e HAND, 1990), considerando os efeitos fixos de tratamento, hora, onda e suas interações, enquanto o animal foi considerado como efeito aleatório. As médias dos tratamentos foram obtidas pelo procedimento LS Means e quando encontradas diferenças entre os tratamentos, foram comparadas utilizando o Test t de Student com nível de significância de 1% para as variáveis ambientais e 5% para as variáveis fisiológicas.

As correlações simples entre os dados climáticos e as respostas fisiológicas foram calculadas através do procedimento CORR do software SAS®. Os comportamentos de postura e atividade foram analisados a partir da análise dos vídeos, conforme metodologia descrita acima, nos períodos da manhã (05h às 06h; 09h às 10h e 11h às 12h), tarde (13h às 14h e 17h às 18h) e noite (23:30h às 00h e 00h às 00:30h). Os resultados obtidos geraram dados de frequência e tempo em minutos comportamental, apresentando os resultados em porcentagem de tempo dispendido para cada comportamento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Ambiente climático

As temperaturas ambientais observadas neste estudo variaram de 22 a 31 °C no TCO, 23 a 36 °C no TEsA e variou de 23 a 36 °C no TEsC considerando as duas ondas. A umidade relativa do ar variou de 38 a 80% no TCO, 32 a 73% no TEsA e 31 a 72% no TEsC. O índice de temperatura de umidade variou de 68 a 78 no TCO, 69 a 85 no TEsA e 70 a 85 no TEsC. A entalpia variou de 47 a 75 KJ Kg⁻¹ no TCO, 49 a 78 KJ Kg⁻¹ no TEsA e 53 a 84 KJ Kg⁻¹ no TEsC. Mais detalhes dessas variáveis podem ser observados nos itens a seguir.

6.1.1 Temperatura e umidade relativa do ar

O comportamento médio da temperatura média do ar TBS e da umidade relativa média do ar UR durante o período experimental para os tratamentos avaliados podem ser observados nas Figuras 16, 17 e 18.

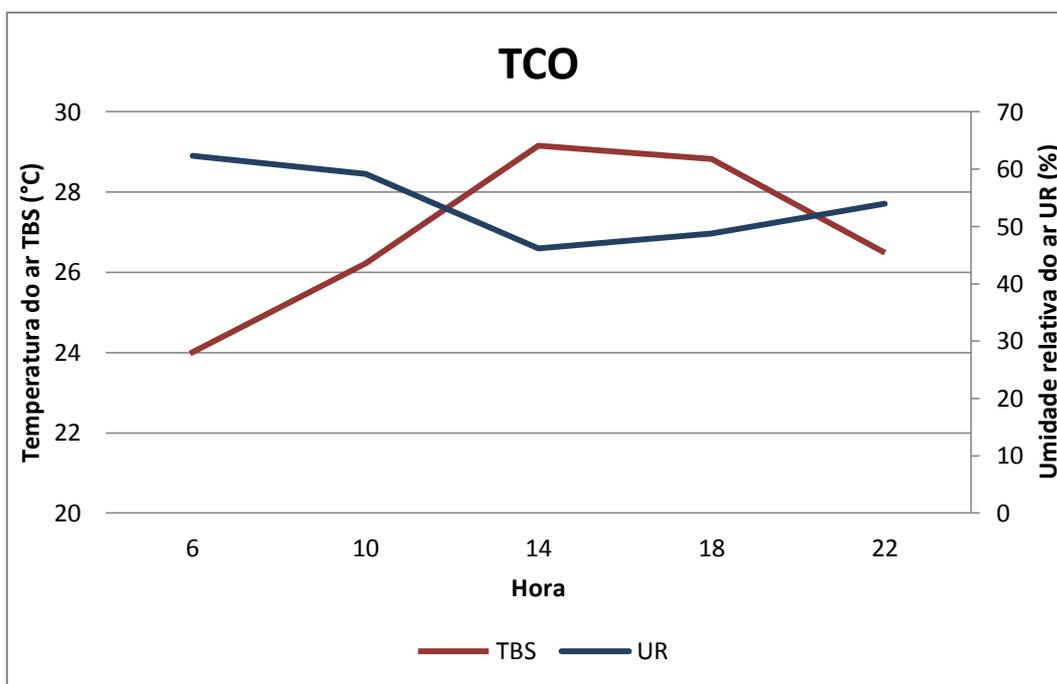


Figura 16- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TCO (tratamento controle).

Observou-se que durante o TCO as médias para os horários avaliados variaram de 24 °C a 29 °C, sendo que os horários de 06h, 10h e 22h foram os horários com temperaturas mais amenas para bezerras leiteiras e os horários de 14h e 18h com temperaturas mais elevadas. As médias da UR se comportaram de maneira inversa às médias da temperatura do ar, com UR mais baixa nos horários das 14h e 18h e UR mais elevadas nos horários 06h, 10h e 22h. Apesar do TCO apresentar as temperaturas mais baixas em comparação com o TEsA e TEsC (Figuras 17 e 18), os animais estavam fora da faixa considerada como conforto para bezerras desaleitadas, já que Baêta e Sousa (2010), consideram como limiares de temperatura ideal os valores entre 18 e 21 °C.

O comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e da umidade relativa média do ar UR (%) no tratamento estresse agudo (TEsA) pode ser observado na Figura 17.

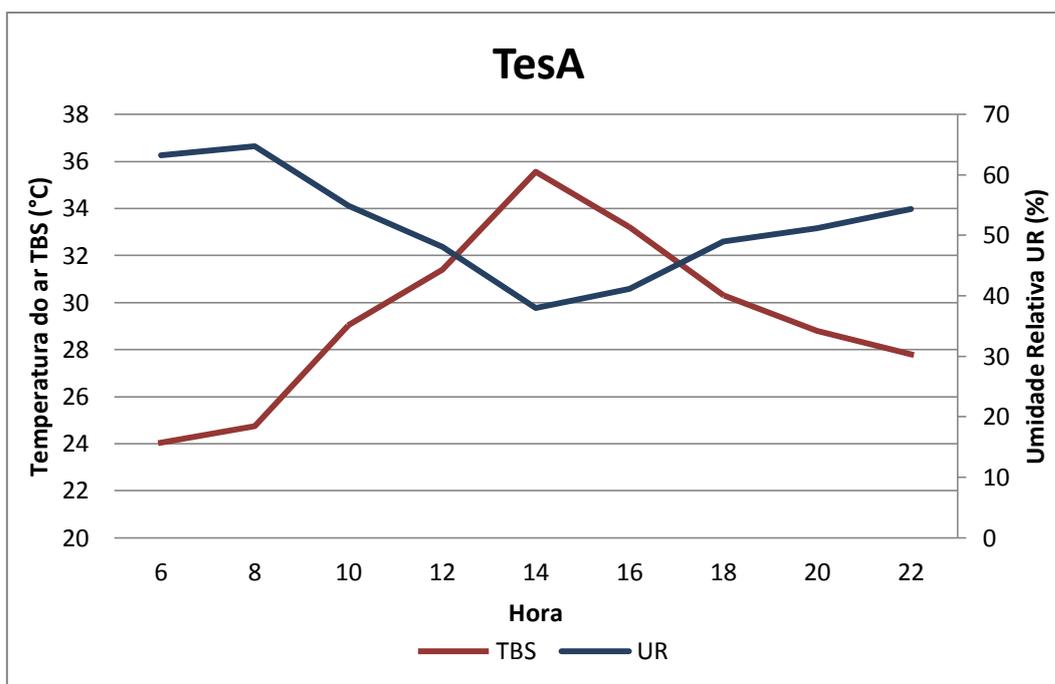


Figura 17- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TEsA (tratamento estresse agudo).

No TEsA foi observada elevação da temperatura do ar, conforme planejado para o estudo, a partir das 10h, atingindo um pico no horário das 14h e que se manteve até às 15h. A partir desse ponto a câmara climática foi desligada para a temperatura do ar fosse reduzida gradualmente. Observou-se queda da TBS após às 15h, no qual a temperatura foi reduzida de 36 °C às 14h para 33 °C às 15h.

O comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e da umidade relativa média do ar UR (%) no tratamento estresse crônico (TEsC) pode ser observado na Figura 18.

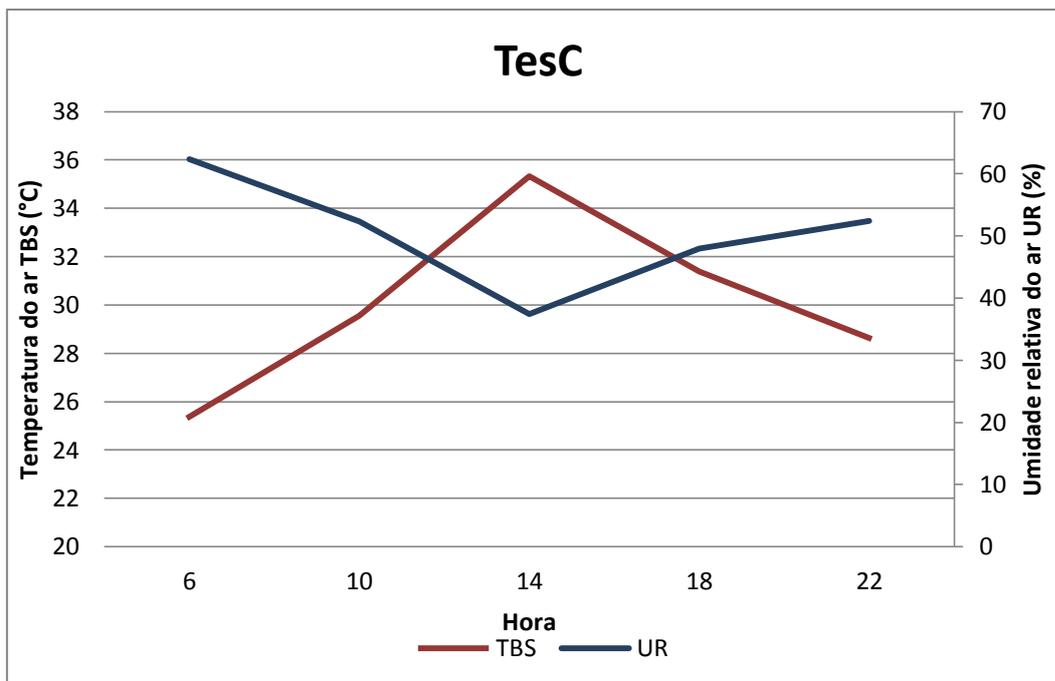


Figura 18- Comportamento da temperatura média do ar TBS (°C) e umidade relativa média do ar UR (%) durante o período experimental para o TEsC (tratamento estresse crônico).

O padrão de elevação da temperatura do ar no TEsC foi semelhante ao do TEsA. Essa observação reforça a ideia de que, os animais foram desafiados termicamente com a simulação das ondas de calor, uma vez que os animais permaneceram em ambiente com temperatura do ar acima do limite superior crítico de 26 °C (BAÊTA e SOUSA, 2010) nos horários mais quentes do dia.

Ao avaliar os efeitos dos fatores tratamento, hora e onda sobre a TBS, observou-se interação tripla (tratamento x horário x onda) para a temperatura média do ar durante o período experimental ($p \leq 0,01$) (Tabela 2). Para UR, não foi observado efeito das interações tratamento x onda e tratamento x horário.

Tabela 2- Médias da temperatura do ar (TBS °C) no TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nos diferentes horários e ondas de calor (1 e 2).

Horários	Parâmetros	ONDA 1			ONDA 2		
		TCO	TEsA	TEsC	TCO	TEsA	TEsC
6	TBS (°C) média	24,0 ^{aA}	23,3 ^{bB}	23,9 ^{aB}	24,0 ^{cA}	24,7 ^{bA}	26,9 ^{aA}
	Erro padrão	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
10	TBS (°C) média	26,2 ^{cA}	28,5 ^{bB}	29,2 ^{aB}	26,2 ^{bA}	29,7 ^{aA}	29,9 ^{aA}
	Erro padrão	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
14	TBS (°C) média	29,2 ^{bA}	35,3 ^{aB}	35,5 ^{aA}	29,2 ^{bA}	35,8 ^{aA}	35,2 ^{aB}
	Erro padrão	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
18	TBS (°C) média	28,8 ^{cA}	29,8 ^{bB}	30,9 ^{aB}	28,8 ^{cA}	30,8 ^{bA}	31,9 ^{aA}
	Erro padrão	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3
22	TBS (°C) média	26,5 ^{bA}	26,8 ^{bB}	27,9 ^{aB}	26,5 ^{bA}	28,8 ^{aA}	29,4 ^{aA}
	Erro padrão	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3

^{a,b,c} Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem os tratamentos dentro das ondas ($p \leq 0,01$).

^{A, B} Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem os tratamentos entre as ondas ($p \leq 0,01$).

Analisando a onda 1, a TBS do TCO foi sempre menor (com exceção do horário das 6h) comparado aos outros dois tratamentos ($p \leq 0,01$). A TBS no TEsA e TEsC foi semelhante somente no horário de 14h, enquanto nos demais horários a TBS no TEsC foi maior ($p \leq 0,01$).

Quando se observa dentro da onda 2, a TBS do TCO foi menor em todos os horários, comparado aos outros dois tratamentos. A TBS no TEsA e TEsC foram semelhantes nos horários 10h, 14h e 22h, enquanto nos demais horários a TBS no TEsC foi maior ($p \leq 0,01$).

Comparando a TBS no TCO entre as Ondas 1 e 2, foi observado que os menores valores foram registrados para os horários 10h, 14h, 18 e 22h, comparado aos outros dois tratamentos. Já, nos tratamentos TEsA e TEsC, observou-se TBS pouco mais elevadas na onda 2 comparada a esses mesmos tratamentos na onda 1, indicando que a onda 2 pode ter sido ligeiramente mais estressante comparada à onda 1, em alguns horários do dia.

Em todos os horários, tratamentos e ondas avaliadas observou-se que a TBS esteve acima da faixa considerada ideal para bezerras conforme Baêta e Sousa (2010), quem consideram como temperatura ideal os limiares entre 18 °C e 21 °C. Como proposto no presente estudo, os horários de 10h, 14h e 18h foram os mais estressantes tanto para TEsA como para TEsC, com as temperaturas médias variando de 28,5 °C a 35,5 °C na onda 1 e variando de 29,7 °C a 35,8 °C na onda 2.

As temperaturas médias, mínimas e máximas observadas durante o intervalo de 13 dias no ambiente de descanso (piquete do setor gado leiteiro) foram 28,5 °C, 16 °C e 39°C respectivamente. Demonstrando que durante o descanso, os dois grupos de animais enfrentaram ondas de calor em ambiente aberto. Com isso, os animais acabaram enfrentando ondas de calor consecutivas durante o estudo.

6.1.2 Índice de temperatura e umidade

Assim como observado para TBS, houve interação tripla (tratamento x horário x onda) para o índice de temperatura e umidade durante o período experimental ($p \leq 0,01$) (tabela 3).

Tabela 3- Médias de ITU (índice de temperatura e umidade) observadas nos TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico), em cada horário e ondas de calor (1 e 2).

Horários	Parâmetros	ONDA 1			ONDA 2		
		TCO	TEsA	TEsC	TCO	TEsA	TEsC
6	ITU	71 ^{aA}	70 ^{bB}	71 ^{aB}	71 ^{bA}	72 ^{bA}	75 ^{aA}
	Erro padrão	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
10	ITU	74 ^{bA}	77 ^{aB}	77 ^{aB}	74 ^{bA}	78 ^{aA}	78 ^{aA}
	Erro padrão	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
14	ITU	76 ^{bA}	83 ^{aA}	83 ^{aA}	76 ^{bA}	84 ^{aA}	84 ^{aA}
	Erro padrão	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
18	ITU	76 ^{bA}	78 ^{aB}	78 ^{aB}	76 ^{cA}	79 ^{bA}	81 ^{aA}
	Erro padrão	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3

22	ITU	74 ^{bA}	74 ^{bB}	75 ^{aB}	74 ^{bA}	77 ^{aA}	78 ^{aA}
	Erro padrão	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3

^{a,b,c} Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem os tratamentos dentro das ondas ($p \leq 0,01$).

^{A, B} Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,01$).

Analisando isoladamente a onda 1 observou-se que o TCO apresentou o menor ($p \leq 0,01$) ITU em todos os horários do dia, com exceção do horário de 06h, comparado aos TEsA e TEsC. Foi observada uma semelhança nos valores do ITU nos horários de maior estresse térmico às 10h, 14h e 18h para o TEsA e TEsC, os quais variaram entre 77 a 83.

Na onda 2 comparando TEsA e TEsC foi observado ITU semelhante entre eles nos horários das 10h, 14h e 22h e ITU mais elevado no TEsC às 06h e 22h. Ainda sobre a onda 2, os horários mais críticos nesses dois tratamentos foram 10h, 14h, 18h e 22h, com o ITU variando de 77 a 84 em ambos os tratamentos.

Comparando o TEsA entre onda 1 e 2 foi observado que o ITU na onda 2 foi mais elevado em todos os horários, com exceção das 14h. O mesmo foi observado para o ITU no TEsC, sendo que o ITU nesse tratamento também foi semelhante entre ondas somente às 14h, enquanto nos demais horários o TEsC na onda 2 apresentou valores mais elevados ($p \leq 0,01$).

Considerando os dados ambientais da câmara climática, os resultados de TBS e ITU indicam que tanto o TEsC quanto a onda 2 foram mais desafiadores para os animais, especialmente nos horários mais críticos do dia, quando a temperatura estava mais elevada (10h, 14 e 18h). Os valores de ITU observados (77 a 84) durante esses horários indicam uma situação de alerta e perigo, conforme Pires e Campos (2004), que consideram o ITU entre 78 e 82 em situação de perigo ou com as funções orgânicas comprometidas e, em situação de emergência, quando o ITU está acima de 82. Isso também foi observado por Kovács et al. (2020) que, avaliando as respostas fisiológicas de bezerros leiteiros durante estresse agudo, constataram que em ambiente com ITU acima de 78 os animais aumentam suas respostas fisiológicas e quando

ultrapassa 88, essas respostas são ainda mais acentuadas e comprometedoras para os animais que enfrentam essas situações.

6.1.3 Entalpia

Houve interação tripla dos efeitos fixos (tratamento x horário x onda) para a entalpia durante o período experimental ($p \leq 0,01$) (Tabela 4).

Tabela 4- Médias de entalpia observadas nos TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) em cada horário e nas duas ondas de calor (1 e 2).

Horários	Parâmetros	ONDA 1			ONDA 2		
		TCO	TEsa	TEsc	TCO	TEsa	TEsc
06	Entalpia (KJ Kg ⁻¹)	56,5 ^{aA}	54,9 ^{bB}	54,3 ^{bB}	56,5 ^{bA}	58,8 ^{bA}	67,3 ^{aA}
	Erro padrão	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2
10	Entalpia (KJ Kg ⁻¹)	60,7 ^{bA}	66,6 ^{aA}	64,0 ^{aB}	60,7 ^{bA}	67,9 ^{aA}	70,4 ^{aA}
	Erro padrão	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2
14	Entalpia (KJ Kg ⁻¹)	61,0 ^{bA}	73,7 ^{aA}	69,4 ^{aB}	61,0 ^{bA}	74,1 ^{aA}	75,8 ^{aA}
	Erro padrão	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2
18	Entalpia (KJ Kg ⁻¹)	61,8 ^{bA}	65,8 ^{aA}	65,0 ^{aB}	61,8 ^{cA}	68,3 ^{bA}	74,3 ^{aA}
	Erro padrão	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2
22	Entalpia (KJ Kg ⁻¹)	58,6 ^{bA}	60,3 ^{aB}	60,2 ^{aB}	58,6 ^{bA}	65,4 ^{aA}	68,3 ^{aA}
	Erro padrão	1,0	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2

^{a,b,c} Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem os tratamentos dentro das ondas ($p \leq 0,01$).

^{A,B} Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,01$).

A entalpia na onda 1 foi maior no TCO, comparado aos demais tratamentos apenas no horário das 06h. Nos demais horários (10h, 14h, 18h e 22h) observou-se valores de entalpia menor para TCO comparados aos TEsa e TEsc. Os valores de entalpia no TEsa e TEsc foram similares entre si em todos os horários.

Na onda 2, no horário das 6h, a entalpia do TCO não diferiu daquela do TEsA, enquanto essas duas foram menores ($p < 0,01$) do que a do TEsC. Já, às 06h e 18h a entalpia foi menor ($p < 0,01$) no TEsA do que no TEsC, enquanto nos demais horários, a entalpia foi semelhante entre o TEsA e TEsC.

Ao comparar a onda 1 com a onda 2 observou-se que as entalpias do TCO foram semelhantes em todos os horários. Porém, para os TEsA e TEsC de maneira geral a entalpia no TEsA e TEsC na onda 2 apresentaram médias mais elevadas do que na onda 1. Ainda comparando cada tratamento entre as duas ondas, observou-se que a entalpia no TEsA foi maior na onda 2 ($p \leq 0,01$) nos horários 06h e 22h, sendo iguais nos demais horários. Já a entalpia no TEsC na onda 2 foi mais elevada ($p < 0,01$) comparada à TEsC na onda 1 em todos os horários.

Esses resultados estão coerentes com os observados para o ITU e TBS, indicando que a caracterização do estresse aos animais, sobre o aspecto das variáveis ambientais, indicou que o TEsC da onda 2 foi mais desafiador para os animais comparado ao mesmo tratamento na onda 1. Barbosa Filho et al., 2007 e Araujo, 2001, consideram desconfortante para bovinos o ambiente com valor de entalpia crítica superior a $67,4 \text{ KJ Kg}^{-1}$, sendo assim o horário 14h foi o mais crítico durante as duas ondas no TEsA e TEsC com variação da entalpia entre 69,4 a $75,8 \text{ KJ Kg}^{-1}$. Adicionalmente, nos horários 10h, 18h e 22 no TEsC onda 2 foi observado médias superiores à $67,4 \text{ KJ Kg}^{-1}$, bem como às 10h e 18h no TEsA da onda 2.

6.2 Respostas fisiológicas

Na tabela 5 podem ser observados os efeitos de tratamento, horário, onda e suas respectivas interações para as variáveis fisiológicas estudadas FR, TR, TS, TIVOlh, TIVFro, TIVORE, TIVCos e TIVFla ($p \leq 0,05$).

Tabela 5- Efeitos e interações observadas da análise estatística para as variáveis fisiológicas estudadas FR (frequência respiratória), TR (temperatura retal), TS (taxa de sudação), TIVOlh (temperatura de infravermelho do olho), TIVFro (temperatura de infravermelho da frente), TIVORE (temperatura de

infravermelho da orelha), TIVCos (temperatura de infravermelho da costela), TIVFla (temperatura de infravermelho do flanco).

<i>P</i> -value						
	Tratamento	Hora	Onda	Tratamento x Hora	Tratamento x Onda	Hora x Onda
FR	<0,001	<0,001	<0,001	0,0016	<0,001	0,8498
TR	<0,001	<0,001	<0,001	0,6079	<0,001	0,8058
TS	<0,001	<0,001	<0,001	0,3973	<0,001	0,0014
TIVOh	<0,001	<0,001	<0,001	0,0517	<0,001	0,0846
TIVFro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0049
TIVOre	<0,001	<0,001	<0,001	0,0201	0,0067	0,0071
TIVCos	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,3007
TIVFla	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0133

Para FR, TIVFro, TIVOre, TIVCos e TIVFla foram observados efeitos da interação tratamento x hora ($p \leq 0,05$). O comportamento dessas variáveis pode ser observado a seguir.

Houve efeito da interação tratamento x horário para a FR ($p \leq 0,05$). (Figura 19).

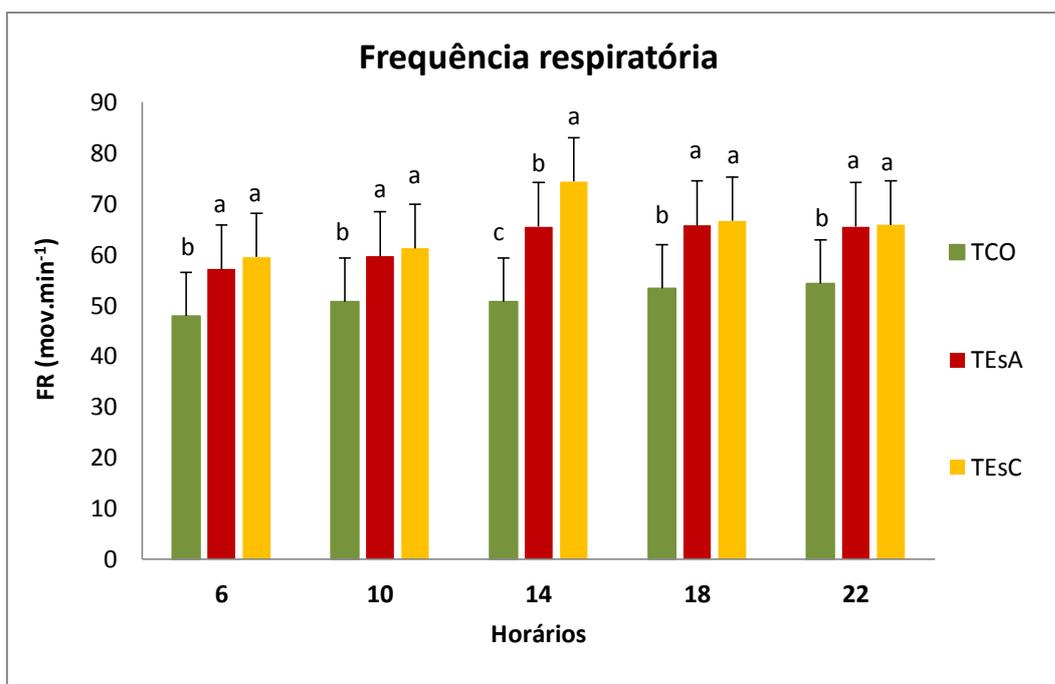


Figura 19- Médias de frequência respiratória (FR) para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.

^{ab,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro dos horários ($p \leq 0,05$).

Os animais no TEsA e TEsC indicaram FR semelhantes nos horários 06h, 10h, 18 e 22h a FR, porém diferiram das FR do TCO, sendo que os animais desse tratamento apresentou menores FR, em todos os horários ($p \leq 0,05$). No horário de 14h, horário mais quente do dia, a FR dos animais no TEsC foi mais elevada ($p \leq 0,01$) ($74,4 \text{ mov.min}^{-1}$), seguida da FR dos animais no TEsA ($65,5 \text{ mov.min}^{-1}$) e por último da FR dos animais do TCO ($50,8 \text{ mov.min}^{-1}$). De maneira geral a FR dos animais do TCO foi menor comparado aos demais tratamentos, variando de $47,9$ a $54,3 \text{ mov.min}^{-1}$.

Wallage et al. (2021) estudando a termorregulação de bovinos durante o estresse agudo e crônico, encontraram valores mais altos de FR no estresse agudo do que no estresse crônico. Já no presente estudo foi observado que a FR foi mais elevada durante o estresse crônico no TEsC no horário mais quente do dia às 14h.

As médias de FR encontradas em todos os horários estiveram acima dos limiares considerados por Reece (2006) como sendo ideais para a categoria de bezerras com até um ano de idade. Reece (2006) considera como

faixa normal de FR médias de 21 a 25 mov.min⁻¹. O horário mais estressante, ou seja, com a FR mais elevada foi observado às 14h no TEsC (74 mov.min⁻¹).

Cunha et al. (2007) avaliando as variáveis fisiológicas de bezerros mantidos em diferentes instalações verificaram que independente da instalação os animais apresentaram valores mais elevados de FR no período da tarde do que pela manhã. Segundo Dantas et al. (2012), a elevação da FR pelos animais no período da tarde está diretamente relacionada com o aumento da temperatura ambiente e da carga térmica transmitida para esses animais, fazendo com que os mesmos necessitem dissipar esse calor, o que ocorre visivelmente pela evaporação respiratória. Essa observação também foi constatada neste estudo, já que os animais aumentaram a FR no período da tarde. Foi observado que no período noturno a FR também esteve alta.

Não houve efeito da interação tratamento x horário para a TR ($p \geq 0,05$), mas optou-se por mostrar (Figura 20) o comportamento da TR ao longo dos horários, para cada um dos tratamentos

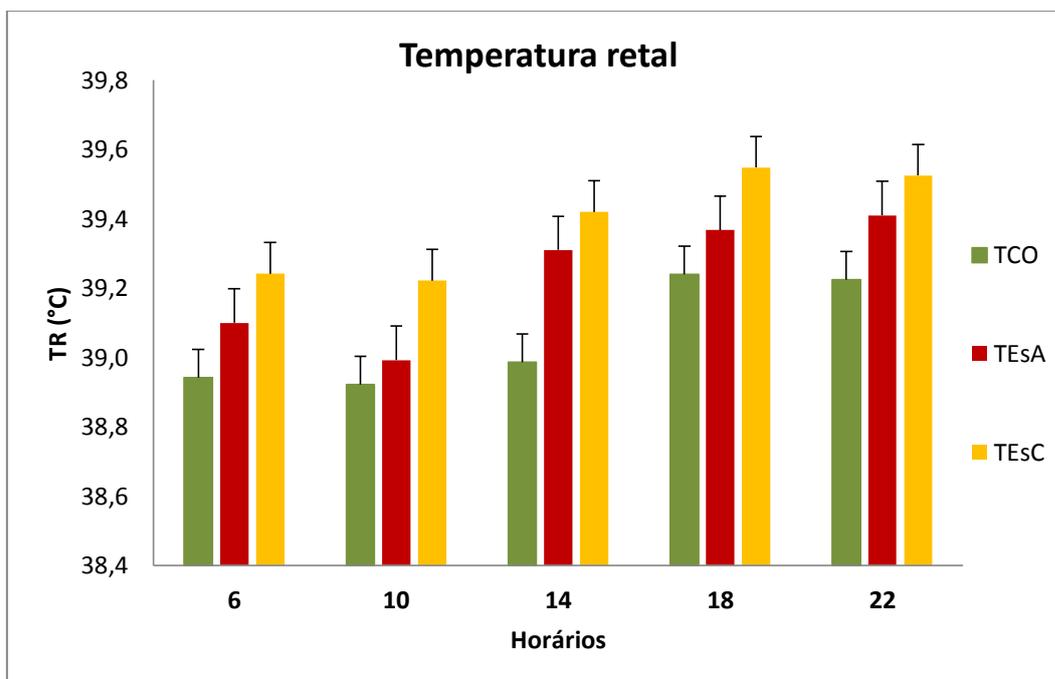


Figura 20- Médias de temperatura retal TR para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.

A TR média geral dos animais de cada tratamento, independente dos horários e ondas de calor, foram 39,1 °C (TCO), 39,2 °C (TEsA) e 39,4 °C (TEsC). Ao considerar os horários, independente dos tratamentos, observou-se TR de 39 °C às 6 h e 10 h, 39,2 °C às 14 h, 39,4 °C às 18 h e 22 h.

Dessa forma, as TR dos animais (Figura 20) apresentaram comportamento semelhantes entre TCO, TEsA e TEsC em cada um dos horários avaliados. No horário às 06h a TR variou de 38,9 a 39,2 °C, sendo a mesma variação observada no horário das 10h (38,9 a 39,2 °C). Às 14h a variação foi de 39 a 39,4 °C. Às 18h a TR variou de 39,2 a 39,5 °C, e às 22h a variação foi de 39,2 a 39,5 °C. A TR considerada normal para bezerros livres de estresse térmico varia de 38,0 a 39,3 °C (ROBINSON, 1999; DUKES, 1996; ROBERTSHAW, 2006). Foi observado que a partir do horário das 14h a TR das bezerras ultrapassaram essa faixa considerada normal, e que esses valores mais elevados foram observados nos animais do TEsA e TEsC, indicando que nestes tratamentos os animais estavam sob condições de estresse térmico a partir desse horário.

Também é possível observar um padrão de elevação da TR no decorrer dos horários do dia, em que os valores máximos foram atingidos entre as 18h e 22h no período noturno, evidenciando que os animais nessas situações independente do tratamento, apresentaram uma elevação constante da TR parecendo surtir um efeito cumulativo de calor ao longo do dia mesmo com a TBS reduzindo nesses horários entre as 18h e 22h. Segundo Martello et al. (2004), a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã. Essa informação corrobora com os resultados obtidos neste trabalho em que a TR se mostrou mais elevada no período da tarde do que no período da manhã, no entanto, foi observado que esteve ainda mais elevada no período noturno.

A elevação da TR no período noturno pode indicar que as tentativas de perdas evaporativas no decorrer do dia provavelmente foram insuficientes ou pouco satisfatórias. Pois, de acordo com Du Preez (2000) se a frequência respiratória e a sudorese não forem suficientes para dissipar o calor, ocorre o aumento da TR acima de 39,5 °C. O que foi observado neste estudo, já que apesar do aumento da FR (Figura 19) e TS (Figura 21), ocorreu também o aumento da TR (Figura 20).

Purwanto et al. (1993) estudando os efeitos das temperaturas ambientais na produção de calor em novilhas leiteiras perceberam que tanto a FR quanto a TR dos animais aumentaram na temperatura de 30 °C, em relação à temperatura de conforto de 15 °C. Tal observação também ocorreu neste estudo, já que a FR e a TR aumentaram nos horários mais quentes do dia com a elevação da temperatura ambiente às 10h e 14h. Já, Brown-Brandl et al. (2003) estudando a aclimatação de bovinos em câmara climática durante estresse térmico agudo e crônico, verificaram que no estresse agudo a FR e a TR dos animais eram mais elevadas do que no estresse crônico. Esse resultado contrasta com o que foi observado no presente estudo, já que a FR e a TR dos animais se mostraram mais elevadas no TEsC do que no TEsA, nos horários mais quentes do dia.

Para a TS, como ocorreu para TR, não foi observada interação tratamento x horário para essa característica, mas optou-se por mostrar o seu comportamento em cada tratamento e horário(Figura 21).

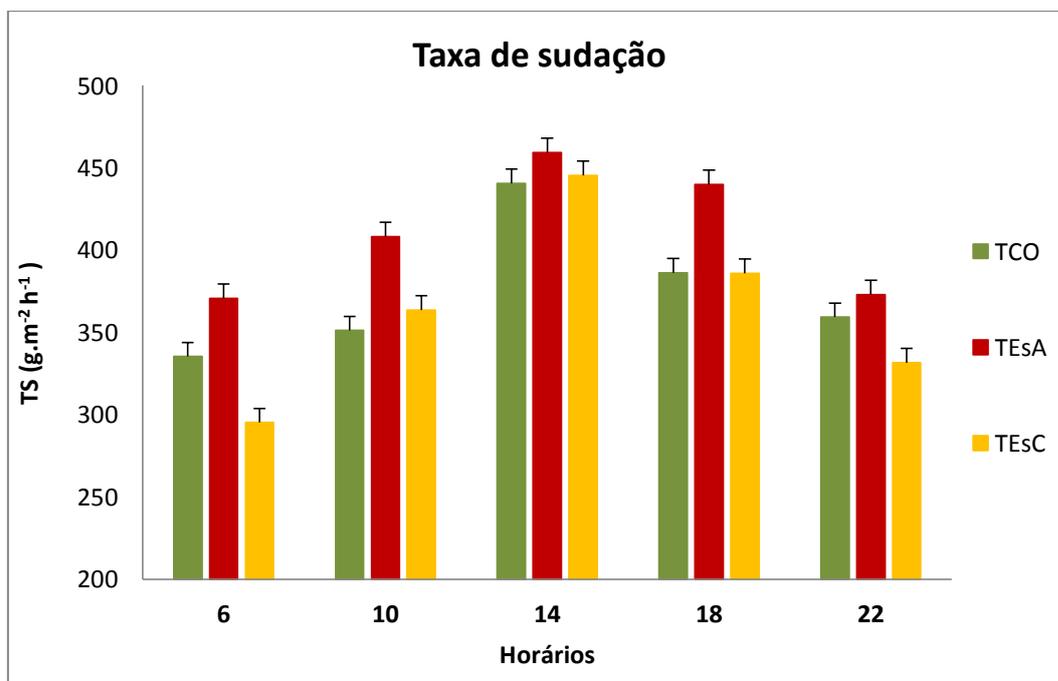


Figura 21- Médias de taxa de sudação TS para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nos horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h.

A TS média geral, independente dos horários e ondas de calor, foi de $373,5 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ no TCO, $428,7 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ no TEsA e $364,5 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ no TEsC. Considerando os horários independente dos tratamentos observou-se TS de $333,9 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 06h, $374,9 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 10h, $448,6 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 14h, $404,2 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 18h e $354,7 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 22h. Ao analisar o comportamento da TS (Figura 21) em todos os tratamentos e no decorrer dos horários, é possível observar um padrão de subida a partir dos horários mais quentes do dia, com elevação da TS mais evidente a partir das 10h variando (entre os 3 tratamentos) de $351,2$ a $408,4 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$, seguindo às 14h com a variação entre $440,8$ a $459,5 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Esse aumento evidencia a ativação desse mecanismo de termorregulação, na tentativa do animal em dissipar calor por meio evaporativo a partir entre às 10h e 14 h. Após as 14h foi observada redução da TS com a variação de $386,1 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ a $440, \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 18h e $331,8 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ a $373,0 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ às 22h.

Neste estudo era esperado observar médias mais elevadas de FR e TR no TEsA do que no TEsC, acreditando que haveria uma certa aclimação pelos animais, após enfrentarem os efeitos do estresse agudo. O que não foi verificado. Acreditava-se que o primeiro impacto de estresse térmico para os animais como no caso do estresse agudo, demandaria a utilização não só da TS de maneira mais intensa, mas também da FR e TR. No entanto essa observação foi percebida somente do TEsC demonstrando que quando o animal passa vários dias em condições de estresse térmico é mais impactante para o animal do que um estresse imediato.

Houve interação tratamento x horário para as temperaturas de infravermelho das regiões da frente (TIVFro), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) ($p < 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6- Médias de temperatura de infravermelho do olho (TIVOlh) ($p \geq 0,05$). Médias de efeito tratamento x hora ($p \leq 0,05$) para a temperatura de infravermelho da frente (TIVFRO), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFLA).

Hora	Temperaturas	Tratamentos e erro padrão médio						P-value
		TCO	EPM	TEsA	EPM	TEsC	EPM	
6	TIV Olh	36,6 ^{ns}	0,19	36,6 ^{ns}	0,21	36,8 ^{ns}	0,20	0,0517
	TIV Fro	30,3 ^b	0,16	30,2 ^b	0,20	30,9 ^a	0,18	<0,001
	TIV Ore	35,0 ^b	0,36	35,8 ^a	0,38	36,0 ^a	0,37	0,0201
	TIV Cos	31,1 ^b	0,30	31,3 ^b	0,33	32,1 ^a	0,31	<0,001
	TIV Fla	31,5 ^b	0,20	31,8 ^b	0,23	32,4 ^a	0,22	<0,001
10	TIV Olh	36,7 ^{ns}	0,19	37,0 ^{ns}	0,21	37,1 ^{ns}	0,20	0,0517
	TIV Fro	31,5 ^c	0,16	32,2 ^b	0,20	32,7 ^a	0,18	<0,001
	TIV Ore	35,0 ^c	0,36	35,8 ^b	0,38	36,3 ^a	0,37	0,0201
	TIV Cos	32,0 ^c	0,30	33,2 ^b	0,33	33,7 ^a	0,31	<0,001
	TIV Fla	32,3 ^c	0,20	33,5 ^b	0,23	34,0 ^a	0,22	<0,001
14	TIV Olh	37,1 ^{ns}	0,19	37,8 ^{ns}	0,21	37,6 ^{ns}	0,20	0,0517
	TIV Fro	32,8 ^b	0,16	35,5 ^a	0,20	35,3 ^a	0,18	<0,001
	TIV Ore	35,8 ^b	0,36	37,2 ^a	0,38	37,2 ^a	0,37	0,0201
	TIV Cos	33,0 ^b	0,30	35,9 ^a	0,33	35,9 ^a	0,31	<0,001
	TIV Fla	33,4 ^b	0,20	36,0 ^a	0,23	36,1 ^a	0,22	<0,001
18	TIV Olh	37,3 ^{ns}	0,19	37,4 ^{ns}	0,21	37,7 ^{ns}	0,20	0,0517
	TIV Fro	33,0 ^c	0,16	33,4 ^b	0,20	34,4 ^a	0,18	<0,001
	TIV Ore	36,3 ^b	0,36	36,8 ^a	0,38	37,2 ^a	0,37	0,0201
	TIV Cos	33,4 ^c	0,30	34,0 ^b	0,33	34,9 ^a	0,31	<0,001
	TIV Fla	33,6 ^c	0,20	34,1 ^b	0,23	35,1 ^a	0,22	<0,001
22	TIV Olh	37,0 ^{ns}	0,19	37,4 ^{ns}	0,21	37,4 ^{ns}	0,20	0,0517
	TIV Fro	31,9 ^b	0,16	32,6 ^a	0,20	33,0 ^a	0,18	<0,001
	TIV Ore	36,1 ^c	0,36	36,6 ^b	0,38	37,0 ^a	0,37	0,0201
	TIV Cos	32,3 ^c	0,30	33,4 ^b	0,33	33,8 ^a	0,31	<0,001
	TIV Fla	32,7 ^c	0,20	33,5 ^b	0,23	34,0 ^a	0,22	<0,001

Médias seguidas por letra minúscula diferente na linha diferem os tratamentos entre si dentro de cada hora na horizontal.

TCO- tratamento controle temperatura ambiente; TEsA- temperatura estresse agudo; TEsC-temperatura estresse crônico.

As TIV'S de maneira geral apresentaram uma variação de 30,2 a 36,8 °C no horário das 06h, variação de 31,5 à 37,1 °C no horário das 10h, variação de 32,8 à 37,8 °C no horário de 14h, variação de 33 à 37,7 °C às 18h e 31,9 à 37,4 °C às 22 h.

Para a TIVOIh não foi observado efeito para a interação tratamento x horário. Dentre todas as regiões corporais, observou-se os maiores valores de temperatura para a TIVOIh com uma variação de 36,6 a 37,8 °C ao longo do dia.

No horário das 06h a TIVORE foi semelhante entre o TEsA (35,8 °C) e TEsC (36 °C) e foi menor ($p \leq 0,05$) no TCO (35 °C). Enquanto as demais regiões corporais, TIVFro (30,9 °C), TIVCos (32,1 °C) e TIVFla (32,4 °C), foram maiores ($p \leq 0,05$) no TEsC, do que no TEsA (30,2 °C, 31,3 °C e 31,8 °C, respectivamente) e no TCO (30,3 °C, 31,1 °C e 31,5 °C, respectivamente) que não diferiram.

No horário das 10h todas as TIV'S apresentaram as médias mais elevadas ($p \leq 0,05$) no TEsC, sendo observado para a TIVORE 36,3 °C, TIVFro 32,7 °C, TIVCos 33,7 °C e TIVFla 34 °C. Médias intermediárias foram observadas no TEsA, em que, a TIVORE foi de 35,8 °C, TIVFro foi de 32,2 °C, TIVCos foi de 32,2 °C e TIVFla foi de 33,5 °C. As menores médias ($p \leq 0,05$) foram observadas no TCO sendo 35 °C para TIVORE, 31,5 °C para TIVFro, 32 °C para TIVCos e 32,3 °C para TIVFla.

Às 14h todas as TIV'S apresentaram médias semelhantes no TEsA e TEsC (TIVORE 37,2 °C e 37,2 °C; TIVFro 35,5 °C e 33,3 °C; TIVCos 35,9 °C e 35,9 °C; TIVFla 36 °C e 36,1 °C respectivamente), sendo observado nestes dois tratamentos médias mais elevadas ($p \leq 0,05$) comparadas às observadas no TCO (TIVORE 35,8 °C; TIVFro 32,8 °C; TIVCos 33 °C e TIVFla 33,4 °C).

No horário das 18h a TIVORE foi semelhante entre o TEsA (36,8 °C) e TEsC (37,2 °C) e foi menor ($p \leq 0,05$) no TCO (36,3 °C). Já as demais regiões corporais, TIVFro (34,4 °C), TIVCos (34,9 °C) e TIVFla (35,1 °C), foram maiores ($p \leq 0,05$) no TEsC, seguida pelo TEsA (33,4 °C, 34,0 °C e 34,1 °C, respectivamente) e depois pelo TCO (33,0 °C, 33,4 °C e 33,6 °C, respectivamente).

Às 22h a TIVORE (37 °C), TIVCos (33,8 °C) e TIVFla (34 °C) apresentaram as médias mais elevadas ($p \leq 0,05$) no TEsC. Enquanto no TEsA foram observadas médias intermediárias TIVORE (36,6 °C), TIVCos (33,4 °C) e TIVFla (33,5 °C) e no TCO foram observadas as menores médias ($p \leq 0,05$) TIVORE (36,1 °C), TIVCos (32,3 °C) e TIVFla (32,7 °C). Para a TIVFro no TEsA

(32,6 °C) e TEsC (33 °C) o comportamento foi semelhante, ambos diferindo apenas do TCO que apresentou a menor média ($p \leq 0,05$) (31,9 °C).

Hoffmann et al. (2021), avaliando a temperatura de superfície corporal por meio de vídeos de termografia de infravermelho em vacas leiteiras durante estresse térmico agudo, observaram média de 37 °C para a TIVOlh em temperatura ambiente de 36,5 °C. Porém, diferente do presente estudo, os autores avaliaram a parte posterior da orelha e não a parte frontal. Hoffmann et al. (2021) observaram temperatura (35,6 °C) um pouco inferior à observada no presente estudo (36,4 °C) e relataram que os pontos mais quentes da área do corpo de bovinos estariam localizados na região do olho e na parte posterior da orelha, sendo consideradas regiões importantes para avaliações de estresse térmico.

A parte frontal interna da orelha ainda não havia sido estudada até o momento e com os resultados observados neste estudo foi possível observar que a região frontal da orelha pode ser uma região de interesse para estudos sobre estresse térmico, uma vez que sua temperatura se diferenciou entre os tratamentos, mantendo temperaturas menores durante o TCO e mais elevadas durante os ambientes em que os animais foram estressados.

O efeito das duas ondas de calor, nas quais os animais foram submetidos, também foi investigado. As variáveis FR, TR, TS, TIVOlh, TIVOre, TIVFro, TIVCos e TIVFla apresentaram efeito para a interação tratamento x onda ($p \leq 0,05$).

Dessa forma o efeito da interação tratamento x onda para a FR ($p \leq 0,05$) está representado na Figura 22.

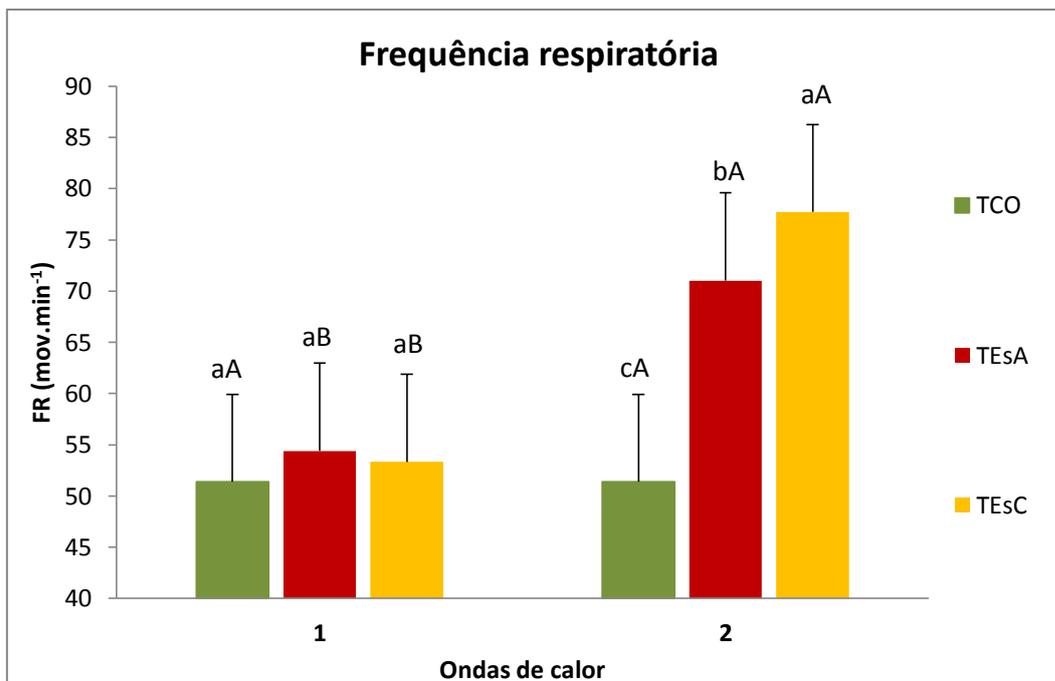


Figura 22- Médias de frequência respiratória FR para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro da onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Ao analisar as médias de FR na onda 1 foi possível observar que os animais do TCO, TEsA e TEsC apresentaram médias semelhantes com 51 mov.min^{-1} , 54 mov.min^{-1} e 53 mov.min^{-1} respectivamente, não diferindo dentro da onda 1. Já na onda 2, a média de FR mais elevada foi observada no TEsC (78 mov.min^{-1}), seguida pela FR no TEsA (71 mov.min^{-1}) e depois da FR dos animais no TCO (51 mov.min^{-1}) diferindo os três tratamentos ($p \leq 0,05$).

Na Figura 23 observa-se o efeito ($p \leq 0,05$) da interação tratamento x onda para a TR.

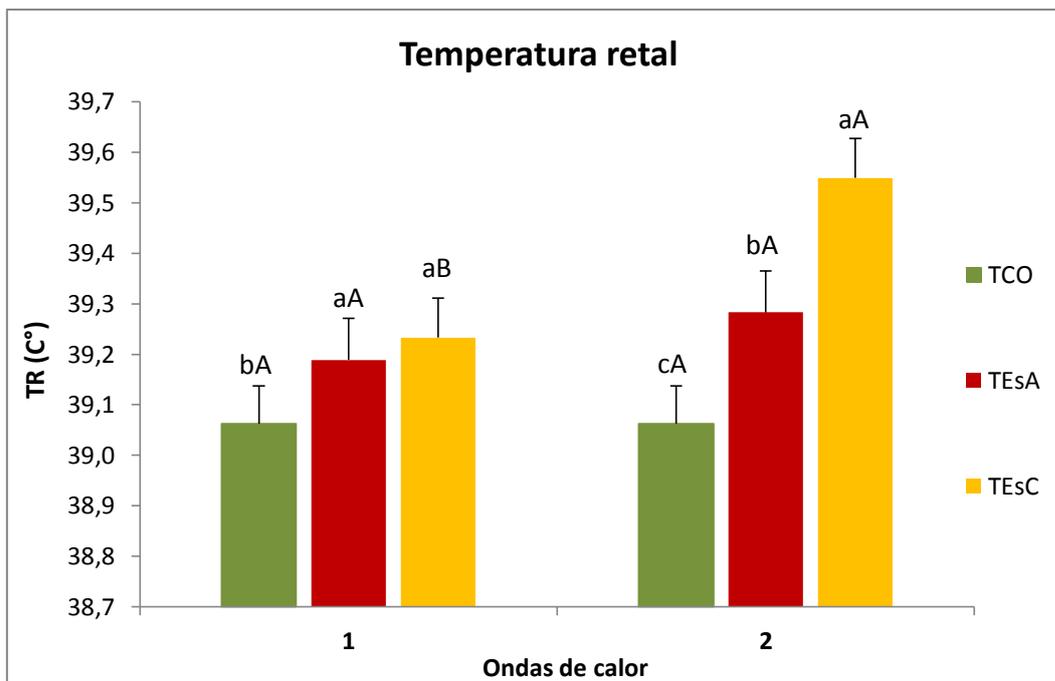


Figura 23- Médias de temperatura retal TR para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro das ondas ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Diferente do observado para a FR, a TR dos animais no TEsA e TEsC (39,2 °C) se comportaram de maneira semelhante na onda 1 e foram maiores ($p \leq 0,05$) do que a TR dos animais no TCO (39,1 °C). Já na onda 2, a TR esteve mais elevada no TEsC (39,5 °C), seguida pelo TEsA (39,3 °C) e depois pelo TCO (39,1 °C), sendo observado nesse último tratamento a TR com menor valor.

Ao comparar as duas ondas, é possível observar que na onda 2 os animais apresentaram valores mais elevados de TR durante o TEsC, demonstrando ter sido a onda mais estressante para os animais, bem como este tratamento. De fato, foi observado que a TBS esteve levemente maior na onda 2, o que poderia ter estressado um pouco mais os animais. Outra explicação pode ser pelo fato de já terem sido submetidos a uma onda de calor anterior (onda 1), ou ainda que durante o intervalo entre as ondas de calor, os animais não conseguiram se recuperar das condições de estresse térmico, já que os mesmos também estiveram expostos á ondas de calor no ambiente

aberto. Outro fato que pode ter ocorrido, foi que os 13 dias de intervalo, poderia ter sido um período insuficiente para a recuperação dos animais. Nesse ponto, pode se questionar se os mesmos não estariam sofrendo um efeito cumulativo de calor, refletido nessa TR mais elevada durante a onda 2.

O efeito ($p \leq 0,05$) da interação tratamento x onda para a TS está representado na Figura 24.

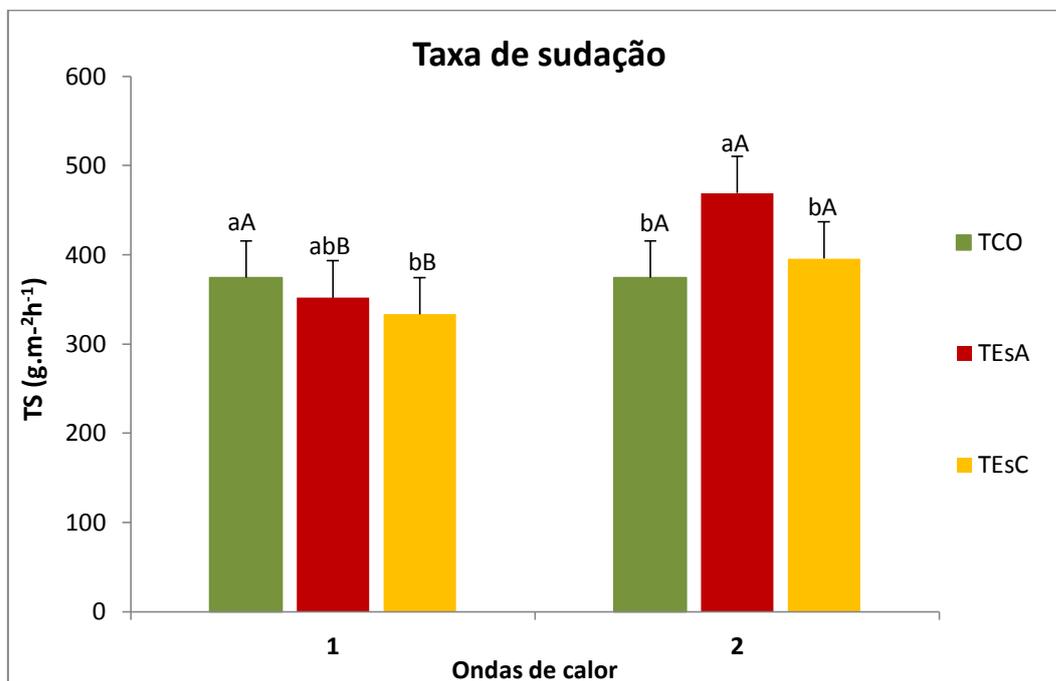


Figura 24- Médias de taxa de sudação TS para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro das ondas ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Durante a onda 1, houve uma maior ($p < 0,05$) utilização da TS no TCO ($374,68 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$) e TEsA ($351,74 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$) do que no TEsC ($333,27 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$), sendo que TCO e TEsA não diferiram. No entanto, ao observar somente a onda 2 a TS dos animais foi mais elevada ($p < 0,05$) no TEsA ($469,04 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$) do que no TCO ($374,68 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$) e TEsC ($395,68 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$), sendo que os dois últimos não diferiram. Com isso, médias mais elevadas de TS foram observadas durante a onda 2.

McManus et al. (2005) avaliando a taxa de sudação em bovinos naturalizados encontrou uma média de $269,13 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ para vacas da raça Holandesa quando expostas às 6 horas de sol, com temperatura do ar acima de $32 \text{ }^\circ\text{C}$ durante estresse agudo. O resultado encontrado por McManus et al. (2005) apresentam valores de TS abaixo do encontrado no presente estudo para a categoria de bezerras desaleitadas. Com isso, é possível supor que as bezerras desta categoria de 3 a 6 meses de idade utilizadas neste estudo recorreram mais à essa forma evaporativa para ajustar o sistema termorregulatório quando submetidas à situações de estresse por calor, já que a capacidade sudativa desses animais foi duas vezes maior do que a categoria de vacas lactantes. No entanto, é importante avançar nos estudos dessa categoria animal, uma vez que observou-se além dos animais submetidos aos TEsA e TEsC, os animais do tratamento sem estresse (TCO) também apresentaram TS mais elevadas comparadas à de vacas (dados de literatura).

Neste estudo era esperado observar médias mais elevadas de FR, TR e TS na onda 1 do que na onda 2, acreditando que haveria uma certa aclimação pelos animais ao enfrentarem a segunda onda de calor. Isso não foi constatado neste estudo, uma vez que se observou níveis elevados TR, FR e TS durante o TEsC e também níveis elevados durante essas características durante a onda 2. Essas respostas podem indicar que as bezerras não conseguiram se aclimatar durante o estresse crônico nem após a primeira onda. Esses resultados podem ter sido influenciados pelas ondas de calor que os animais enfrentaram durante o intervalo de descanso no piquete do setor gado leiteiro, o que pode ter dificultado a aclimação dos animais durante a onda 2.

Para as temperaturas de infravermelho, observou-se efeito da interação tratamento x onda ($p \leq 0,05$) para as regiões do olho (TIVOlh) (Figura 25), orelha (TIVOre) (Figura 26), frente (TIVFro) (Figura 27), costela (TIVCos) (Figura 28) e flanco TIVFla (Figura 29).

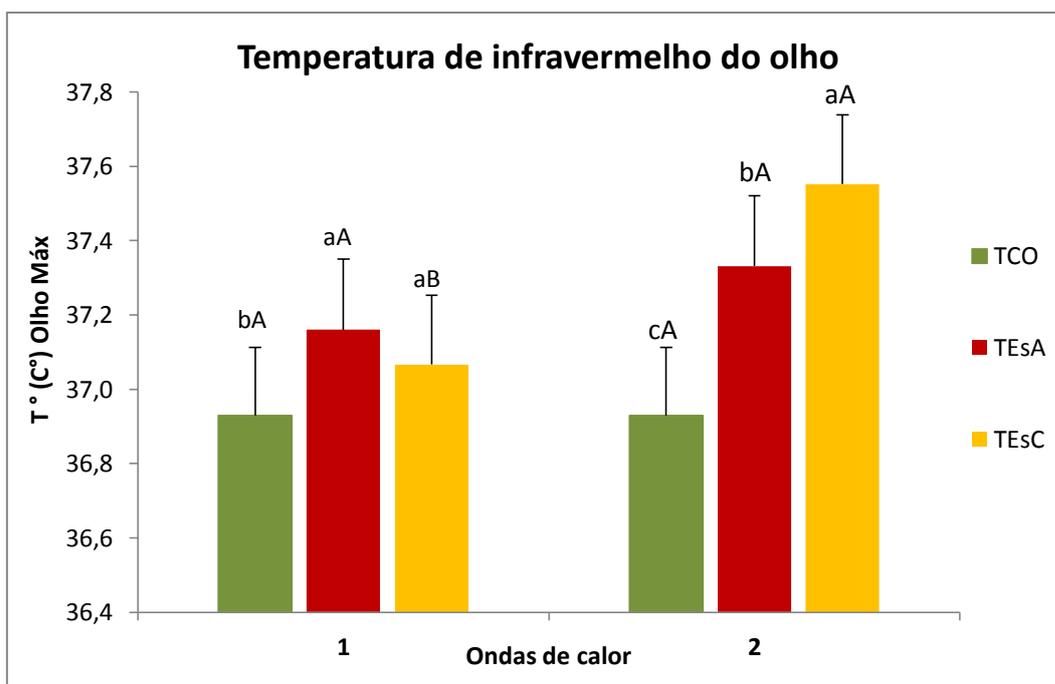


Figura 25- Médias da temperatura de infravermelho do olho (TIVOIh) para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Durante a onda 1, a TIVOIh apresentou valores semelhantes durante o TEsA (37,2 °C) e TEsC (37,1 °C) com temperaturas mais elevadas do que no TCO (36,9 °C). Durante a onda 2 a TIVOIh no TEsC (37,6 °C) foi maior ($p < 0,05$), seguida pelo TEsA (37,3 °C) e depois pelo TCO (36,9 °C). No TEsC da onda 2 a TIVOIh foi maior do que o mesmo tratamento na onda 1, sendo que para os demais tratamentos não houve diferença entre as ondas. Adicionalmente, foi observado que a TIVOIh foi o ponto anatômico que apresentou as maiores temperaturas em comparação com outros pontos anatômicos que serão discutidos a seguir.

O efeito da interação tratamento x onda para a TIVORE (temperatura de infravermelho da orelha) ($p \leq 0,05$) está representado na Figura 26.

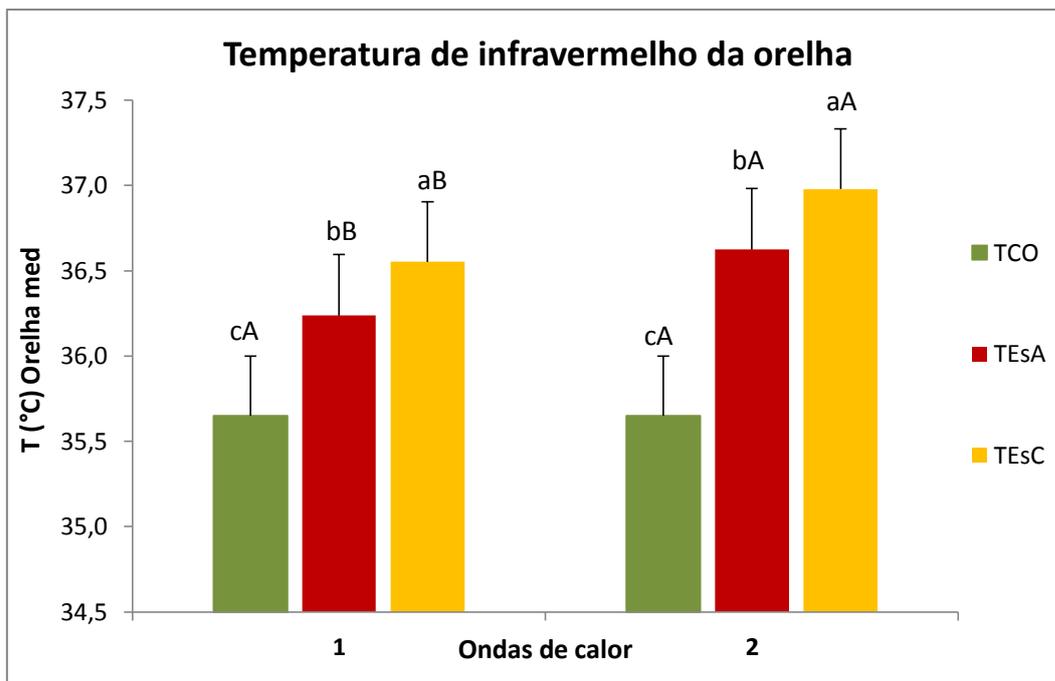


Figura 26- Médias da temperatura de infravermelho da orelha (TIV_{Ore}) para o TCO (tratamento controle), TE_{sA} (tratamento estresse agudo) e TE_{sC} (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Na onda 1, a TIV_{Ore} foi maior ($p \leq 0,05$) no TE_{sC} (36,6 °C) depois no TE_{sA} (36,2 °C) e menor no TCO (35,7 °C). Na onda 2, foi observado o mesmo comportamento, em que, no TE_{sC} verificou-se a maior média 37 °C, seguido do TE_{sA} (36,6 °C) e o TCO apresentou a menor média 35,7 °C. Portanto, a onda 2 foi mais impactante para os animais do que a onda 1, bem como o TE_{sC} mais desafiador do que o TE_{sA}.

Houve efeito da interação tratamento x onda para a TIV_{Fro} (temperatura de infravermelho da frente) ($p \leq 0,05$) e está representado na Figura 27.

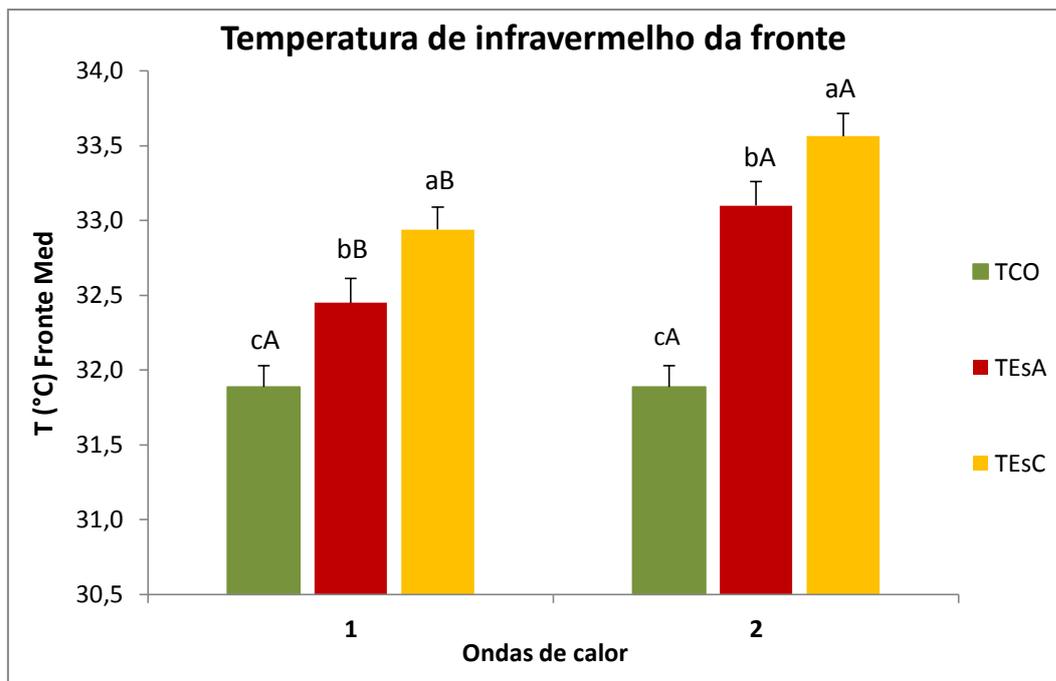


Figura 27- Médias da temperatura de infravermelho da frente (TIVFro) para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Assim como observado para a TIVOrelh, o comportamento da TIVFro foi semelhante para as duas ondas de calor. A TIVFro na onda 1 foi mais elevada ($p \leq 0,05$) no TEsC (32,9 °C) do que no TEsA (32,5 °C), seguida pelo TCO (31,9 °C). O mesmo padrão foi observado na onda 2, com a TIVFro mais elevada no TEsC (33,6 °C), seguida pelo TEsA (33,1 °C) e depois TCO (31,9 °C). Assim como observado nas TIVOIh e TIVOre, a TIVFro no TEsC foi mais elevada na onda 2.

Para a TIVCos também foi observado efeito da interação tratamento x onda ($p \leq 0,05$) (Figura 28).

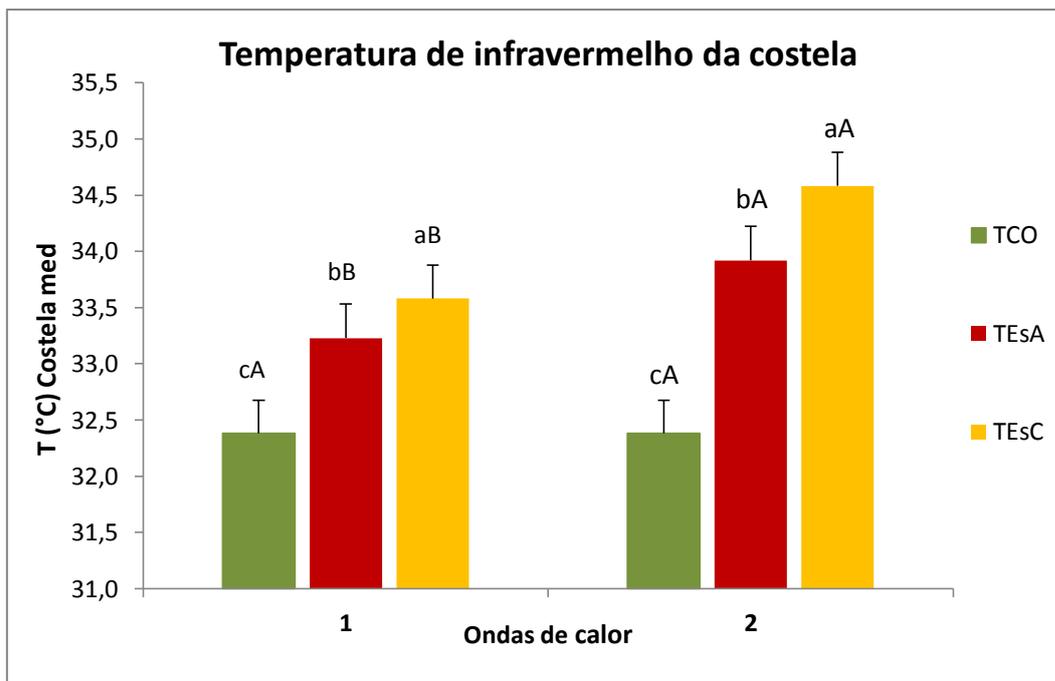


Figura 28- Médias da temperatura de infravermelho da costela (TIVCos) para o TCO (tratamento controle), TEsA (tratamento estresse agudo) e TEsC (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

O padrão de comportamento da TIVCos foi semelhante ao observar os tratamentos dentro de cada onda de calor. Sendo que, ao analisar a onda 1, foi observado que no TEsC a TIVCos foi mais elevada (33,6 °C) do que no TEsA (33,2 °C) e no TCO (32,4 °C). Na onda 2 foi observado o mesmo comportamento, sendo observada no TEsC a TIV mais elevada (34,6 °C), do que no TEsA (33,9 °C), seguida do TCO (32,4 °C). A onda 2 apresentou as maiores médias para o TEsC e TEsA em comparação com a onda 1, sendo que para os animais do TCO o mesmo não foi observado. Esse resultado reforça os resultados anteriores que indicaram ser a onda 2 a mais estressante para as bezerras.

O efeito da interação tratamento x onda para a TIVFla (temperatura de infravermelho do flanco) ($p \leq 0,05$) está representado na Figura 29.

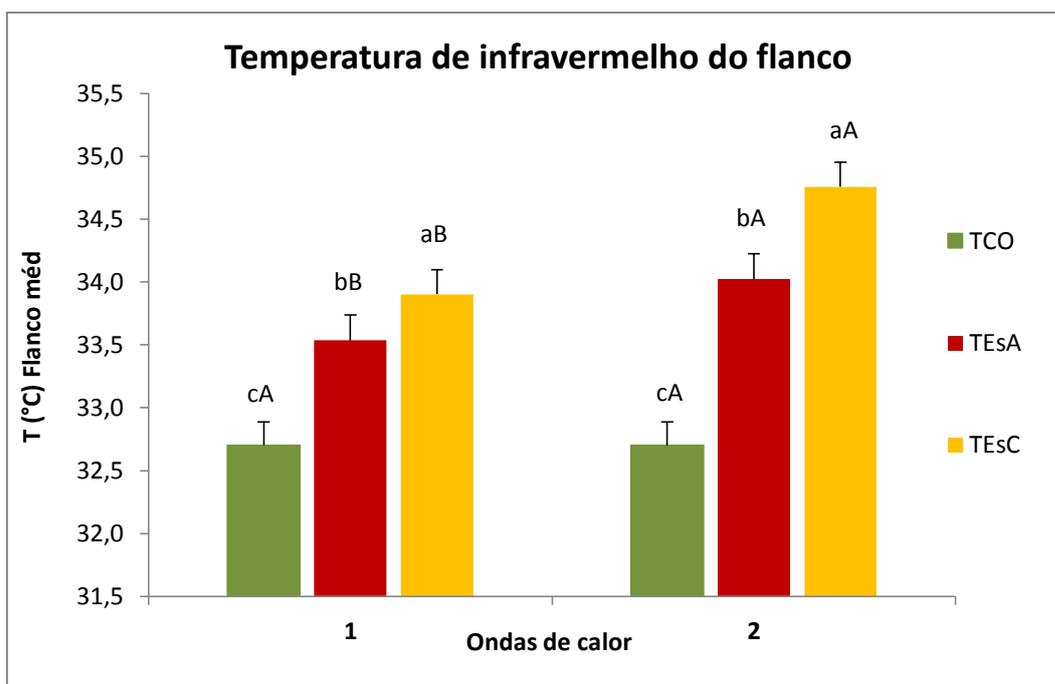


Figura 29- Médias da temperatura de infravermelho do flanco (TIVFla) para o TCO (tratamento controle), TEsa (tratamento estresse agudo) e TEsc (tratamento estresse crônico) nas ondas 1 e 2.

^{a,b,c} Letras minúsculas diferem os tratamentos dentro de cada onda ($p \leq 0,05$).

^{A,B} Letras maiúsculas diferem o mesmo tratamento entre as ondas ($p \leq 0,05$).

Na onda 1 a TIVFla se mostrou mais elevada no TEsc (33,9 °C), seguida pelo TEsa (33,5 °C) e depois pelo TCO (32,7 °C). Na onda 2, com o comportamento similar, a maior média foi observada no TEsc (34,8 °C), seguida do TEsa (34 °C) e TCO (32,7 °C). A onda 2 também apresentou médias mais elevadas quando comparada à onda 1 para os tratamentos de estresse. Sendo constatado que o TEsc e a onda 2 foram mais estressantes para os animais.

Houve efeito da interação horário x onda para a TS, TIVore, TIVfro, e TIVFla ($p \leq 0,05$) Figuras (30, 31, 32 e 33).

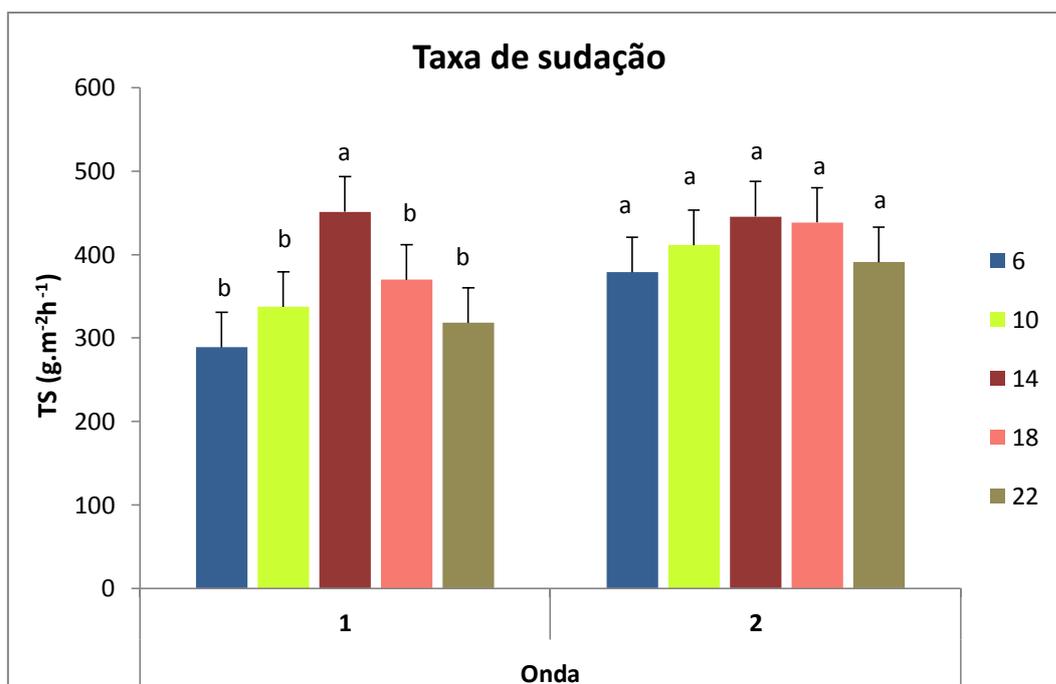


Figura 30- Médias de taxa de sudação TS para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.

^{a,b} Letras minúsculas diferem as ondas dentro dos horários ($p \leq 0,05$).

Observou-se que a TS de maneira geral foi mais elevada na onda 2. Os horários em que a TS foi mais utilizada pelos animais, seja na onda 1 ou 2, foi o horário mais quente do dia, às 14h, com a variação de 445,7 a 451,4 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. De maneira geral, em todos os horários e nas duas ondas de calor, a capacidade de sudação das bezerras desaleitadas se mostrou eficiente e alta, sendo que, em todos os resultados observados a TS foi mais elevada do que a média encontrada por McManus et al. (2005) com vacas lactantes da raça Holandesa (269,13 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$). Ferreira (2011) ressalta que outro ponto a ser analisado em relação à sudação de bovinos, é que a raça do animal deve ser considerada quando se analisa os resultados para essa variável, sendo que bovinos europeus são menos adaptados ao clima quente, podendo apresentar sudação mais elevada. Com esses resultados pode-se supor que a TS elevada das bezerras poderia ser um padrão para essa raça.

Com os resultados encontrados neste estudo, foi observado que de maneira geral a FR, TR e TS foram maiores no TEsC e onda 2, demonstrando que não foi observada a situação de aclimação nos animais, conforme submetidos a mais dias de estresse térmico. Outro ponto importante a

mencionar é que os animais nessas condições de estresse térmico, utilizaram em maior escala os mecanismos evaporativos para dissipação do calor com a maior utilização da TS, seguida da FR e mostraram também um efeito cumulativo da TR ao final do dia, sendo observado seu maior valor no final do dia. Apesar de não ter sido realizadas avaliações das respostas fisiológicas dos animais no ambiente externo (piquete de descanso), pode-se inferir que esse efeito cumulativo observado pode ter sido influenciado pela ocorrência de ondas de calor consecutivas, já que não houve um período de descanso com temperaturas mais amenas no ambiente de recuperação dos animais.

Houve efeito da interação horário x onda para a TIVore (temperatura de infravermelho da orelha) ($p \leq 0,05$) e está representado na Figura 31.

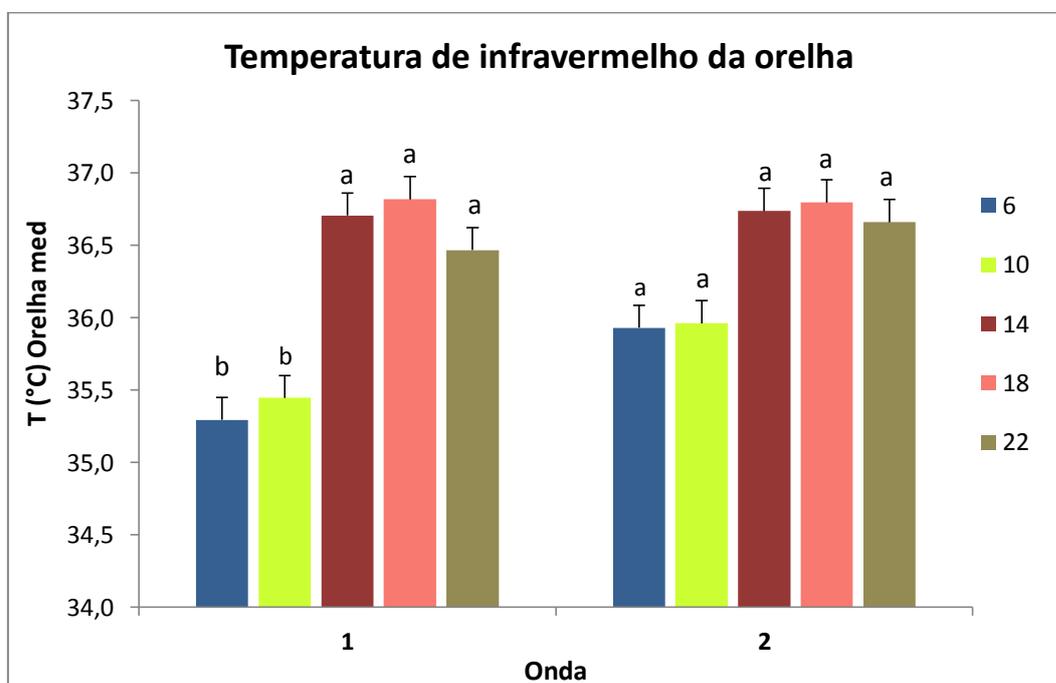


Figura 31- Médias de TIVore (temperatura de infravermelho da orelha) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.

^{a,b} Letras minúsculas diferem as ondas dentro dos horários ($p \leq 0,05$).

A TIVore dos animais foi mais elevada na onda 2 do que na onda 1 nos horários 06h e 10h ($p \leq 0,05$) com temperaturas variando em 0,6 °C mais elevadas na onda 2. Para os demais horários a TIVore manteve as temperaturas semelhantes, não diferindo entre as ondas. O horário que a

TIV_{Ore} esteve mais elevada ($p \leq 0,05$) foi às 14h (37,7 °C) e 18h (36,8 °C) mantendo as mesmas médias para as duas ondas de calor.

Houve efeito da interação horário x onda para a TIV_{Fro} ($p \leq 0,05$) (Figura 32).

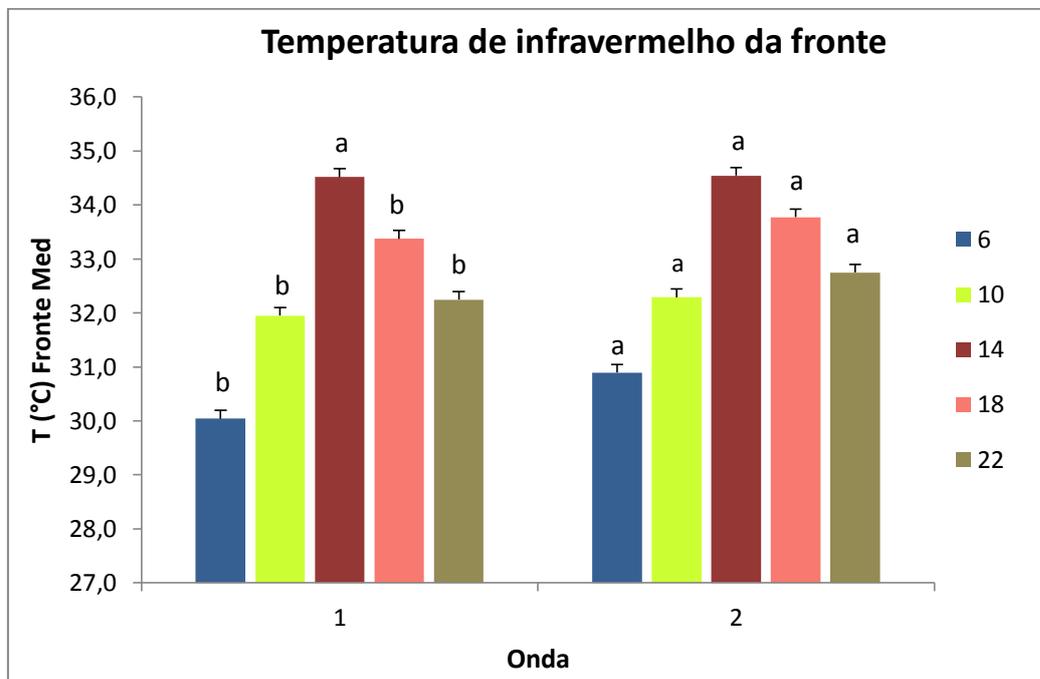


Figura 32- Médias de TIV_{Fro} (temperatura de infravermelho da frente) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.

^{a,b} Letras minúsculas diferem as ondas dentro dos horários ($p \leq 0,05$).

A TIV_{Fro} dos animais foi mais elevada na onda 2 do que na onda 1 para os horários 06h, 10h, 18h e 22h, sendo que no horário das 14h, as temperaturas foram semelhantes durante as duas ondas. Na onda 2 foi observada uma variação de 30,9 °C a 33,8 °C e na onda 1 verificou-se uma variação de 30 °C a 33,4 °C.

A interação horário x onda ($p \leq 0,05$) para a TIV_{Fla} (temperatura de infravermelho do flanco) está representada na Figura 33.

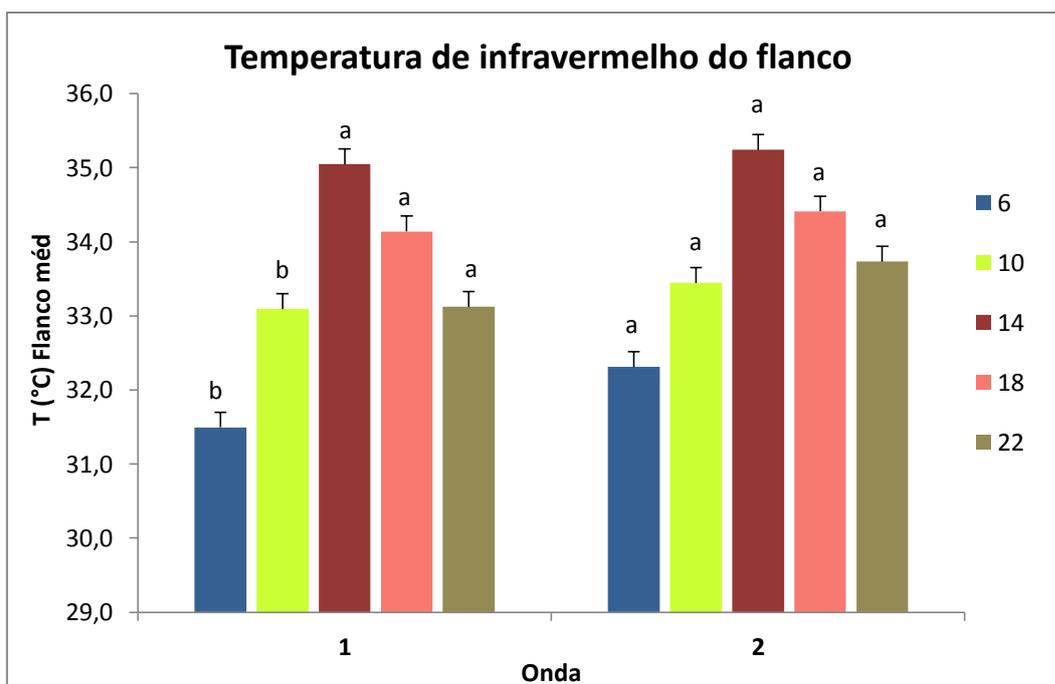


Figura 33- Médias do TIVFla (temperatura de infravermelho do flanco) para os horários 06h, 10h, 14h, 18h e 22h nas ondas 1 e 2.

^{a,b} Letras minúsculas diferem as ondas dentro dos horários ($p \leq 0,05$).

A TIVFla dos animais foi mais elevada na onda 2 do que na onda 1 somente nos horários 06h e 10h ($p \leq 0,05$) com temperaturas variando em 0,8 °C mais elevada na onda 2, no horário de 06h e 0,4 °C mais elevada na onda 2 no horário de 10h. Para os demais horários a TIVFla manteve as temperaturas semelhantes, não diferindo entre as ondas. O horário que a TIVFla esteve mais elevada ($p \leq 0,05$) foi às 14h (35,2 °C) na onda 2 e 35,2 °C na onda 1.

De maneira geral as temperaturas de infravermelho das regiões TIVFro e TIVFla apresentaram um padrão de comportamento semelhante, onde percebeu-se que a partir das 10h a temperatura de superfície corporal dos animais aumentava até atingirem as máximas às 14h e a partir daí começava a diminuir. A TIVOre apresentou um comportamento diferente, em que as temperaturas máximas se mantiveram até às 18h e só começou a diminuir a partir daí.

Ao comparar a elevação de todas as respostas fisiológicas estudadas, foi possível visualizar na interação tratamento x horário (interação mais importante para o trabalho), que durante os horários de maior estresse térmico 10h, 14h e 18h, a primeira resposta dos animais foi com a elevação da TS, esta

além de se mostrar elevada em todos os horários avaliados, apresentou um padrão de aumento a partir das 10h atingindo sua máxima sudação às 14h e a partir deste momento, houve queda gradual até às 22h. A FR apresentou comportamento semelhante à TS, aumentando a partir das 10h e diminuindo após às 14h no TEsA e TEsC. A TR apresentou um comportamento diferente, aumentando a partir das 10h e se elevando gradualmente até às 18h e depois às 22h ainda se manteve elevada no TEsA e TEsC. As temperaturas de superfície corporal TIVOlh, TIVOré, TIVFro, TIVCos e TIVFla apresentaram um padrão semelhante com elevação a partir das 10h atingindo a máxima temperatura às 14h no TEsA. Já no TEsC, a TIVOlh e TIVOré apresentaram um comportamento diferente, aumentando a partir das 10h e atingindo as máximas às 18h.

A partir dessas observações supõe-se que a TS tenha sido uma importante via de troca térmica com o ambiente, seguida das temperaturas de superfície corporal e FR simultaneamente e por último a TR, que se mostrou como uma resposta de calor acumulado. Acredita-se que os mecanismos latentes foram suficientes para proporcionar a perda de calor no TEsA e TEsC. No TEsC foi percebido um maior desconforto pelos animais. Esse mesmo comportamento foi observado na onda 2 ao se analisar o comportamento das respostas em todos os horários. A sudação dos animais foi mais exigida na onda 2 em todos os horários do que na onda 1. Bem como a FR, temperaturas de superfície corporal e TR com médias mais elevadas na onda 2.

6.3 Análise descritiva das respostas fisiológicas durante o estresse agudo

O comportamento das respostas fisiológicas FR, TR e TS durante o estresse agudo (TEsA) foi observado por meio do monitoramentos dessas variáveis nos horários das 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h, observados nas Figuras 34, 35 e 36.

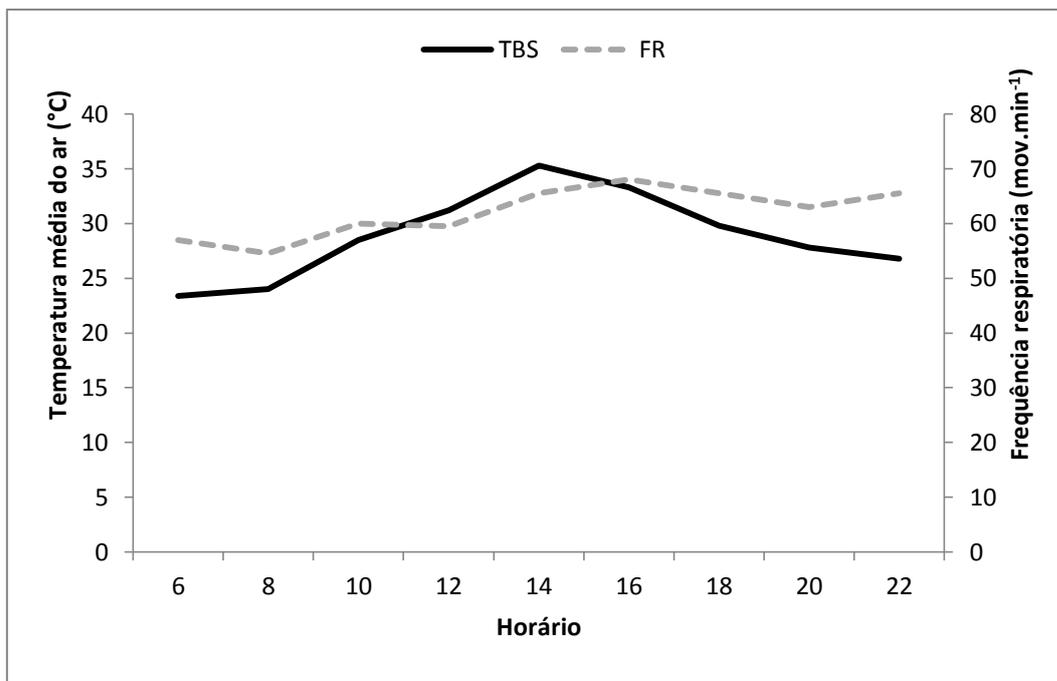


Figura 34- Médias de frequência respiratória FR para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEaA.

As médias de FR durante o TEaA variaram de 55 a 68 mov.min⁻¹. O horário que a FR esteve mais elevada foi às 16h com 68 mov.min⁻¹. Ao analisar o comportamento da FR em relação à temperatura do ar, foi possível perceber que o padrão de subida da TBS esteve associado à subida da FR a partir 12h quando a TBS estava a 31,2 °C, neste momento a FR (60 mov.min⁻¹) se elevou linearmente conforme a TBS, atingindo o pico de 68 mov.min⁻¹ às 16h.

Spain e Spiers (1996) avaliando os efeitos de altas temperaturas nas respostas termorregulatórias de bezerras observaram um aumento na FR de bezerras quando a temperatura excedeu a 26 °C. Neste estudo foi observado um comportamento de subida semelhante após essa temperatura, sendo que foi mais intenso no horário de 12h quando a TBS estava a 31,2 °C.

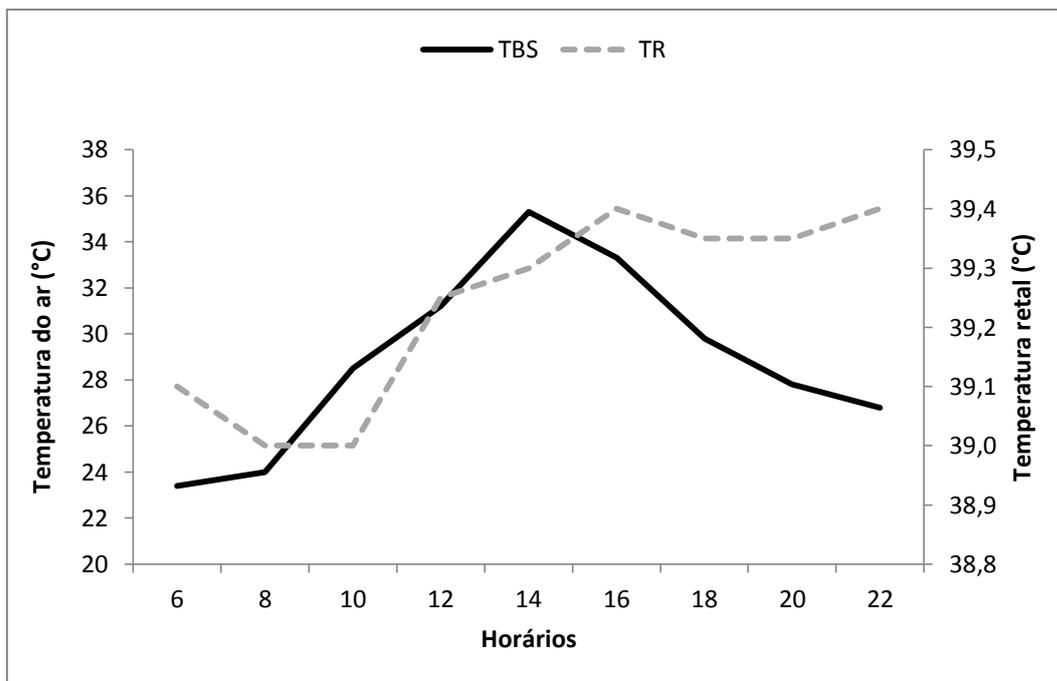


Figura 35- Médias de temperatura retal TR para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEaA.

A variação da TR no TEaA ao longo dos horários foi de 39 °C a 39,4 °C respectivamente. Theurer et al. (2014) ao avaliarem os efeitos das variáveis climáticas na termorregulação de bezerros durante períodos de calor em avaliações de 24h (estresse agudo), observaram que quando a TBS estava em 35,5 °C a TR estava em 39,6 °C, resultado que contrasta ao observado neste estudo, já que a TR neste estudo estava em 39,3 °C no horário mais quente do dia quando a TBS estava em 35,3 °C. Estes mesmos autores também encontraram uma relação positiva entre o aumento da TBS e aumento da TR, essa relação ficou evidente neste trabalho entre os horários 10h e 14h. No entanto, adicionalmente foi visto que mesmo com a queda da TBS após as 14h, a TR continuou se elevando até às 22h.

O horário que a TR esteve mais elevada foi às 22h, essa observação evidencia que essa variável apresentou um efeito cumulativo de calor, sendo que até mesmo nos horários mais quentes do dia a variável não atingiu o seu máximo, o que foi observado mais tardiamente. Isso também demonstra que nesses horários mais quentes do dia o animal com a TS e FR mais elevadas, utilizam os mecanismos latentes como principal via de dissipação de calor.

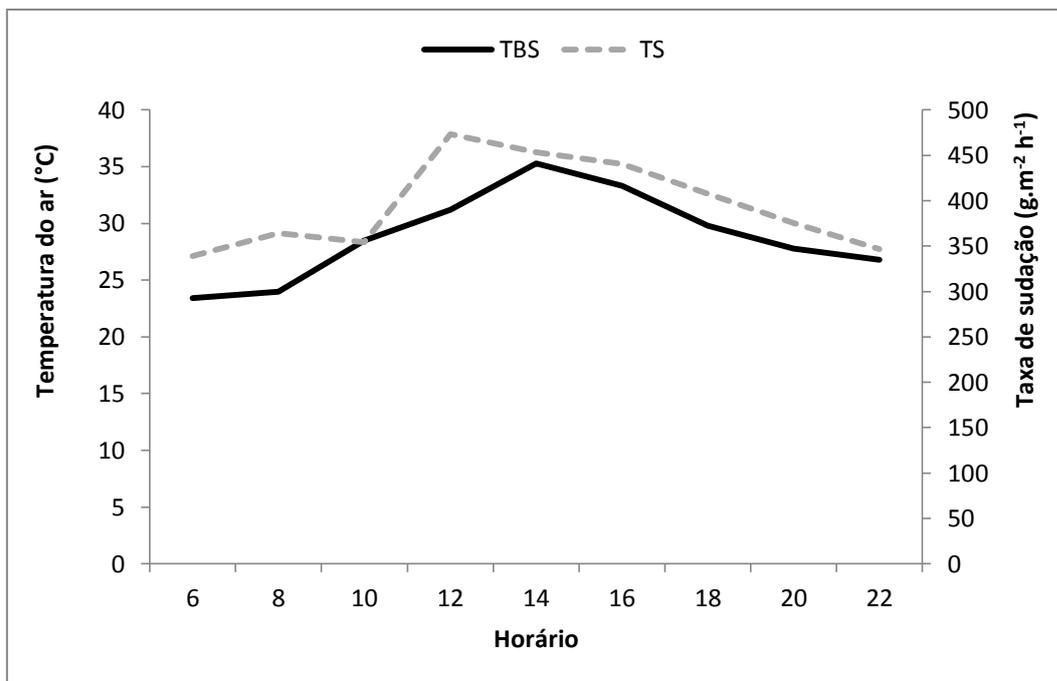


Figura 36- Médias de taxa de sudação TS para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h para o TEsA.

A TS variou de 339,0 a 473,4 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ no decorrer dos horários. Ao analisar o comportamento da TS, pôde-se notar que a partir das 10h a TS começou a se elevar acentuadamente mesmo que a TBS não estivesse no seu valor máximo, a elevação da TS se manteve constante até 12h chegando à máxima 473,4 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. A partir de 12h houve queda da TS até às 22h. Uma observação importante é que ao 12h quando a TS atingiu a máxima sudação 473,4 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ a temperatura do ar estava em 31,2 °C, enquanto no horário mais quente 35,3 °C a TS estava em 453,1 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Ao observar o comportamento da FR, TR e TS, pôde-se perceber que durante o estresse agudo primeiro os animais aumentaram a TS, depois houve elevação da FR e por último a elevação da TR.

O comportamento das TIV'S do olho, orelha, frente, costela e flanco podem ser observados na Figura 37 A, B, C, D, e E.

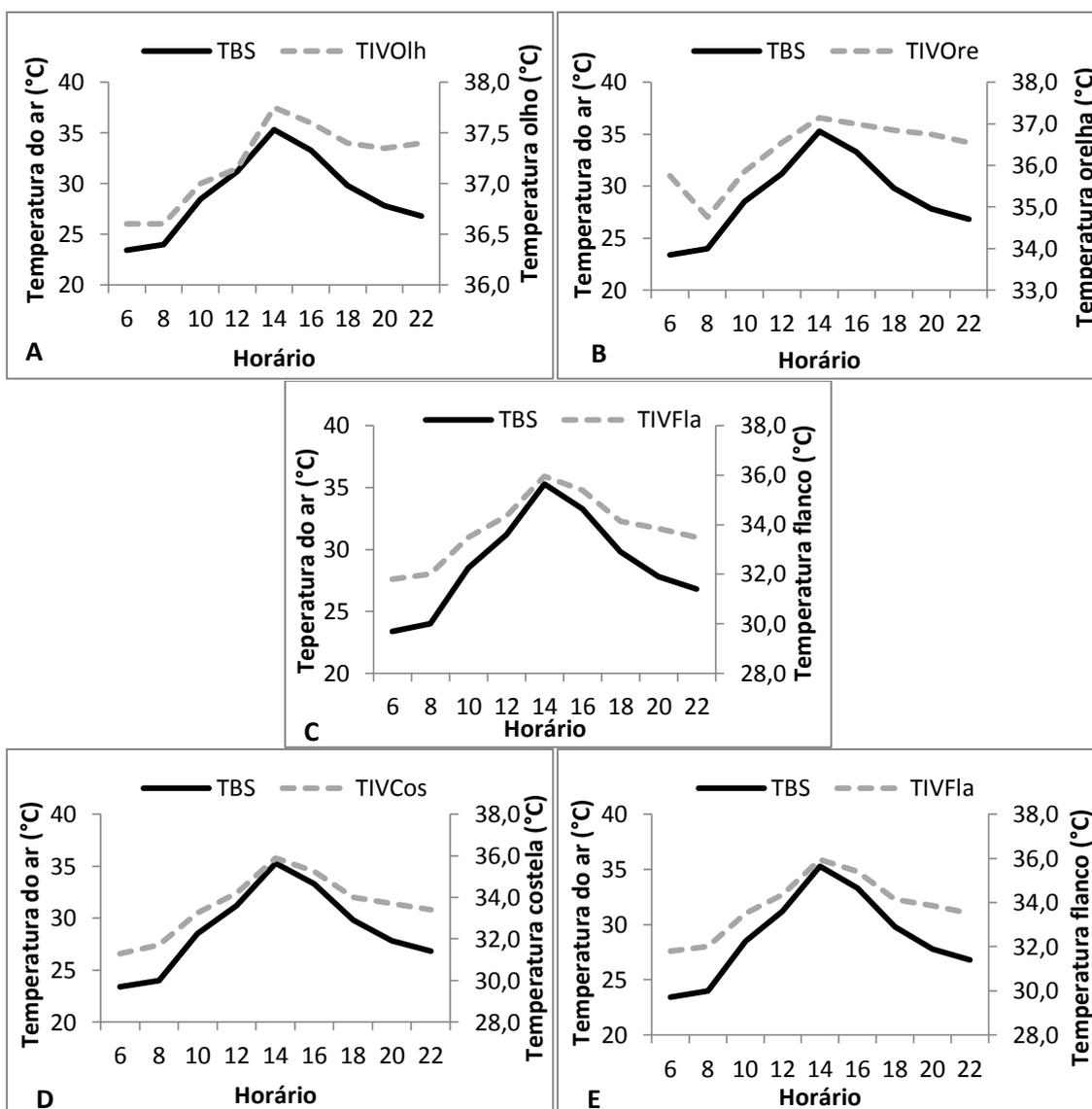


Figura 37- Médias de temperatura do olho TIVOlh (A), orelha TIVOre (B), frente TIVFro (C), costela TIVCos (D) e flanco TIVFla (E) para os horários 06h, 08h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h no TEsA.

A elevação da temperatura de superfície corporal das regiões do olho e orelha foram semelhantes, bem como foi observado uma semelhança no comportamento para das regiões da frente, costela e flanco. Para todas as TIV'S a elevação ocorreu a partir das 08h, atingindo a máxima às 14h onde foi verificado os maiores valores para TIVOlh (37,8 °C), TIVOre (37,2 °C), TIVFro (35,6 °C), TIVCos (35,9 °C) e TIVFla (36 °C). Ao comparar o comportamento da FR, TR, TS e todas as TIV'S foi observado que os animais respondiam ao estresse térmico agudo primeiramente, com elevação da TS, depois elevação

das temperaturas de superfície corporal, elevação da FR e por último a elevação da TR.

6.4 Correlações

As correlações entre as variáveis meteorológicas (TBS), (UR), (ITU), (H), variáveis fisiológicas (FR), (TR), (TS) e as temperaturas de infravermelho obtidas em TIVOIh, TIVFro, TIVOre, TIVCos e TIVFla durante o período experimental foram avaliadas utilizando todo o conjunto de dados (TCO, TEsA e TEsC e todos os horários) e apresentaram valores positivos variando de 0,22 a 0,90. Para UR observou-se uma variação negativa de $r = -0,20$ a $-0,64$ ($p < 0,0001$) (Tabela 7).

Tabela 7- Correlações entre as variáveis meteorológicas temperatura do ar (TBS), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), entalpia (H) e variáveis fisiológicas frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudoreção (TS).

Variáveis	TBS	UR	ITU	H
FR	0,36	-0,26	0,35	0,27
TR	0,27	-0,20	0,27	0,22
TS	0,34	-0,26	0,32	0,23
TIVOIh	0,53	-0,37	0,53	0,41
TIVFro	0,90	-0,64	0,88	0,65
TIVOre	0,49	-0,43	0,46	0,29
TIVCos	0,87	-0,59	0,86	0,66
TIVFla	0,87	-0,56	0,88	0,69

As termografias de infravermelho de maneira geral apresentaram as melhores correlações com as variáveis meteorológicas TBS, UR, ITU e H. Sendo observadas correlações positivas altas entre TBS com TIVFro (0,90), correlação forte entre TBS com TIVCos e TIVFla (0,87), correlação moderada entre TBS com TIVOIh (0,53), TBS com TIVOre (0,53) e correlação fraca entre TBS com FR (0,36), TBS com TS (0,34) e TBS com TR (0,27). As TIV'S pareceram ser mais sensíveis às variações da TBS quando comparadas à FR, TR e TS, provavelmente devido ao fato de que, a temperatura de superfície corporal dos animais seja a primeira resposta à elevação da TBS, com

ocorrência da vasodilatação periférica para a troca térmica com o meio, enquanto as outras respostas são observadas posteriores a esta.

Os resultados encontrados neste estudo para as correlações entre TBS e FR (0,36) e para TBS e TR (0,27) contrastam com os encontrados por Kovács et al. (2018) que estudando bezerros da raça holandesa em diferentes ambientes térmicos, encontraram correlação forte entre a TBS e FR ($r=0,78$) e moderada para a TBS e TR ($r=0,52$). Salles et al. (2016) avaliando novilhas da raça Jersey em ambiente termoneutro encontrou correlação forte para TIVFro e ITU ($r=0,81$) e correlação forte para TIVFla e ITU ($r=0,81$), corroborando a alta correlação também entrada neste trabalho para TIVFro e ITU ($r=0,88$) e TIVFla e ITU ($r=0,88$). Já para TIVOlh com ITU, o mesmo autor encontrou uma correlação moderada de 0,56, enquanto neste estudo a correlação entre TIVOlh e ITU foi semelhante ($r=0,53$).

Para a UR foram observadas correlações negativas moderadas com a TIVFron (-0,64), TIVCos (-0,59), TIVFla (-0,56) e TIVOre (-0,43). Correlações fracas entre UR com TIVOlh (-0,37), UR com FR (-0,26), UR com TS (-0,26) e UR com TR (-0,20).

Para o ITU foram observadas correlações positivas forte com a TIVFro (0,88), TIVFla (0,88), TIVCos (0,86), correlações moderadas com TIVOlh (0,53), TIVOre (0,46), correlações fracas com FR (0,35), TS (0,32) e TR (0,27). Esses resultados observados entre a correlação de ITU com TIVFro ($r=0,88$) corroboram com os obtidos por Peng et al. (2018) que ao avaliar a relação entre imagens termográficas de diferentes regiões corporais com a temperatura retal para vacas leiteiras sob diferentes situações de ITU, também encontraram uma correlação forte ($r=0,81$) para essas duas variáveis, no entanto, os resultados encontrados para a correlação de ITU com TIVOre ($r=0,61$), ITU com TIVFla ($r=0,54$) e ITU com TIVOlh ($r=0,39$) contrastam com os encontrados neste trabalho.

Para a H foram observadas correlações positivas moderadas com a TIVFla (0,69), TIVCos (0,66), TIVFro (0,65), TIVOlh (0,41), correlações fracas com a TIVOre (0,29), FR (0,27), TS (0,23) e TR (0,22). As regiões que melhor se correlacionaram com a variável H foram a TIVFla, TIVCos e TIVFron para bezerras desaleitadas.

As correlações entre as variáveis fisiológicas e as TIVS foram avaliadas por tratamento. A FR, TR e TS e as temperaturas obtidas em TIVOlh, TIVFro, TIVOre, TIVCos e TIVFla durante o período experimental para o TCO variaram de 0,07 a 0,91 (Tabela 8).

Tabela 8- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS), temperatura média de infravermelho do olho (TIVOlh), frente (TIVFro), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento controle: temperatura.

Variáveis	TCO							
	FR	TR	TS	TIVOlh	TIVFro	TIVOre	TIVCos	TIVFla
FR	-	0,31	0,38	0,34	0,14	0,42	0,21	0,07
TR		-	0,19	0,52	0,26	0,51	0,16	0,18
TS			-	0,23	0,16	0,27	0,28	0,19
TIVOlh				-	0,56	0,63	0,48	0,49
TIVFro					-	0,50	0,74	0,76
TIVOre						-	0,42	0,39
TIVCos							-	0,91
TIVFla								-

No tratamento TCO foram observadas correlações positivas variando de bem fracas a muito fortes ($p < 0,001$). Correlações bem fracas foram observadas entre FR com TIVFla (0,07), TIVFro com FR (0,14), TIVFro com TS (0,16), TIVCos com TR (0,16), TR com TS (0,19), TIVFla com TR (0,18) e TIVFla com TS (0,19). Correlações fracas foram observadas entre TIVCos com FR (0,21), TIVOlh com TS (0,23), TIVFro com TR (0,26), TIVOre com TS (0,27), TIVCos com TS (0,28), FR com TR (0,31), TIVOlh com FR (0,34) e TS com FR (0,38). Correlações moderadas foram observadas para, TIVOre com FR (0,42), TIVOre com TR (0,51) e TIVOlh com TR (0,52). As TIV'S que melhor correlacionaram com a TR foram a TIVOlho e TIVOre, enquanto a que melhor correlacionou com a FR foi a TIVOre.

Salles et al. (2016) avaliando novilhas da raça Jersey em ambiente termoneutro encontrou correlações positivas fracas para TIVFro e TR ($r=0,35$), TIVFron e FR ($r=0,36$), TIVFla e TR ($r=0,31$), TIVOlh e TR ($r=0,25$) e correlação moderada para TIVFla e FR ($r=0,43$) correlações que contrastam às encontradas neste estudo para as mesmas variáveis.

As correlações entre FR, TR e TS e as temperaturas obtidas em TIVOlh, TIVFro, TIVOre, TIVCos e TIVFla durante o período experimental para o TEsa variaram de 0,09 a 0,94 (Tabela 9).

Tabela 9- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudção (TS), temperatura média de infravermelho do olho (TIVOlh), frente (TIVFRO), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento estresse agudo (TEsa).

Variáveis	TEsa							
	FR	TR	TS	TIVOlh	TIVFro	TIVOre	TIVCos	TIVFla
FR	-	0,31	0,19	0,47	0,39	0,36	0,40	0,39
TR		-	0,09	0,49	0,27	0,35	0,27	0,28
TS			-	0,25	0,30	0,26	0,33	0,30
TIVOlh				-	0,66	0,60	0,61	0,61
TIVFro					-	0,53	0,87	0,86
TIVOre						-	0,45	0,45
TIVCos							-	0,94
TIVFla								-

No tratamento TEsa também foram observadas correlações positivas variando de bem fracas a muito fortes ($p < 0,001$). Para o tratamento TEsa as TIV'S que melhor correlacionaram com a FR e TR foi a TIVOlh. As correlações bem fracas foram observadas entre TR e TS (0,09) e FR com TS (0,19), as correlações fracas foram observadas entre FR com TR (0,31), TIVOlh com TS (0,25), TIVOre com TS (0,26), TIVFro e TIVCos com TR (0,27), TIVFla com TR (0,28), TIVFro e TIVFla com TS (0,30), TIVOre com TR (0,35), TIVOre com FR (0,36) TIVFro com FR (0,39) e TIVFla com FR (0,39). Correlações moderadas foram observadas para, TIVCos com FR (0,40), TIVOlh com FR (0,47), TIVOlh com TR (0,49).

As correlações entre FR, TR e TS e as temperaturas obtidas em TIVOlh, TIVFro, TIVOre, TIVCos e TIVFla durante o período experimental para o TEsc variaram de 0,09 a 0,94 (Tabela 10).

Tabela 10- Correlações entre frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR), taxa de sudorese (TS), temperatura média de infravermelho do olho (TIVOlh), frente (TIVFro), orelha (TIVOre), costela (TIVCos) e flanco (TIVFla) no tratamento estresse crônico (TEsC).

Variáveis	TEsC							
	FR	TR	TS	TIVOlh	TIVFro	TIVOre	TIVCos	TIVFla
FR	-	0,47	0,31	0,54	0,40	0,44	0,49	0,46
TR		-	0,14	0,57	0,33	0,43	0,43	0,41
TS			-	0,30	0,44	0,33	0,40	0,45
TIVOlh				-	0,65	0,67	0,64	0,61
TIVFro					-	0,66	0,85	0,86
TIVOre						-	0,58	0,54
TIVCos							-	0,93
TIVFla								-

Assim como nos demais tratamentos, o TEsC também apresentou correlações positivas variando de bem fraca a muito forte ($p < 0,001$). Para o tratamento TEsC as TIV'S que melhor correlacionaram com a FR e TR foram a TIVOlh TIVCos e TIVOre. Correlações bem fracas foram observadas entre TR e TS (0,14), as correlações fracas foram observadas entre TIVOlh com TS (0,30), TS com FR (0,31), TIVFro com TR (0,33) e TIVOre com TS (0,33). Correlações moderadas foram observadas para TIVFro com FR (0,40), TIVCos com TS (0,40), TIVFla com TR (0,41), TIVOre com TR (0,43), TIVCos com TR (0,43), TIVFro com TS (0,44), TIVOre com FR (0,44), TIVFla com TS (0,45), TIVFla com FR (0,46), TR com FR (0,47), TIVCos com FR (0,49), TIVOlh com FR (0,54) e TIVOlh com TR (0,57).

A correlação (r) entre FR e TR das bezerras estudadas variou conforme os tratamentos. Sendo que o TEsC apresentou a melhor correlação para FR com TR (0,47). Para essa categoria animal não foram encontrados estudos avaliando esta correlação. No entanto, para vacas leiteiras, foi encontrado uma correlação mais alta para FR e TR ($r = 0,55$) no estudo realizado por Martello et al. (2010).

Peng et al. 2018 estudando a relação entre imagens termográficas de diferentes regiões corporais com a temperatura retal para vacas leiteiras sob diferentes índices de temperatura e umidade, encontraram correlação moderada para TR com TIVOre ($r = 0,48$), resultado próximo aos encontrados neste estudo para o TCO ($r = 0,51$) e TEsC (0,43). Neste estudo a correlação

entre TR com TIVOlh no TEsC ($r=0,57$), TCO ($r=0,52$) e TEsA ($r=0,49$) foram mais elevadas do que a obtida por Peng et al. (2018) que foi $r=0,38$. O mesmo autor encontrou correlações moderadas para a TR com TIVFro ($r=0,56$), e TR com TIVFla ($r=0,45$), resultados que contrastam aos encontrados neste estudo. Onde, a correlação de TR com TIVFro no TEsC foi de $r=0,33$, no TEsA foi de $r=0,27$ e no TCO foi de $r=0,26$ portanto, correlações fracas. E para a correlação de TR com TIVFla no TEsC foi de $r=0,41$, no TEsA foi de $r=0,28$ e no TCO foi de $r=0,18$, variando de fraca a bem fraca.

As melhores correlações para TIVOlh com FR ($r=0,54$) e TIVOlh com TR ($r=0,57$) foram observadas no TEsC, esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Daltro et al. (2017) que estudando a termografia de infravermelho como método de avaliação da tolerância ao calor para vacas leiteiras encontraram correlações positivas moderadas para FR e TIVOlh ($r=0,43$) e TR e TIVOlh ($r=0,57$).

Peng et al. (2018) estudando vacas leiteiras, indicou em seu estudo que TIVfro é uma região confiável e importante a ser considerada em avaliações termográficas, já que demonstrou os melhores resultados em seu estudo. Apesar disso, de acordo com os resultados deste trabalho com bezerras desaleitadas, a TIVOlh e TIVOre demonstraram ser regiões importantes a serem consideradas em estudos relacionados a estresse térmico já que apresentou correlação positiva moderada para os 3 tratamentos avaliados (TEsC $r=0,67$), (TCO $r=0,63$) e (TEsA $r=0,60$) além dessas regiões apresentarem correlação moderada com TR e FR. Diante dos resultados obtidos por Martello et al. (2010) e Peng et al. (2018), pode-se questionar a existência de uma relação menos linear entre essas características fisiológicas para bezerras desaleitadas, quando comparada a categoria de vacas lactantes.

De maneira geral as TIV'S se mostraram mais sensíveis correlacionando melhor com as variáveis climáticas, índice de conforto térmico e entalpia do que com as variáveis fisiológicas. A TBS se correlacionou melhor com a TIVFro ($r=0,90$), o ITU se correlacionou melhor com a TIVFro ($r=0,88$), TIVFla ($r=0,88$) e TIVCos ($r=0,86$). Já a entalpia se correlacionou melhor com a TIVFla ($r=0,69$), TIVCos ($r=0,66$) e TIVFro ($r=0,65$).

As TIV'S que expressaram maiores correlações com as variáveis fisiológicas TR no TCO foram a TIVOlh ($r=0,52$) e TIVOre ($r=0,51$), no TEsA foi

a TIVOIh ($r=0,49$) e no TEsC foram a TIVOIh ($r=0,57$) e TIVORE ($r=0,43$). E para a FR as TIV'S que melhor se correlacionaram no TCO foi a TIVORE ($r=0,42$), no TEsA foi a TIVOIh ($r=0,47$) e no TEsC foram a TIVOIh ($r=0,54$) e TIVORE ($r=0,44$).

6.5 Classificação de limiares de estresse térmico

Foi elaborada uma proposta para servir de base para a classificação de limiares de estresse térmico, baseando nos resultados obtidos durante o período experimental. Esses limiares podem servir para fundamentar a observação de respostas fisiológicas de animais conforme às condições climáticas do ambiente em que os mesmos estão inseridos, servindo de base principalmente para ambientes controlados, como no caso de câmaras climáticas ou instalações fechadas.

A classificação proposta é baseada na condição de temperatura do ar, índice de temperatura e umidade e a entalpia que o ambiente experimental se encontrava. Os valores observados para as respostas de frequência respiratória, temperatura retal e taxa de sudação são advindos das bezerras desaleitadas da raça Holandesa estudadas neste trabalho, podendo servir de referências para outros estudos com essa raça, categoria animal e com essas condições climáticas.

Com os resultados obtidos foi possível observar variações nas respostas fisiológicas dos animais conforme a temperatura do ambiente, índice de temperatura e umidade ou a entalpia se alterava. As variações podem ser observadas na Tabela 11.

Tabela 11- Variações das respostas fisiológicas de bezerras desaleitadas da raça Holanda sob condições de estresse térmico advindas de ondas de calor em ambiente controlado.

TBS (°C)	ITU	H (kJ kg ⁻¹)	FR (mov.min ⁻¹)	TR (°C)	TS (g.m ⁻² h ⁻¹)
24 a 25 °C	71 a 73	56 a 61	48 a 59	38,9 a 39,2	295 a 371
26 a 29 °C	74 a 78	61 a 67	51 a 61	38,9 a 39,2	351 a 408
29 a 31 °C	79 a 81	67 a 70	53 a 67	39,2 a 39,4	386 a 440
31 a 36 °C	82 a 84	71 a 73	53 a 74	39,2 a 39,5	441 a 460

Temperatura do ar (TBS); Índice de temperatura e umidade (ITU); Entalpia (H); Frequência respiratória (FR); Temperatura retal (TR); Taxa de sudoreção (TS).

Baêta e Souza (2010) consideram como TCS a temperatura de 26 °C, ou seja, quando bezerros jovens estão em condições ambientais, cuja temperatura ambiente ultrapassa esse valor, é um indicativo de que os animais começariam a sofrer com estresse térmico. Neste estudo, foi observado que antes mesmo de ultrapassar a TCS de 26 °C, os animais provavelmente já estariam sofrendo pelo estresse térmico dentro do limiar de 24 a 25 °C, já que a FR estava fora da faixa considerada ideal, conforme Reece (2006) que considera para bezerros com até um ano de idade, a faixa normal de FR entre 21 a 25 mov.min⁻¹. No presente estudo foi observado que a variação da FR dentro dos limiares de 24 a 25 °C as bezerras apresentaram FR entre 48 a 59 mov.min⁻¹.

Ao analisar o comportamento da TR dentro desses limiares de temperatura do ar foi observado que esteve dentro da faixa considerada ideal conforme Robinson (1999), Dukes (1996) e Robertshaw (2006) que consideram valores normais a variação entre 38,0 a 39,3 °C para bezerros. Sendo assim, apenas a TR não estaria se elevando nessas condições de temperatura. Ainda sobre a TR, foi observado que somente após a temperatura ambiente de 29 °C que ela se elevou, bem como quando o ITU estava em 79 ou ultrapassou este valor, a elevação da TR só foi observada também quando a entalpia estava entre 67 e 70 kJ kg⁻¹.

Barbosa Filho et al. (2007) e Araujo (2001) consideram o valor de entalpia $67,4 \text{ KJ Kg}^{-1}$ desconfortante para bovinos, baseando no valor crítico da temperatura de bulbo seco quando se encontrava em $26 \text{ }^\circ\text{C}$ e do valor crítico da umidade relativa do ar quando estava em 70%, então, conforme este valor foi observado neste estudo, que para categoria de bezerras desaleitadas o comportamento foi semelhante já demonstrando desconforto para os animais a partir de $26 \text{ }^\circ\text{C}$.

Até onde se buscou na literatura não foram encontrados uma classificação de ITU específica para bezerros desaleitados, com isso, os autores de trabalhos com este índice têm utilizado a classificação usada para bovinos adultos em seus estudos com bezerros. Para a discussão deste trabalho foi considerada a classificação proposta por Pires e Campos (2004), que para vacas leiteiras, classificam da seguinte forma: resultados menor ou igual a 70: normal – animais na faixa de temperatura e umidade ideal; entre 70 e 72: alerta – condições climáticas no limite; entre 72 e 78: alerta – desempenho comprometido; 78 a 82: perigo – o animal está com todas as funções orgânicas comprometidas; e acima de 82: emergência – é preciso tomar providências urgente. Sendo assim, essa classificação foi comparada com os resultados obtidos para a categoria de bezerras, em que foi observado que, os limiares entre 82 a 84 para o ITU, seria o mais crítico para as bezerras, já que nessas condições todas as respostas fisiológicas estariam sendo utilizadas como mecanismos de dissipação de calor com valores mais elevados.

Para a variável TS, também não foram encontrados valores referenciais ideais para a categoria de bezerras e nem para a categorias de bovinos. Com isso, os resultados observados neste estudo foram comparados com a média encontrada por McManus et al. (2005) que avaliou a taxa de sudação em bovinos naturalizados de raça Holandesa e encontrou uma média de TS de $269,13 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$.

Ao comparar essa média com os resultados obtidos neste trabalho foi possível perceber que a capacidade sudativa de bezerras pareceu ser maior do que a observada para animais adultos, já que as médias observadas foram mais elevadas do que a média encontrada por McManus et al. (2005). A elevação da TS começou a partir de 24° a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ com 295 a $371 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Tal

resposta sugere que os animais sob essas condições de temperatura do ar já estariam utilizando de maneira eficiente suas vias evaporativas de dissipação de calor, principalmente por meio da sudorese.

É importante ressaltar que essa proposta de classificação, pode servir de base para comparações com outros estudos ou ainda para o refinamento da mesma. Deve-se lembrar de que existem outros fatores a serem considerados para uma classificação adequada, como categoria de vida, raça, peso do animal e a individualidade animal, quanto ao seu genótipo, fenótipo e características morfológicas do pelame.

6.6 Respostas comportamentais

Em razão das coletas de dados fisiológicos, a avaliação do comportamento das bezerras foi realizada em períodos de aproximadamente 2h em cada período (manhã, tarde e noite), de modo que não haveria interferência humana na avaliação dos comportamentos. O comportamento dos animais estudados nos períodos da manhã, tarde e noite podem ser observado pelas figuras 38, 39 e 40, respectivamente.

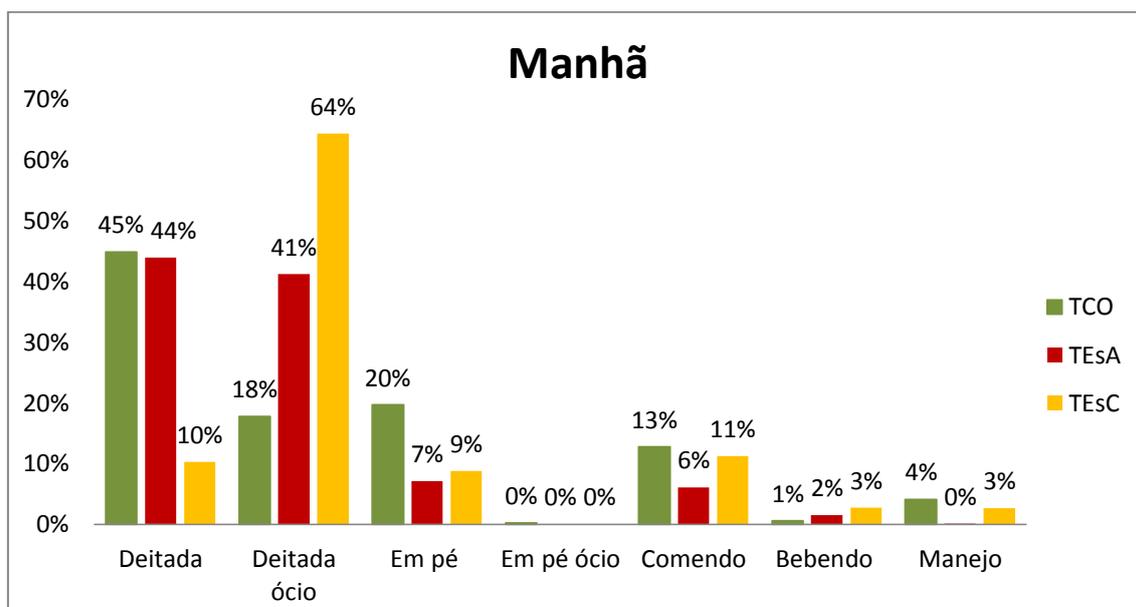


Figura 38- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsA (temperatura estresse agudo) e TEsC (temperatura estresse crônico) durante o período da manhã (05h, 09h e 11h).

O comportamento dos animais durante o período da manhã variou entre os tratamentos avaliados. Foi observado que as bezerras passaram a maior parte do tempo deitadas nos tratamentos TCO (45%) e TEaA (44%), enquanto no TEcC as bezerras passaram mais tempo deitadas em ócio (64%). O comportamento em pé foi mais persistente no TCO (20%) do que no TEaA (7%) e TEcC (9%). O comportamento comendo também foi maior no TCO (13%) quando comparado ao TEcC (11%) e o TEaA (6%). O comportamento bebendo foi mais elevado no TEcC (3%) do que no TEaA (2%) e TCO (1%).

O comportamento deitado e deitado em ócio foram os mais observados neste período, tal observação pode ter ocorrido com mais frequência devido às temperaturas mais amenas no período da manhã principalmente no TCO.

O comportamento comendo foi menor no TEcC e TEaA do que no TCO, em contrapartida, o comportamento bebendo no TEcC e TEaA foi mais alto, possivelmente devido às temperaturas mais elevadas principalmente após às 10h, fazendo com que os animais nesses tratamentos diminuíssem a ingestão de alimentos e aumentassem o consumo de água. Segundo Meyer et al. (2006) os bovinos em situações de estresse térmico, geralmente aumentam a ingestão de água e conforme Ratnakaran et al. (2017) ocorre a diminuição da frequência de alimentação. Paranhos da Costa, (2000) relata que o comportamento em ócio é aumentado em condições de estresse térmico.

A elevação do tempo em ócio, como observado no TEcC e TEaA neste estudo é um indicativo de que os animais podem estar estressados, fazendo com que fiquem o mais quieto possível evitando o aumento do incremento calórico.

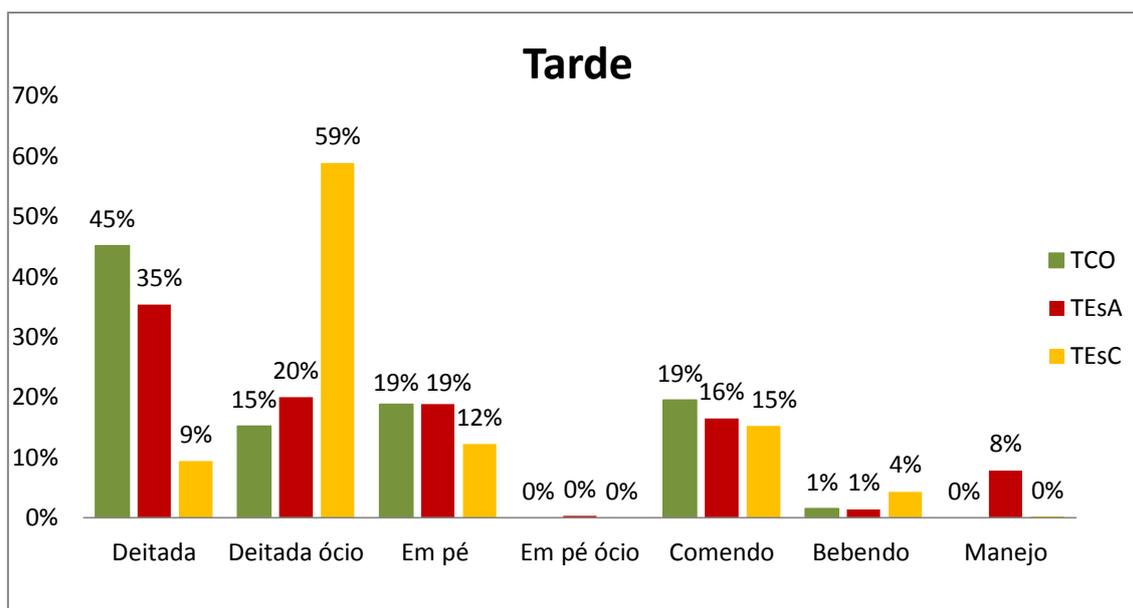


Figura 39- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsa (temperatura estresse agudo) e TEsc (temperatura estresse crônico) durante o período da tarde (13h e 17h).

O comportamento no período da tarde variou mais do que no período da manhã. Por ser o período mais quente do dia, os animais apresentaram uma elevação do comportamento em pé no TEsa (19%) e TEsc (12%) em comparação ao período da manhã que foi de (7%) no TEsa e (9%) no TEsc. De acordo com Tripon et al. (2013) nos horários mais quentes do dia os animais tendem a aumentar os padrões usuais de postura em pé e para Pereira et al. (2019) esse aumento ocorre devido a tentativa do animal em proporcionar maior área de superfície corporal disponível para o processo de dissipação de calor com o meio.

As frequências dos comportamentos deitado e deitado em ócio foram similares ao período da manhã para o TCO permanecendo em 45% de tempo deitada nos dois períodos e o comportamento para este mesmo tratamento diminuiu apenas em 3% no período da tarde. Enquanto para o TEsa e TEsc houve diminuição desses comportamentos no período da tarde. Neste período também foi possível observar que o comportamento bebendo se elevou no TEsc. O aumento do comportamento bebendo também foi encontrado por Tripon et al. (2013) que ao avaliarem o efeito de variações sazonais no comportamento de bezerros da raça Holandesa de 6 meses de idade,

perceberam um aumento significativo do comportamento bebendo, em que os bezerros aumentaram de 11,9 min o tempo de beber água durante o inverno, para 26,9 min durante o verão. O aumento desse comportamento verificado neste trabalho no período da tarde pode ser um indicativo de que os animais nesse tratamento estariam com as necessidades hídricas elevadas para o arrefecimento do corpo em situação de estresse térmico advindas do TEsA e TEsC.

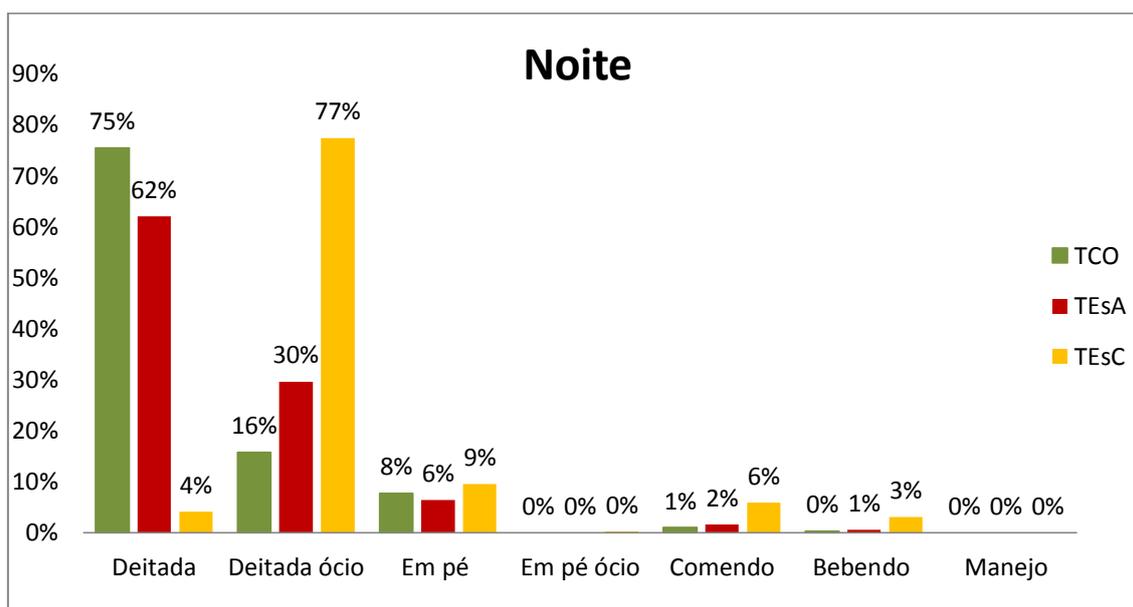


Figura 40- Frequência de comportamentos observados nos tratamentos TCO (temperatura ambiente), TEsA (temperatura estresse agudo) e TEsC (temperatura estresse crônico) durante o período da tarde (13h e 17h).

No período da noite (Figura 40) foi observada uma elevação considerável para os comportamentos deitada e deitada em ócio, sendo que o comportamento deitada foi maior no TCO (75%) e TEsA (62%) em comparação ao TEsC, o qual foi menor (4%). Em contrapartida no TEsC foi observado a maior frequência do comportamento deitada ócio (77%), indicando que além de deitadas as bezerras também permaneciam sem atividade aparente, sendo possível inferir que o aumento desses comportamentos no período noturno são principalmente fisiológicos, já que os bovinos tem o hábito de descanso neste período. Além disso, outros fatores podem influenciar no aumento desses comportamentos como, por exemplo, as condições de estresse térmico

induzidas nestes tratamentos que podem ter influenciado no aumento desses comportamentos, além da diminuição da frequência do comportamento comendo que foi menor no menor período noturno. Essas observações corroboram com os resultados encontrados por Vilela et al. (2013) que estudando o comportamento de vacas Holandesas identificaram maior permanência dos animais em postura deitada e ócio após às 20h no período noturno. De acordo com Camargo (1998), os animais quando se encontram em uma instalação, sem recursos para manter o conforto térmico, permanecem deitadas e passam a maior parte do tempo em ócio.

O comportamento em pé ócio não foi identificado nos 3 períodos avaliados (manhã, tarde e noite), permanecendo em 0%. Uma observação importante deve ser ressaltada neste estudo, é de que o tempo dispendido para o comportamento deitado se manteve elevado nos 3 períodos estudados principalmente no TCO e TEsA que apresentaram as maiores taxas. Esse comportamento está relacionado com a ruminação dos animais, e apesar desta informação não ter sido medida no trabalho pode ter interferido neste resultado já que os bovinos tem a preferência de ruminarem deitados a maior parte do tempo. De acordo com Marques et al. (2008) existe uma forte relação entre o animal deitado e a ruminação, sendo que 90,7% da ruminação ocorre com o animal deitado.

Outro ponto importante a ser discutido é de que, diferente dos animais a campo, os animais deste estudo estavam em ambiente controlado e as condições de deslocamento dentro da instalação era limitada, diferente do comportamento de animais a campo os quais foram comparados durante a discussão do trabalho. Os animais mantidos em ambientes controlados e com condições limitadas de deslocamento, parecem responder de maneira diferente dos animais mantidos a campo, podendo ter seu comportamento alterado conforme as condições disponibilizadas para estes animais.

Era esperado que no período mais quente do dia, os animais permanecessem mais tempo em pé do que a taxa verificada, e esse aumento pode não ter ocorrido devido à disponibilização da cama de feno, para os animais deitarem, a qual era mantida limpa e trocada semanalmente, os animais pareciam se sentir mais confortáveis deitado do que na postura em pé.

7 CONCLUSÕES GERAIS

As bezerras estudadas apresentaram um desconforto maior durante o estresse crônico do que no estresse agudo. As duas ondas de calor enfrentadas pelos animais foram desconfortantes, sendo que a onda 2 foi mais desafiadora e impactante. Com a elevação gradual da temperatura foi possível inferir sobre a ordem de atuação das variáveis fisiológicas, observando que a principal forma de termorregulação utilizada foi a taxa de sudação, seguida da elevação da temperatura de superfície corporal e simultaneamente a frequência respiratória e por último a elevação da temperatura retal.

A temperatura retal mostrou um efeito cumulativo de calor no animal ao longo do dia se estendendo até a noite. A capacidade sudativa de bezerras com idade de 3 a 6 meses se mostrou efetiva durante as condições de estresse térmico. As temperaturas de superfície corporal registradas por meio da termografia de infravermelho forneceram informações sobre o padrão de temperaturas para essa categoria animal, além de identificar pontos anatômicos promissores para avaliação do estresse térmico. A TIV da orelha apresentou boa correlação com a frequência respiratória e temperatura retal e apresentou temperaturas mais próximas com a TIV da região ocular, bem como boa correlação com a mesma.

Os limiares do índice de temperatura e umidade e entalpia encontrados na literatura para bovinos leiteiros não pareceram ser aplicáveis para a categoria de bezerros, visto que as repostas fisiológicas de frequência respiratória e taxa de sudação observadas neste estudo se mostraram elevadas antes da temperatura de 26 °C.

O comportamento dos animais em ambiente controlado e com limitação de deslocamento se mostrou diferente dos comportamentos encontrados na literatura para animais a campo. O comportamento em pé se mostrou reduzido em todos os tratamentos. O comportamento deitado foi mais evidente nos tratamentos controle e estresse agudo, enquanto o comportamento deitado em ócio foi mais evidente no tratamento estresse crônico.

Os ajustes fisiológicos de dissipação de calor através do mecanismo latente foi a principal via utilizada pelos animais para a perda de calor com o meio.

8 IMPLICAÇÕES

Este trabalho teve como proposta buscar informações sobre as respostas fisiológicas de bezerras desaleitadas da raça Holandesa submetidas à ondas de calor para avaliação do estresse agudo e crônico.

O intervalo de 13 dias entre as duas ondas calor não foi suficiente para a recuperação dos animais, uma vez que, durante este período os animais enfrentaram ondas de calor a campo. Tal fato pode ter influenciado no efeito cumulativo de calor o que demonstrou um desgaste energético maior para a termorregulação dos animais durante o estresse crônico e onda 2. Diante disso, são necessários mais estudos avaliando intervalos diferentes do que 13 dias entre ondas de calor, bem como proporcionar condições controladas durante o intervalo, com temperaturas mais amenas para que os animais possam descansar e recuperar antes de enfrentarem outras ondas de calor.

São necessárias investigações adicionais acerca de respostas hormonais durante as condições de estresse agudo e crônico para um melhor entendimento da relação das respostas fisiológicas e comportamentais com as hormonais.

Com este estudo foi possível elaborar um limiar de classificação de estresse térmico que poderá servir de base para outras pesquisas relacionadas com bezerras da raça Holandesa de idade de 3 a 6 meses.

Para os produtores rurais de regiões de clima tropical e temperado, regiões sujeitas à ocorrência de ondas de calor, recomenda-se que durante essas situações sejam adotadas estratégias capazes de minimizar o desconforto térmico dos animais, como a disponibilização de sombreamento natural (árvores, cerca viva) ou artificial (sombrites) para ambientes abertos (piquetes). E para ambientes fechados (galpões, salas de ondenha e etc.), sugere-se a climatização do ambiente por meio da instalação de ventiladores e aspersores ou nebulizadores. Além do fornecimento de água em quantidade e qualidade satisfatória para os animais. Essas estratégias irão facilitar o arrefecimento dos animais e diminuir as perdas produtivas para o sistema de produção.

9 REFERÊNCIAS

- AIURA, A. L. O.; AIURA, F. S.; SILVA, R. G. Respostas termorreguladoras de cabras Saanen e Pardo Alpina em ambiente tropical. **Archivos de Zootecnia**, vol.59, n.228, p.605-608, 2010.
- ALMEIDA, G.L.P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S.B.; PEREIRA, D.F.; GUISELINI, C.; De ALMEIDA, G.A. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17 p.892-899. 2013.
- ALMEIDA, G.L.P.de.; PANDORFI, H.; BAPTISTA, F.; GUISELINI, C.; BARNABÉ, J.M.C. Eficiência térmica de abrigos individuais para bezerras Girolando em regiões semi-áridas brasileiras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.1, p.1-10, 2016.
- ALVES, M. P. A. Ondas de frio inverniais em Santa Catarina e suas relações com as variabilidades climáticas de baixa frequência. Dissertação (mestrado em geografia). Florianópolis, 2016.
- AMAKIRI, S.F.; MORDI, R. The rate of cutaneous evaporation in some tropical and temperate breeds of cattle in Nigeria. **Journal of Animal Production**, v.20, p.63-68, 1975.
- ANSELL, R.H. Extreme heat stress in dairy cattle and its alleviation: a case report. In: CLARK, J.A. (Ed.), **Environmental Aspects of Housing for Animal Protection**., London, United Kingdom: Butterworths, 1981, p.285-306.
- ARAUJO, A. P. **Estudo Comparativo de diferentes sistemas de instalações para produção de leite tipo b, com ênfase nos índices de conforto térmico e na caracterização econômica**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 94p. 2001.
- ARIAS, R.A.; MADER, T.L.; ESCOBAR, P.C. Climatic factors affecting cattle performance in dairy and beef farms. **Archivos de Medicina Veterinária**, v.40, p.7-22, 2008.
- ARMSTRONG, D. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v.77, n.7, p.2044–2050, 1994.
- AZEVEDO, D.M.M.R.; ALVES, A.A.; FEITOSA, F.S.; MAGALHÃES, J.A.; MACHADO, C.H.M. Adaptabilidade de bovinos da raça Pé-Duro às condições climáticas do semiárido do estado do Piauí. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.57, n.1, p.513-523, 2008.
- BACCARI JÚNIOR, F.; GONÇALVES, H.C.; MUNIZ, L.M.R. Milk production, serum concentrations of thyroxine and some physiological responses of Saanen-Native goats during thermal stress. **Revista Veterinaria y Zootecnia**, v.8, p.9-14, 1996.

BACCARI JÚNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: UEL, 2001. 142p.

DUKES, H.H. **Fisiologia dos animais domésticos**. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: Ed.UFV (Universidade Federal de Viçosa), 2010. 269p.

BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA, F.M.C.; GARCIA, D.B.; SILVA, M.A.N.E.; SILVA, I.J.O. **Mudanças e uso das tabelas de entalpia**. Piracicaba. 2007. Disponível <<http://www.nupea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 30 Julho. 2021.

BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.de; GUISELINI, C.; JACOB, A.L. Temperatura superficial de materiais utilizados para cobertura individual de bezerreiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.5, p.545–550, 2014.

BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G.L.P.de; GUISELINI, C.; JACOB, A.L. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.481- 488, 2015.

BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; BAUMGARD, L.H.; RHOADS, R.P.; RONCHI, B.E.; NARDONE, A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v.4, n.7, p.1167–1183, 2010.

BERRY, R.B.; BUDHIRAJA, R.; GOTTLIEB, D.J.; GOZAL, D.; IBER, C.; KAPUR, V.K.; MARCUS, C.L.; MEHRA, R.; PARTHASARATHY, S.; QUAN, S.F.; REDLINE, S. Rules for scoring respiratory events in sleep: update of the 2007 AASM manual for the scoring of sleep and associated events. **Journal of Clinical Sleep Medicine**, v.8, n.05, p.597–619, 2012.

BIANCA, W. Reviews of the progress of dairy science. Section A. Physiology. Cattle in a hot environmental. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v.32, p.291-345, 1965.

BIANCHINI, E.; McMANUS, C.; LUCCI, C. M.; FERNANDES, M.C.B.; PRESCOTT, E.; MARIANTE, A.D.S.; EGITO, A.A.D. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p.1443-1448, 2006.

BISHOP-WILLIAMS, K.E.; BERKE, O.; PEARL, D.L.; HAND, K.; KELTON, D.F. Heat stress related dairy cow mortality during heat waves and control periods in

rural Southern Ontario from 2010–2012. **BMC Veterinary Research**. v.11, 10p. 2015.

BITENCOURT, D.P.; FUENTES, M.V.; MAIA, P.A.; AMORIM, F.T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p.506-517, 2016.

BLACKSHAW, J.K.; BLACKSHAW, A.W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.34, n.2, p.285–295, 1994.

BLIGH, J.; JOHNSON, K..G. Glossary of terms for thermal physiology. **Journal of Applied Physiology**, v.35, n.6, p.941-961, 1973.

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J.B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v.90, p.1947–1956, 2007.

BOND, T.E.; KELLY, C.F.; MORRISON, S.R.; PERIERA, N. Solar, atmospheric, and terrestrial radiation received by shaded and unshaded animals. **Transactions American Society of Agricultural Engineers**, v.10, n.5, p.622–627, 1967.

BRIDI, A.M. **Adaptação e aclimação animal**. Disponível em:< http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/AdaptacaoeAclimaacaoAnimal.pdf> Acesso em 04 dez. 2019.

BROWN-BRANDL, T.M.; EIGENBERG, R.A.; PURSWELL, J.L. Using thermal imaging as a method of investigating thermal thresholds in finishing pigs. **Biosystems Engineering**, Londres, v.114, n.3, p.327-333, 2013.

BROWN-BRANDL, T.M.; EIGENBERG, R.A.; HAHN, G.L.; NIENABER, J.A.; MADER, T.L.; SPIERS, D.E.; PARKHURST, A.M. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.285–296, 2005.

BROWN-BRANDL, T.M.; EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A. Heat stress risk factors of feedlot heifers. **Livestock Science**, v.105, n.1–3, p.57–68, 2006.

BROWN-BRANDL, T.M., NIENABER, J. A.; EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; FREETLY, H. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal of Thermal Biology**, v.28, p.149–157, 2003.

BROWN-BRANDL T.M. et al. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and nonshaded feedlot cattle, Part 1: analyses of indicators. **Biosystems Engineering**, Londres, v.90, p.451–462, 2005.

BROUCEK, J.; KISAC, P.; UHRINCAT, M. Effect of hot temperatures on the hematological parameters, health and performance of calves. **International Journal of Biometeorology**, v.53, p.201–208, 2009.

- BUFFINGTON, D. E; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows. **American Society of agricultural Engineers**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.
- CAMARGO A.C. 1988. Comportamento de vacas da raça Holandesa em confinamento do tipo "free stall", no Brasil Central. Dissertação de Mestrado em Zootecnia, Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 146p. 1988.
- CARRIER. Fundamentals of psychrometrics. Technical Development Programme. Netherlands. 58 p,1999.
- CASTRO JÚNIOR, S.L.D.; SILVA, I.J.O.D. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometeorology**, 13 p. 2020.
- CHESINI, F.; ABRUTZKY, R.; TITTO, E.de. Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (2005-2015). **Cadernos de Saúde Pública**, v.35, n.9, 11p, 2019.
- COLEMAN, D.A.; MOSS, B.R.; MCCASKEY, T.A. Supplemental shade for dairy calves reared in commercial calf hutches in a southern climate. **Journal of Dairy Science**, v.79, p.2038–2043, 1996.
- COLLIER, R.J.; COLLIER, J.L.; RHOADS, R.P.; BAUMGARD, L.H. Invited review: genes involved in the bovine heat stress response. **Journal of Dairy Science**, v.91, n.2, p.445-454, 2008.
- COLLIER, R.J.; DAHL, G.E.; VANBAALE, M.J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1244-1253, 2006.
- CONCEIÇÃO, M.N. **Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas em pastagens**. 2008. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.
- CUNHA, D.N.F.V.; CAMPOS, O.F.D.; PEREIRA, J.C.; PIRES, M.F.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; MARTUSCELLO, J.A. Desempenho, variáveis fisiológicas e comportamento de bezerros mantidos em diferentes instalações: época seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.4, p.847-854, 2007.
- DALTRO, D.D.S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E.P.M.; DALCIN, V.C.; STUMPF, M.T.; KOLLING, G.J.; SILVA, M.G.B.D.; McMANUS, C. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.46, n.5, p.374-383, 2017.

- DANTAS, M.R.T.; SOUZA JÚNIOR, J.B.F.de.; DOMINGOS, H.G.T.; TORQUATO, J.L.; FILHO, G.F.S.; COSTA, L.L.de.M. Termorregulação de bovinos em ambiente tropical: uma abordagem com ênfase nas respostas fisiológicas. **Pubvet**, Londrina, v. 6, n. 7, Ed. 194, Art. 1306, 2012.
- DASH, S.; CHAKRAVARTY, A.K.; SINGH, A.; UPADHYAY, A.; SINGH, M.; YOUSUF, S. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. **Veterinary World**, v.9, p.235-244, 2016.
- DELFINO, L.J.B.; SOUZA, B.B.de.; ROSANGELA, M.N.da.; SILVA, W.W. Influência bioclimatológica sobre os parâmetros hematológicos de bovinos leiteiros. **Agropecuária Científica do Semi-Árido**, Campina Grande, v. 8, n.2, p.08-15, 2012.
- DINIZ, T.A.; CARVALHO, C.C.S.; RUAS, J.R.M.; SANTOS, H.P.; MONÇÃO, F.P.; SILVA, E.A.; COSTA, M.D.; ROCHA JÚNIOR, V.R. Análise termográfica aplicada na produção de calor corporal de vacas F1XZ manejadas em diferentes microclimas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.72, n.2, p.545-552, 2020.
- DOMINGOS, H. G. T.; MAIA, A. S. C.; SOUZA JR, J. B. F.; et al. Effect of shade and water sprinkling on physiological responses and milk yields of Holstein cows in a semi-arid region. **Livestock Science**, v.154, p.169-174, 2013.
- DUKES, H.H. **Fisiologia dos animais domésticos**. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.
- DU PREEZ, J.H. Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. **Journal of Veterinary Research**, v.67, p.263-271, 2000.
- EURICH, J.; NETO, P.H.W.; ROCHA, C.H. Pecuária leiteira em uma colônia de agricultores familiares no município de Palmeira, Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.4, p.454-460, 2016.
- FAÇANHA, D.A.E.; CHAVES,D.F.; MORAIS,J.H.G.; VASCONCELOS, A.M.D.; COSTA, W.P.; GUILHERMINO, M.M. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.1, p.91-103, 2013.
- FANTE, K.P.; ARMOND, N.B.; Ondas de frio e enfermidades respiratórias: análise na perspectiva da vulnerabilidade climática. **Revista do Departamento de Geografia**. Volume Especial, 2016.
- FANTE, K.; SANT'ANNA NETO, J. L.; Mudanças nos Padrões da Temperatura do Estado de São Paulo/Brasil nos Últimos 50 Anos. **Revista do Departamento de Geografia**. v.33, 2017.

FERREIRA, F.; PIRES, M.F.A.; MARTINEZ, M.L.; COELHO, S.G.; CARVALHO, A.U.; FERREIRA, P.M.; FACURY FILHO, E.J.; CAMPOS, W.E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.58, n.5, 2006.

FERREIRA, R.A. **Maior Produção com Melhor Ambiente: Para Aves, Suínos e Bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2011.

FIRPO, M.A.F. **Climatologia das ondas de frio e de calor para o Rio Grande do Sul e sua relação com El Niño e La Niña**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Pelotas, 2008.

GANTNER, V.; BOBIC, T.; GANTNER, R.; GREGIC, M.; KUTEROVAC, K.; NOVAKOVIC, J.; POTOČNIK, K. Differences in response to heat stress due to production level and breed of dairy cows. **International Journal of Biometeorology**, v.61, n.9, p.1675–1685, 2017.

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. e McGregor, G. (eds.) **Biometeorology for adaptation to climate variability and change**. Springer Science + Business Media. p. 131–170, 2009.

GERALDO, A.C.A.P.M. (2013) **Termotolerância em fêmeas bovinas: abordagens celular e fisiológica**. Tese de Doutorado em Ciências. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo, Pirassununga, Brasil. 92 pp.

GUO, Y.; GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.G.; TAWATSUPA, B. TOBIAS, A.; LAVIGNE, E.; et al. Temperature variability and mortality: a multi-country study. **Environmental Health Perspectives**. v.124, n.10, p.1554-1559, 2016.

GUSSO, A. DUCATI, J.R.; VERONEZ, M.R.; SOMMER, V.; SILVEIRA JUNIOR, L.G.D. Monitoring Heat Waves and Their Impacts on Summer Crop Development in Southern Brazil. **Agriculture Sciences**. v. 5, p. 353-364, 2014.

HADORN, U.; HAMMON, H.; BRUCKMAIER, R.M.; BLUM, J.W. Delaying colostrum intake by one day has important effects on metabolic traits and on gastrointestinal and metabolic hormones in neonatal calves. **Journal of Nutrition**, v.127, p.2011–2023, 1997.

HAINES, A.; KOVATS, R.S.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; CORVALAN, C. Climate Change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. **Lancet**. v.367, p.2101–2109, 2006.

HAHN, G.L.; MADER, T.L. Heat waves in relation of thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle in: International Livestock Environment Symposium, 5, Minnesota, 1997. **Proceedings...** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 125-129, 1997.

HAHN, G.L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOSEF, M.K. (ed). **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC PRESS, 1985, p. 151-174.

HAHN, M.B.; RIEDERER, A.M.; FOSTER, S.O. The Livelihood Vulnerability Index: a pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—a case study in Mozambique. **Global Environmental Change**, v.19, p.74–88, 2009.

HAMMON, H.M.; BLUM, J.W. Metabolic and endocrine traits of neonatal calves are influenced by feeding colostrum for different durations or only milk replacer. **Journal of Nutrition**, v.128, p.624–632, 1998.

HERBUT, P.; ANGREGKA, S.; WALCZAK, J. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle-a review. **International Journal of Biometeorology**, v.62, p.2089–2097, 2018.

HOFFMANN, G.; SCHMIDT, M.; AMMON, C.; ROSE-MEIERHOFER, S.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W.; BERG, W. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. **Veterinary Research Communications**, p.1-9, 2012.

HOFFMANN, G.; HERBUT, P.; PINTO, S.; HEINICKE, J.; KUHLA, B.; AMON, T. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. **Biosystems Engineering**. v.199, p.83-96, 2020.

HUBBARD, K.G.; STOOKSBURY, D.E.; HAHN, G.L. A climatological perspective on feedlot cattle performance and mortality related to the THI. Reprints Tenth Conference on Applied Climatology. **American Meteorological Society**. Boston, MA, p.349-353, 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2001 - The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC**. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 2001.

JARA, I.E.; KEIM, J.P.; ARIAS, R.A. Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in southern Chile. **Archivos de Medicina Veterinária**, v.48, p.113-118, 2016.

JOSSERAN, L.; CAILLERE, N.; BRUN-NEY, D.; ROTTNER, J.; FILLEUL, L.; BRUCKER, G. et al. Syndromic surveillance and heat wave morbidity: a pilot study based on emergency departments in France. **Medical Informatics and Decision Making**, v.9, n.14, 2009.

JÚNIOR, S.L.C.; SILVA, I.J.O. The specific enthalpy of air as an indicator of heat stress in livestock animals. **International Journal of Biometeorology**, Review paper, 13p. 2020.

- KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C.; SAVASTANO JÚNIOR, H. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Revista Engenharia Agrícola**, v.25, p.598-607, 2005.
- KELLY, T.G.; DODD, V.A.; RUANE, D.J.; FALLON, R.J.; TUITES, P.J. An assessment of the influence of some housing designs and environmental factors on calf performance. **Journal of Agriculture Research**, New York, v.30, n.2, p.175-84, 1984.
- KIM, W.S.; LEE, J-S.; JEON, S.W.; PENG, D.Q.; KIM, Y.S.; BAE, M.H.; JO, Y.H.; LEE, H.G. Correlation between blood, physiological and behavioral parameters in beef calves under heat stress. **Ajas Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.31, n.6, p.919-925, 2018.
- KOGLMA, K.C.; ELY, D.F. Índices térmicos para a identificação de ondas de calor aplicados ao estado do Paraná, Brasil. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, n.34, 27p. 2019.
- KOTRBA, R.; KNIZKOVA, I.; KUNC, P. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infra-red thermography. **Journal of Thermal Biology**, v.32, p.355-359, 2007.
- KOVÁCS, L.; KÉZER, F.L.; RUFF, F.; SZENCI, O.; JURKOVICH, V. Association between human and animal thermal comfort indices and physiological heat stress indicators in dairy calves. **Environmental Research**, v. 166, p. 108-111, 2018.
- KOVÁCS, L.; KÉZER, F.L.; PÓTI, P.; BOROS, N.; NAGY, K. Short communication: Upper critical temperature-humidity index for dairy calves based on physiological stress parameters. **Journal of Dairy Science**, v.103, n.3, p.2707-2710, 2020.
- KOVÁCS, L.; KÉZER, F.L.; BAKONY, M.; JURKOVICH, V.; SZENSI, O. Lying down frequency as a discomfort index in heat stressed Holstein bull calves. **Scientific Reports**, v.8, n.15065, p.1-4, 2018.
- LAGE, C.F.A.; COELHO, S.G.; DINIZ NETO, H.C.; MALACCO, V.M.R.; RODRIGUES, J.P.P.; SACRAMENTO, J.P.; TEIXEIRA, V.A.; MACHADO, F.S.; PEREIRA, L.G.R.; TOMICH, T.R.; CAMPOS, M.M. Relationship between feed efficiency indexes and thermography, blood, and ruminal parameters in pre-weaning dairy heifers. **Plos One**, v.15, n.7, p.1-14, 2020.
- LEGATES, J.E.; FARTHING, B.R.; CASADY, R.B.; BARRADA, M.S. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.8, p.2491-2500, 1991.
- LIMA, O.K.; MOURA, D.J.D.; NÃÃS, I.D.A.; PERISSONOTTO, M. Estudo da influência de ondas de calor sobre a produção de leite no estado de São Paulo.

BioEng- Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, Campinas, v.1, n.1, p.70-81, 2007.

LIMA, P.O.; MOURA, A.A.; FAÇANHA, D.A.; GUILHERMINO, M.M. Desempenho e indicadores de estresse térmico em bezerras alimentadas com sucedâneo lácteo com ou sem probiótico no semi-árido Brasileiro. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**. v. 14, n.2, p. 49- 55, 2006.

LOWE, G.; SUTHERLAND, M.; WAAS, J.; ALLAN, SCHAEFER, A.; COX, N.; STEWART, M. Infrared thermography – a non-invasive method of measuring respiration rate in calves. **Animals**, v.9, n.535, p.1-8, 2019.

MAC-LEAN, P.A.B.; BARBOSA, O.R.; JOBIM, C.C.; GASPARINO, E.; SANTOS, G.T.; FARIA, L.A.N. Sombra artificial e método de fornecimento de concentrado no comportamento e desempenho de bezerros desmamados. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v.33, n.4, p.409-415, 2011.

MACMILLAN, K.; COLAZO, M.G.; COOK, N.J. Evaluation of infrared thermography compared to rectal temperature to identify illness in early postpartum dairy cows. **Research in Veterinary Science**, v.125, p.315-322, 2019.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREDO, B.C.M. Sensible and latent heat loss from body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v.50, p.17-22, 2005.

MCCAFFERTY, D.J.; GILBERT, C.; THOMPSON, D. et al. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.158, p.337-345, 2011.

MCKECHNIE, A.E.; WOLF, B.O. Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat events. **Biology Letters** . v. 6, p. 253 – 256. 2010.

MCMANUS, C.; PALUDO, G.R.; LOUVANDINI, H.; GARCIA, J.A.S.; EGITO, A.A.; MARIANTE, A.S. Heat tolerance in naturalized cattle in Brazil: physical factors. **Archivos de Zootecnia**, v.54, p.453-458, 2005.

MCMANUS, C.; PRESCOTT, E.; PALUDO, G.R.; BIANCHINI, E.; LOUVANDINI, H.; MARIANTE, A.S. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. **Livestock Science**, v.120, n.3, p.256-264, 2009.

MAGRIN, L.; BRSCIC, M.; LORA, L.; RUMOR, C.; TONDELLO, L.; COZZI, G.; GOTTARDO, F. Effect of a ceiling fan ventilation system on finishing young bulls' health, behavior and growth performance. **Animal**, p.1-9, 2016.

MARAI, I.F.; EL-DARAWANY, A.A.; FADIEL, A.; ABDEL-HAFEZ, M.A. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small Ruminant Research**, v.71, p.1–12, 2007.

MARCÍAS-RIOSECO, M.; ARMENDANO, J.I.; COSTA, R.A.; FRAGA, M.; CAFFARENA, R.D.; ARÁOZ, V.; PLA, M.; GIANNITTI, F.F.; RIET-CORREA, F. Drop in milk production, acute respiratory signs and deaths associated with heat stress in dairy cattle in Uruguay. **Veterinaria (Montevideo)**, v.54, n.209, p.4-8, 2018.

MARQUES J.A.; PINTO A.P.; ABRAHÃO J.J.S.; Nascimento W.G. Intervalo de tempo entre observações para avaliação do comportamento ingestivo de tourinho sem confinamento. **Ciências Agrárias**, v.29, n.4, p.955- 960, 2008..

MARTELLO, L.S.; JÚNIOR, H.S.; PINHEIRO, M.das.G.; SILVA, S.D.L.; ROMA JÚNIOR, L.C. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.2, p.263-273, 2004.

MARTELLO, L.S.; JÚNIOR, H.S.; SILVA, S.D.L.; BALIEIRO, J.C.C. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. **International Journal of Biometeorology**, v.54, n.1, p.647–652, 2010.

MARTELLO, L.S.; SILVA, S.D.L.; GOMES, R.D.C.; CORTE, R.R.P.D.S.; LEME, P.R. Infrared thermography as tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.60, n.1, p.173–181, 2015.

MARTIN, P.; BATESON, P. Measuring behavior: an introductory guide. Cambridge University Press, 1986.

MCLEAN, J.A. The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. **Journal of Physiology**, v.167, p. 427-447, 1963.

MEEHL, G.A.; TEBALDI, C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. **Science**. v.305, p.994–998, 2004.

MELO, E.C. O programa computacional GRAPSI. Edição do autor. 2011.

MELO, T.; FURLAN, R.; MILANI, A.; BUZANSKAS, M.; MOURA, A.; MOTA, D.; CARDOSO, D. Avaliação de diferentes inclinações e exposições de telhado em três tipos de cobertura em modelos reduzidos de instalações zootécnicas. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1327-1338, maio/jun. 2013.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do Sul. Edição Especial: “Climatologia Geográfica”, **Revista Acta Geográfica**, v.2. 2012.

MEYER, U.; STAHL, W.; FLACHOWSKY, G. Investigations on the water intake of growing bulls. **Livestock Production Science**, v.103, p.186-191. 2006.

- MITLÖHNER, F. M.; MORROW, J. L.; DAILEY, J. W.; WILSON, S. C.; GALYEAN, M. L.; MILLER, M. F.; McGLONE, J. J. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 9, p. 2327-2335, 2001.
- MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C.; SCHENKEL, F.S.; MCBRIDE, B.W.; MILLER, S.P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v.33 p. 468–475, 2008.
- MONTERO, J.C.; MIRÓN, I.J.; CRIADO, J.J.; LINARES, C.; DÍAZ, J. Difficulties of defining the term, “heat wave”, in public health. **International Journal of Environmental Health Research**. v.23, n.5, p.377-379, 2013.
- MORTON, J.M.; TRANTER, W.P.; MAYER, D.G.; JONSSON, N.N. Effects of environmental heat on conception rates in lactating dairy cows: critical periods of exposure. **Journal of Dairy Science**. v.90, n.5, p.2271–2278, 2007.
- MOSELEY, P.L. Invited review: Heat shock proteins and heat adaptation of the whole organism. **Journal of Applied Physiology**, v.83, n.5, p. 1413-1417, 1997.
- NÃÃS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, Ed., 1989.
- NÃÃS, I.A.; MOURA, D.J, LAGANÁ, C. Utilização da entalpia como variável física de avaliação do conforto térmico na avicultura de corte. In: Conferência Apinco 1995 de Ciência e Tecnologia Avícolas. Anais, Curitiba -PR, p 201–202, 1995.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. Livestock production system management responses to thermal challenges. **International Journal of Biometeorology**, v.52, p.149–157, 2007.
- OLESEN, J.E.; TRNKA, M.; KERSEBAUM, K.C.; SKJELVÅG, A.O.; SEGUIN, B.; PELTONEN-SAINIO, P.; ROSSI, F.; KOZYRA, J.; MICALÉ, F. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. **Europ. Journal of Agronomy**. v. 34, p. 96-112, 2010.
- OLIVEIRA, D.E.de.; ASSIS, D.C.de.; FERREIRA, C.De.C.M. Dinâmica climática regional em municípios da zona da mata, campo das vertentes e sul e sudoeste de Minas Gerais: as ondas de calor e frio. **Revista Brasileira de Climatologia**. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais – p.290-310. 2018.
- OLIVEIRA, P.T.L.; TURCO, S.H.N.; ARAÚJO, G.G.L. VOLTOLINI, T.V.; MENEZES, D.R.; SILVA, T.G.F.da. Comportamento ingestivo e parâmetros fisiológicos de bovinos Sindi alimentados com teores crescentes de feno de

erva-sal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n..1, p.180-188, 2012.

OMM. Reports published through the World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) series. WCDMP-No.47, WMO-TD No. 1071, 2019.

PACHECO, V.M.; SOUSA, R.V.; RODRIGUES, A.V.S.; SARDINHA, E.J.S.; MARTELLO, L.S. Thermal imaging combined with predictive machine learning based model for the development of thermal stress level classifiers. **Livestock Science**, v.241, p.104244, 2020.

PARANHOS DA COSTA, M.J.R. Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. *Anais de etologia*, v.18, n.26, p. 42. 2000.

PASSINI, R.; BARROS, B.de.C.; MACENA, T.C. Teste de tolerância ao calor em bovinos Girolandos cruzados no Centro-oeste do Brasil. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, RN, v.8, n.3, p.163-168, 2014.

PENG, D.; CHEN, S.; LI, G.; CHEN, J.; WANG, J.; GU, X. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. **International Journal of Biometeorology**, v.63, p.327-336, 2018.

PEREIRA, A.M.F.; TITTO, E.A.L.; ALMEIDA, J.A.F.de. **Adaptação dos ruminantes aos climas quentes**. Curitiba, Appris editora, 1ªED. 187 p, 2019.

PERKINS, S.E. A review on the scientific understanding of heatwaves: their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. **Atmospheric Research**. v.164-165, p.242-267, 2015.

PIRES, M.de.F.A.; CAMPOS, A.T.de. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite. 2004. **Comunicado técnico 42**. Juiz de Fora MG. Embrapa.

PIRES, MF.A.; CAMPOS, A.T. **Conforto animal para maior produção de leite**. Viçosa-MG. CPT, 2008. 254p.

PURWANTO, B.P.; NAKAMASU, F.; YAMAMOTO, S. Effect of environmental temperatures on heat production in dairy heifers differing in feed intake level. **Ajas**, v.6, n.2, p.275-279, 1993.

RASHAMOL, V.P.; SEJIAN, V.; PRAGNA, P.; LEES, A.M.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; GAUGHAN, J.B. Prediction models, assessment methodologies and biotechnological tools to quantify heat stress response in ruminant livestock. **International Journal of Biometeorology**, v.63, p.1265–1281, 2019.

RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J.M.; PACKER, C. et al. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**, v.180, p.317-324, 2009.

RATNAKARAN, A.P.; SEJIAN, V.; SANJO JOSE, V.; VASWANI, S.; BAGATH, M. et al. 2017. Behavioral responses to livestock adaptation to heat stress challenges. *Asian Journal of Animal Science*, v.11, p.1-13, 2017.

REECE, W. O. **Respiração nos mamíferos**. Dukes: Fisiologia dos animais domésticos. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p.103-134.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; BASILIO, V.de.; GOURDINE, J.L.; COLLIER, R.J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, v.6, n.5, p.707-728, 2012.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B.de.; FURTADO, D.A.; DELFINO, L.J.B.; MARQUES, B.A.de.A. Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. Mossoró, RN, Brasil, v.2, n.1, p.11-19, 2014.

ROBERTSHAW, D. **Regulação da temperatura e o ambiente térmico**. In: Reece, W.O. Dukes, Fisiologia dos animais domésticos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Cap. 55, 2006. 898p.

ROBINSON E.N. **Termorregulação**. In: CUNNINGHAM, J.G. Tratado de fisiologia veterinária. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, cap.51, 427-435, 1999.

ROLAND, L.; DRILLICH, M.; KLEIN-JOBSTL, D.; IWERSEN, M. Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *Journal of Dairy Science*, v.99, p.1-15, 2016.

SALLES, M.S.V.; SILVA, S.C.; SALLES, F.A.; ROMA JR, L.C.; FARO, L.E.; MAC LEAN, P.A.B.; OLIVEIRA, C.E.L.; MARTELLO, L.S. Mapping the body surface temperature of Cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*. v.62, p. 63-69, 2016.

SANKER, C.; LAMBERTZ, C.; GAULY, M. Climatic effects in Central Europe on the frequency of medical treatments of dairy cows. *Animal*, v.7, p.316–321, 2012.

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

SANTOS, C.A. **Embrapa gado de leite: 30 anos de pesquisa e conquistas para o Brasil**. 1ªEd. 2006, 262p.

SANTOS, B.S.; PINTO, A.P.; ANIZ, A.C.M.; ALMEIDA, A.P.M.G.de.; FRANCO, G.L.; GUIMARÃES, E.B.; LEMOS, R.A.A. Mortalidade de bovinos zebuínos por

hipotermia em Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Seropédica-RJ, v.32, n.3, p.204-210, 2012.

SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; CHURCH, J.S. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Veterinary Science**, v.83, p.376-384, 2007.

SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, v.93, p.928-935, 2011.

SCHLEGER, A.V.; BEAN, K.G. Factors determining sweating competence of cattle skin. **Australian Journal of Biological Science**, v. 24, p.1291-1300, 1971.

SCHLEGER, A.V.; TURNER, H.G.; Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 16, p.92-106, 1965.

SIGNORETTI, R.D. **Práticas de manejo para correta criação de bezerras leiteiras**. 2017. Consultoria avançada em pecuária. Disponível em: <<http://www.coanconsultoria.com.br/images/Artigos/Pr%C3%A1ticas%20na%20Cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20Bezerras%20Leiteiras.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

SILANIKOVE, N. Effect of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, v.67, p.1-18, 2000.

SILVA, F.D.G.da. **Variações anátomo-fisiológicas face à aclimação sazonal - estudo em vacas leiteiras com diferente potencial leiteiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Zootécnica) –Universidade Évora, Escola de Ciências e Tecnologia. Évora, 2015.

SILVA, R.G. Estimativas do balanço térmico por radiação em vacas holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.6, p.1403-1411, 1999.

SILVA, R.G. 2000. Introdução à bioclimatologia animal. São Paulo, Nobel/FAPESP, 286p.

SILVA, R.G.; LA SCALA JR,N.; POCA Y, P.L.B. Transmissão de radiação ultravioleta através do pelame e da epiderme de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1939-1947, 2001.

SILVA, R.G.; MAIA, A.S.C.; COSTA, L.L.M.; QUEIROZ, J.PA.F.D. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v.56, p.927-932, 2012.

SILVA, E.M.N.da.; SOUZA, B.B.de.; SILVA, G.de.A.; ALCÂNTARA, M.D.B.de.; CUNHA, M.das.G.G.; MARQUES, B.A.de.A. Avaliação da adaptabilidade de caprinos leiteiros com auxílio da precisão termográfica no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, Rio de Janeiro, v.36, n.2, p.231-237, 2014.

SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.

SILVEIRA, R.B.; ROCHA, G.S.; ALVES, M.P.A. Contabilização das ondas de frio em Curitiba - Paraná. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, p. 2162-2172, 2017.

SON, J-Y.; GOUVEIA, N.; BRAVO, M.A.; FREITAS, C.U.de.; BELL, M.L. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**. v.60, p.113-121, 2016.

SOUSA JÚNIOR, S.C.; MORAIS, D.A.E.F.; VASCONCELOS, A.M.; NERY, K.M.; MORAIS, J.H.G.; GUILHERMINO, M.M. Características termorregulatórias de caprinos, ovinos e bovinos em diferentes épocas do ano em região semi-árida. **Revista Científica de Produção Animal**, v.10, n.2, p.127-137, 2008.

SOUSA, R.V.; CANATA, T.F.; LEME, P.R.; MARTELLO, L.S. Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.127, p.176-183, 2016.

SOUSA, R.V.; RODRIGUES, A.V.S.; ABREU, M.G.; TABILE, R.A.; MARTELLO, L.S. Predictive model based on artificial neural network for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. **Computer and Eletronics in Agriculture**, v.144, p.37-43, 2018.

SOUZA, B.B.; SILVA, R.M.N.; MARINHO, M.L.; SILVA, G.A.; SILVA, E.M.N.; SOUZA, A.P. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça sindi no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007.

SOUZA, B.B.; BATISTA, N.L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, p.6-10, 2012.

SPAIN, J.N.; SPIERS, D.E. Effects of supplemental shade on thermoregulatory response of calves to heat challenge in a hutch environment. **Journal of Dairy Science**, v.79, p.639-646, 1996.

SPIERS, D.E.; SPAIN, J.N.; ELLERSIECK, M.R.; LUCY, M.C. Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.8269-8283, 2018.

STARLING, J.M.C.; SILVA, R.G.; MUNOZ, M.C.; BARBOSA, G.S.S.C; PARANHOS DA COSTA, M.J.R. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2070-2077, 2002.

STEWART, M.; WEBSTER, J.R.; SCHAEFER, A.L. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, v.14, p.319-325, 2005.

THEURER, M.E.; ANDERSON, D.E.; WHITE, B.J.; MIESNER, M.D.; LARSON, R.L. Effects of weather variables on thermoregulation of calves during periods of extreme heat. **American Journal of Veterinary Research**, v.75, p.296-300, 2014.

TITTO, C.G. **Capacidade termolítica e respostas comportamentais e hormonais em vacas Holandesas**. 2010. 112p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

TORQUATO, J.L.; SOUZA JÚNIOR, J.B.F.; QUEIROZ, J.P.A.F.de.; COSTA, L.L.de. M. Termografia infravermelha aplicada a emas (*Rhea americana*). **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v.3, n.2, p.51-56, 2015.

TRIPON, I.; CZISZTER, L.T.; BURA, M.; SOSSIDOU, E.N. Effects of seasonal and climate variations on calves' thermal comfort and behavior. **International Journal of Biometeorology**, v.58, p.1471-1478, 2013.

TUCKER, C.B.; ROGERS, A.R.; SCHÜTZ, K.E. Effect of solar radiation on dairy cattle behaviour, use of shade and body temperature in a pasture-based system. **Applied Animal Behaviour Science**, v.109, p.141-154, 2008.

VALE, M.M.; MOURA, D.J.De.; NÃAS, I.de.A.; OLIVEIRA, S.R.De.M.; RODRIGUES, L.H.A. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. **Scientia Agrícola**. v.65, n.3, p.223-229, 2008.

VIEIRA, R.de.F.N.; SILVA, K.O.; MELLO, S.de.P.; MARTINS, J.R. Índices de conforto na avaliação de bem estar animal de matrizes suínas em diferentes sistemas de criação. **Nucleus Animalium**, Ituverava, v.2, n.1, p.1-8, maio 2010.

VILELA, R.A. LEME, T. M.C.; TITTO, C.G.; NETO, P.F.; PEREIRA, A.M.F. BALIEIRO, J.C.C. TITTO, E.A.L. Respostas fisiológicas e comportamentais de vacas holandesas mantidas em sistema adiabático evaporativo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Soropédica, Rio de Janeiro, v.33, n.11, p.1379-1384, 2013.

VITALI, A.; FELICI, A.; ESPOSITO, S.; BERNABUCCI, U.; BERTOCCHI, L.; MARESCA, C.; NARDONE, A.; LACETERA, N. The effect of heat waves on dairy cow mortality. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.7, p.4572-4579, 2015.

XAVIER, A.C.; KINGB, C.W.; SCANLONC, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, Wiley Online Library. v. 36, p. 2644-2659, 2016.

YOUNG, H.; PARCHMENT, B.; AYALA, A.L.; PROGAR, A.A. Physiological responses of Holstein Calves to hot weather conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.64, p.2047-2051, 2020.

WEST, J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.6, p.2131–2144, 2003.

WMO. WORLD METEOROLOGY ORGANIZATION. **Climate System.**

Understanding Climate. Online. Disponível em:

<www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate >. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

WOLLMANN, C.A.; GALVANI, E. Caracterização climática regional do rio grande do sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.8, n.11, p.87-103, 2012.

ZAHNER, M.; SCHRADER, L.; HAUSER, R.; KECK, M.; LANGHANS, W.; WECHSLER, B. The influence of climatic conditions on physiological and behavioral parameters in dairy cows kept in open stables. **Animal Science**, Penicuik, v.78, p.139-147,2004.

APÊNDICE

APÊNDICE A- Artigo Científico

Artigo a ser submetido na revista International Journal of Biometeorology.

**ESTRESSE AGUDO E CRÔNICO EM BEZERRAS DA RAÇA HOLANDESA
DURANTE OCORRÊNCIA DE ONDAS DE CALOR**

1 **ACUTE AND CHRONIC STRESS IN HOLSTEIN CALVES**
2 **DURING HEATWAVES**

3
4 Jéssica Caetano Dias Campos¹, Rafael Vieira de Sousa¹, Alex Vinicius da Silva Rodrigues¹, André Levi
5 Viana Pereira¹, Gabriel Pagin de Carvalho Nunes Oliveira¹, Luciane Silva Martello^{1*}

6 ¹ Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/ Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias
7 Norte, 225, Campus Fernando Costa, Pirassununga, SP, Brazil, 13635-900.

8
9 Endereços de e-mail:

10 jessicacaetano5@usp.br (J.C.D. Campos), alex.rodrigues@usp.br (A.V.S. Rodrigues),

11 andre.levi.pereira@usp.br (A.L. Pereira), rafael.sousa@usp.br (R.V. Sousa),

12 gabriel.pagin.oliveira@usp.br (G.P.C.N. Oliveira), martello@usp.br * (L.S. Martello) corresponding
13 author.
14

15 **Abstract**

16 The objective of this work was to evaluate the thermoregulatory responses of weaned Holstein heifers
17 submitted to heatwaves, simulated in a climatic chamber, for the evaluation of acute and chronic stress.
18 The experiment was conducted at the Climatic Chamber of the Animal Reproduction Department of the
19 University of São Paulo in the city of Pirassununga, São Paulo, Brazil. Ten Holstein heifers aged 3 to 6
20 months and mean weight of \pm 120 to 220 kg were used. The animals were submitted to 2 heat waves
21 lasting 5 days each. The chamber temperature was gradually adjusted to reach a maximum of 35.7 °C at 2
22 pm. A completely randomized design was used, with treatments: room temperature, acute stress, and
23 chronic stress with 10 repetitions. The effects of treatments (acute and chronic stress), waves (1 and 2),
24 time of assessment (6:00 am, 10:00 am, 2:00 pm, 6:00 pm, and 10:00 pm), and their interactions on
25 physiological characteristics (respiratory rate, rectal temperature, rate) were evaluated. perspiration and
26 infrared temperatures) using the Mixed procedure of the SAS® software. All physiological variables had
27 an effect ($p < 0.01$) for the treatment and waves interaction and treatment and times interaction for
28 respiratory rate ($P < 0.01$). The heat waves triggered the animals' physiological responses. Wave 2 and
29 chronic stress had more impact on the animals, since respiratory rate, rectal temperature, sweating rate,
30 and body surface temperature were higher in these conditions.

31 **Keywords:** Ambience. Climatology. Physiology. Thermography.

32
33 **Introduction**

34 In many regions of the world, the negative impact of heat is evident in various segments of
35 society. In the case of animal production, prolonged periods with extreme temperatures are highly
36 detrimental to their performance and well-being (Bitencourt et al. 2016). In this sense, a phenomenon that
37 has drawn attention in studies in the area of animal environment is related to the occurrence of heatwaves,
38 which are meteorological phenomena that can occur in various regions with tropical and temperate
39 climates.

40 Hahn and Mader (1997) define heat waves as a period of 3 to 5 consecutive days with maximum
41 temperatures above the 32 °C limit. It is expected that, in the coming decades, climatic conditions will
42 result in more frequent, longer, and more intense heat waves (HENDERSON et al. 2011; RENAUDEAU

43 et al. 2012; SKUCE et al. 2013; SOSSIDOU et al. 2014) bringing significant harm to ranchers around the
44 world (Herbut et al. 2018).

45 For heifers and heifers exposed to these conditions, losses refer to increased herd mortality and
46 morbidity, reduced weight gain and growth, decreased performance, and decreased long-term survival
47 (Virtala et al. 1996; Donovan et al. 1998; Snowden et al. 2006). These impacts play an essential role in a
48 future productive life. Therefore, greater attention to heifers and heifers during heat stress is
49 recommended (RASHAMOL et al. 2018). Animals have several physiological adjustment mechanisms to
50 face adverse weather conditions, among them the most used as an assessment method are respiratory rate,
51 sweating rate, body surface temperature, and rectal temperature (INDU et al. 2015).

52 According to Bianca (1965), Ferreira et al. (2006), and Almeida et al. (2016) in situations of
53 thermal stress when homeothermic animals are subjected to high temperatures, the observed signs are the
54 increase in respiratory rate, body surface temperature, and sweating rate before the increase in rectal
55 temperature. And depending on the intensity and duration of heat stress, this will condition the responses
56 of animals to acute stress or chronic stress (GERALDO 2013). Acute heat stress occurs for an immediate
57 and short period, while chronic heat stress occurs for a longer period (Silva 2015). Most studies with
58 cattle found in the literature are about acute heat stress and few studies assess the effect of chronic heat
59 stress (Beatty et al. 2006, Bernabucci et al. 2010).

60 Additionally, studies on the effects of hot flashes for dairy heifers in the rearing phase (weaning)
61 are incipient, especially concerning the onset of chronic heat stress, that is, more prolonged stress.
62 Therefore, the objective of this work was to evaluate the thermoregulatory responses of weaned Holstein
63 heifers submitted to heatwaves, simulated in a climatic chamber, for the evaluation of acute and chronic
64 stress.

66 **Material and methods**

67 The study was conducted at the Faculty of Animal Science and Food Engineering (FZEA) at the
68 University of São Paulo (USP), in Pirassununga – SP, Brazil, located at 21° 59' 46" S 47° 25' 33" W.
69 Approximate altitude of 627 meters. The average annual temperature in the region is 22 °C with an
70 average annual rainfall of 1395 mm. The study was conducted following the legal and ethical aspects of
71 the Ethics Committee for the Use of Animals, CEUA, FZEA-USP.

72 The experiment was conducted inside the climatic chamber facilities located in the Department
73 of Animal Reproduction (VRA), belonging to the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science
74 (FMVZ), the University of São Paulo, during the end of winter and beginning of spring, in September and
75 October 2020, totaling 46 days of duration.

76 Ten Holstein heifers were used, with an approximate age of 3 to 6 months and an average weight
77 of \pm 120 to 220 kg. The animals were divided into 2 groups of 5 animals each and underwent an
78 adaptation period of 3 days within of the climate chamber (off). At the facility, water supply and feed
79 consisting of hay were ad libitum plus silage (3kg/day), mineral mix, and concentrated mix (3kg/day),
80 offered in two moments, at 07:00h and 17:00h.

81 The Climatic Chamber, system (Tie Stall), had a total area of 60 m² (12 m² animal⁻¹), with a
82 concrete floor and 3 m of ceiling height. In the installation, there were open divisions with a tubular

83 profile, with a width of 1m and a length of 1.80 m each. In each room, there was a concrete trough and
 84 individual drinking fountain. The animals were tethered in individual pens, being able to walk linearly
 85 within the pen. The installation floor was lined with a bed of hay, at a height of approximately 15 cm, to
 86 facilitate the sanitary management of the environment and promote comfort for the animals.

87 For the TE_sA and TE_sC, two heat waves were simulated, of 5 consecutive days each, with a rest
 88 interval (without thermal stress) of 13 days between them. In both heat waves, the physiological
 89 responses of the animals were evaluated, respiratory rate (RR), rectal temperature (RT), sweating rate
 90 (TS), and infrared thermography (TIV).

91 The chamber's internal environment simulated the occurrence of heatwaves, characterized by the
 92 analysis of a 30-year climatic database in the region of Pirassununga-SP. Climatic data were obtained by
 93 Xavier et al. (2016) between 1980 and 2013. These data were analyzed by the Center for Meteorological
 94 and Climatic Research Applied to Agriculture CEPAGRI-UNICAMP of Campinas-SP using the Percentil
 95 90 method (Vitali et al. 2015) for the identification of heatwaves that occurred in the region during this
 96 period. Thus, in this work, 2 heat waves that occurred in 1988 lasting 5 days each were simulated.

97 An interval of 13 days between the two heat waves was adopted. The heatwaves were simulated
 98 following a pattern of gradual temperature increase, in which the temperatures were adjusted at 10 am to
 99 30 °C, at 12 pm to 32 °C, and between the hours of 2 pm and 3 pm, the temperature was adjusted to
 100 remain at 35.7 °C. At 3 pm, the climate chamber was turned off for the gradual loss of temperature, so the
 101 temperature gradually reduced in the following hours.

102 The monitoring of the climatic environment was carried out using a data logger (Onset HOBO)
 103 to obtain dry bulb temperatures- air temperature (T_{db} °C), dew point temperature (T_{po}, °C), and relative
 104 humidity (RH, %). The equipment was programmed to record climate data every 15 minutes during the
 105 entire experimental period. From the environmental data, the THI equation 1 was calculated, according to
 106 Yousef (1985).

$$107 \quad THI = T_{db} + 0.36 \times T_{po} + 41.2 \quad (1)$$

108 On what:

109 T_{db} = Dry bulb temperature (°C).

110 T_{po} = Dew point temperature (°C).

111 The enthalpy (H) was calculated using the computer program GRAPSI 8 – Digital Psychometric
 112 Graphic developed by Melo (2011). Where it was necessary to enter the site altitude, dry bulb
 113 temperature (°C), and relative air humidity (%).

114 Thus, during the 46 days that the animals were in the climatic chamber, 3 treatments were
 115 defined:

116 Control treatment (TCO): characterized by room temperature (average temperature of 26.9 °C)
 117 in the 5 days before the onset of the heatwave.

118 Acute stress treatments (TE_sA): considering the first 2 days of hot flashes;

119 Chronic stress treatment (TE_sC): considered between the 3rd and 5th day of a Heatwave.

120 The animals were evaluated at 6 am, 10 am, 2 pm, 6 pm, and 10 pm.

121 RR was measured by monitoring the time for each 10 flank movement, and the number of
 122 movements per minute was subsequently calculated. RT was measured directly in the rectal mucosa,

123 using a digital clinical thermometer, with a scale between 20 and 50 °C and precision of ± 0.1 °C. The SR
 124 was evaluated by the colorimetric method proposed by (Schleger and Turner 1965). The blade containing
 125 adhesive tape with discs was applied to the animal in the central-lateral region of the trunk, in the median
 126 position, between the 10th and 11th rib as per (Mc Lean 1963; Amakiri and Mordi 1975). And later, the
 127 animal's sweating was measured from the time measured in seconds so that the change from blue to light
 128 pink of the 3 discs occurs. Equation (2) of (SILVA, 2000) and (EUSTÁQUIO FILHO, 2011) was used for
 129 the calculations.

130

$$131 \quad SR = (22 \times 3600) \div (2,06 \times t) = g \times m^{-2} \times h^{-1} \quad (2)$$

132

133 On what:

134 SR = sweating rate in $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$;

135 t = average time, in seconds, for color change on the three paper discs.

136

137 Thermographic images (TIV) were recorded in the following body regions: forehead (TIVFro),
 138 eye (TIVOlh), ear (TIVOre), rib (TIVCos), and flank (TIVFla) using a thermographic camera (TESTO
 139 875-2i) (Fig. 1). The collected images were configured in the computer program (TESTO IRsoft) to
 140 adjust the value of the temperature reflected in C° (Celsius degrees), according to the average dry-bulb
 141 temperature at the time of collection, and then exported to the XLSX (temperature matrix) format through
 142 this same program. The temperature matrices were converted to JPG format using a program developed
 143 on the Google Colab platform. The JPG files were analyzed by a program developed in the MATLAB
 144 R2016b software (Mathworks Inc. USA) to carry out the labeling (cutting and labeling of the studied
 145 regions of the animals). This program generated a report with the coordinates of the clipping of each
 146 image. After labeling, the report containing the coordinates of the cuts was associated with the
 147 temperature matrices for the extraction of maximum, average and minimum temperature characteristics of
 148 the cuts, using a program developed on the Google Colab platform.

149

150

151

152

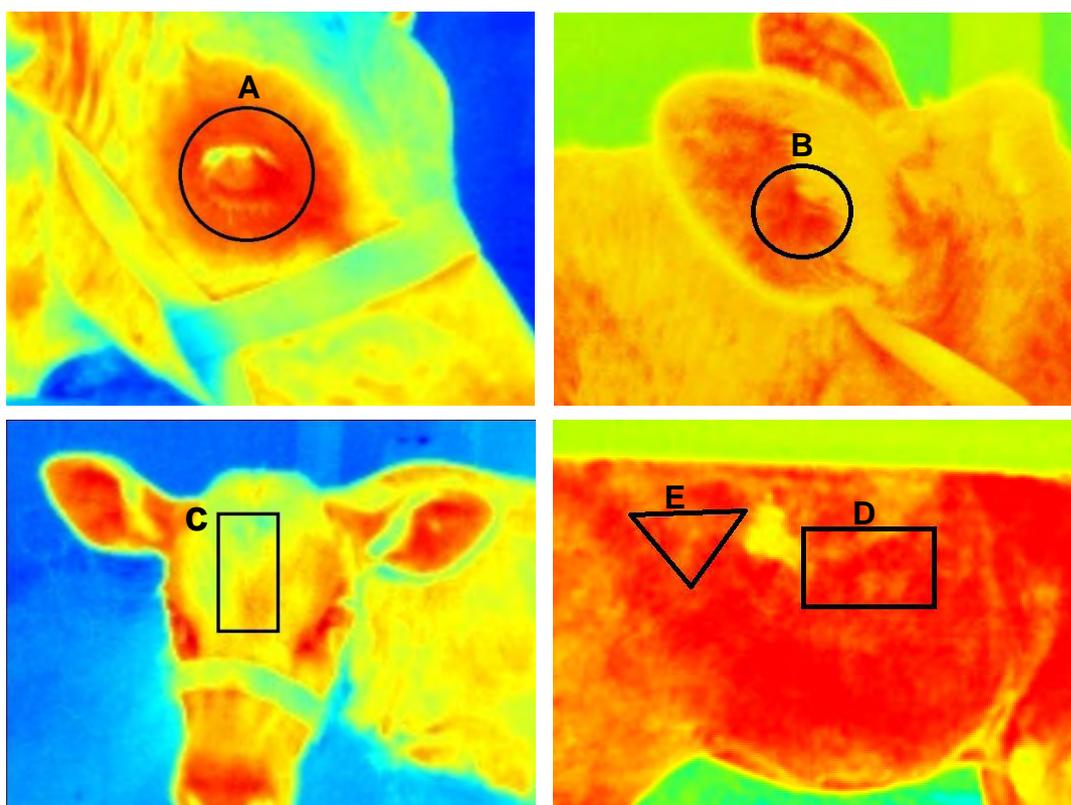
153

154

155

156

157



158

159

160 **Fig. 1** Regions of the body surface where thermographic images were recorded: **A** TIVOlh (ocular area),
 161 **B** TIVOre (ear), **C** TIVFro (front), **D** TIVCos (rib), **E** TIVFla (flank)

162

163 A completely randomized design was used, with treatments (TCO, TEsA, and TEsC), with 5
 164 replications. The effect of treatments, evaluation time (6:00 am, 10:00 am, 2:00 pm, 6:00 pm, and 10:00
 165 pm), and waves (1 and 2) on the physiological characteristics RR, RT, SR, and TIV were evaluated as
 166 repeated measures over time (Crowder and Hand 1990) considering the fixed effects of treatment, time of
 167 measurement, wave, and interactions, using the Mixed procedure of the SAS® software.

168

169 Results

170 Table 1 shows the description of the means of climatic variables and thermal comfort indices for
 171 the different treatments.

172

173 **Table 1.** Mean values, standard deviations, minimum and maximum air temperature for TCO, TEsA, and
 174 TEsC. Treatments

Variables	Parameters	Treatments		
		TCO	TEsA	TEsC
T (°C)	Average	27	29	30
	Standard deviation	2	4	4
	Minimum	22	23	23
	Maximum	31	36	36
RH (%)	Average	54	52	51
	Standard deviation	11	11	10

	Minimum	38	32	31
	Maximum	80	73	72
ENTHALPY (kJ kg ⁻¹)	Average	60	66	78
	Standard deviation	5	7	4
	Minimum	47	49	53
	Maximum	75	78	84
THI	Average	74	77	78
	Standard deviation	3	4	4
	Minimum	68	69	70
	Maximum	78	85	85

175 TCO= Control treatment, TEsA= Acute stress environment and TEsC= Chronic stress environment

176

177

178

179

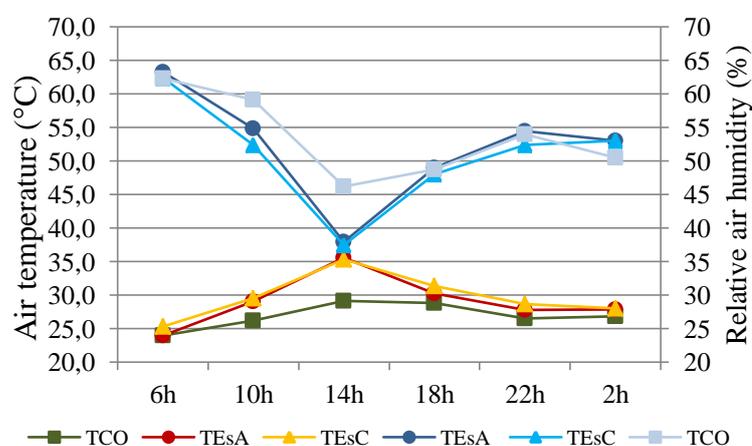
180

181

182

183

During the study, considering the heat waves, the average air temperature was 29 °C, minimum 22 °C, and maximum 36 °C inside the climatic chamber. The average relative humidity was 52%, minimum 31%, and maximum 80%. The average enthalpy was 68 kJ kg⁻¹, minimum 47 kJ kg⁻¹, and maximum 84 kJ kg⁻¹. The THI average was 76, minimum 68, and maximum 85. Fig. 2 shows the averages of temperature and relative humidity for the different treatments and times of 06:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00, and 02:00.



184

185

186

Fig. 2 Averages of temperature and relative humidity of the air at different times

187

188

189

190

191

192

193

194

195

There was an effect of the treatment and time interaction ($p < 0.001$) for temperature and relative humidity. There was a gradual rise in temperature, where, at 06:00h, a lower temperature was verified for TCO and TEsA (24 °C) and a higher temperature for TEsC (25.4 °C). Between 6h and 10h there was an increase in air temperature from 2 to 5 °C considering all treatments, with the TCO increasing to 26.2 °C, TEsA to 29.1 °C and TEsC to 29.5 °C. In the hottest part of the day (2 pm) temperatures rose another 3 to 6 °C, with the TCO rising to 29.2 °C, TEsC to 35.3 °C, and TEsA to 35.6 °C. From 6 pm onwards, a gradual drop in temperature was observed, ranging from 0.4 °C to 5.5 °C and at that time the TCO was at 28.8 °C, TEsA at 30.1 °C, TEsC at 31.2 °C. At 10 pm, the temperature had reduced between 2.3 °C and 2.8 °C, with the TCO temperature being 26.5 °C, TEsA at 27.8 °C and TEsC at 28.6 °C.

196 The RH% presented an inverse behavior to the air temperature. The RH ranged from 37% to
 197 63% for all treatments and times evaluated. At 06:00h, the highest RH was verified for all treatments,
 198 being 62% for TCO and TEsC and 63% for TEsA. From then onwards, there was a gradual decrease until
 199 the time of 2 pm with lower RH for all treatments, being 37% for TEsC, 38% for TEsA, and 46% for
 200 TCO. From 6 pm onwards, the RH rose again with TEsC at 48% and TEsA and TCO at 49%. The
 201 increase in RH remained until 22h with TEsC at 52% and TEsA and TCO at 54%.

202 Table 2 shows the effects of treatment, time, wave, and their respective interactions for the
 203 physiological variables studied.

204

205 **Table 2.** Effects of treatment, hour, wave, treatment x hour, treatment x wave, and hour x wave ($P < 0.001$)
 206 for respiratory rate (RR), rectal temperature (RR), sweating rate (SR), infrared temperature eye
 207 temperature (TIVOlh), forehead infrared temperature (TIVFro), ear infrared temperature (TIVOre), rib
 208 infrared temperature (TIVCos) and flank infrared temperature (TIVFla).

	Treatment	Hour	wave	Treatment x Hour	Treatment x wave
RR	<0,001	<0,001	<0,001	0,0016	<0,001
RT	<0,001	<0,001	<0,001	0,6079	<0,001
SR	<0,001	<0,001	<0,001	0,3973	<0,001
TIVOlh	<0,001	<0,001	<0,001	0,0517	<0,001
TIVFro	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TIVOre	<0,001	<0,001	<0,001	0,0201	0,0067
TIVCos	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TIVFla	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

209

210 There was no triple interaction for any of the evaluated characteristics. There was an interaction
 211 between treatment and waves ($P \leq 0.05$) for the physiological variables RR, RT and SR (Fig. 3).

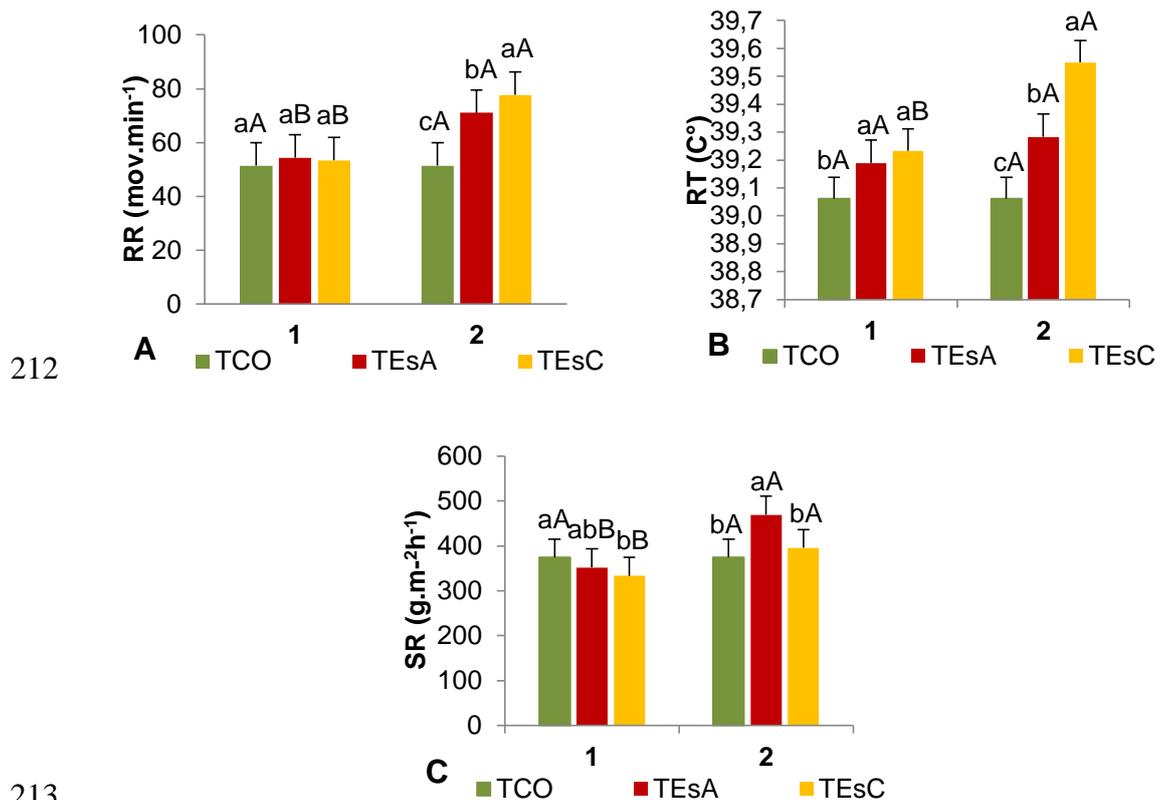
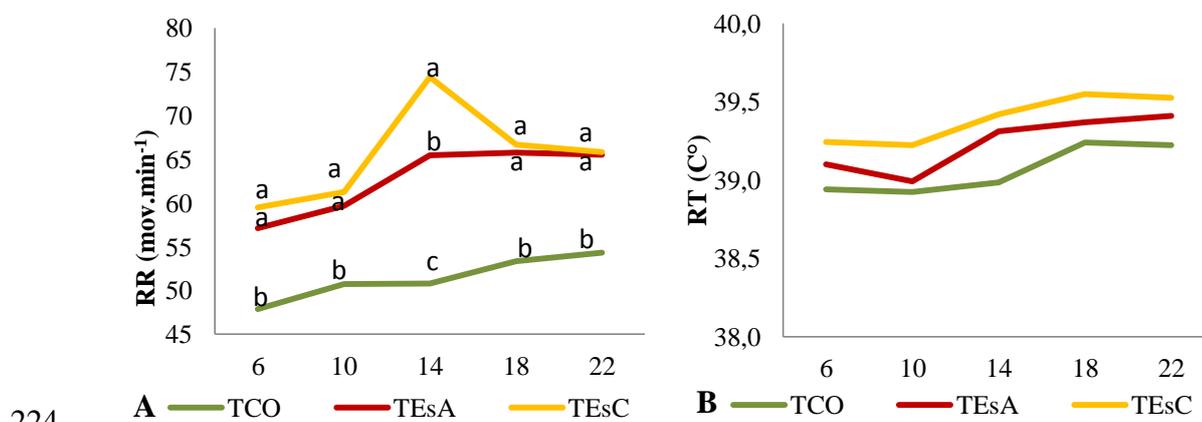


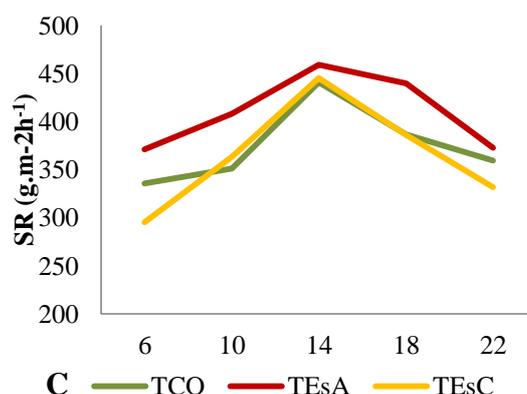
Fig. 3 A Means of respiratory rate (RR), B rectal temperature (RT), C sweating rate (SR) and their respective mean standard errors for the control treatment (TCO), acute stress treatment (TEsA) and chronic stress treatment (TEsC)

* Lowercase letters differ the treatments within each wave ($p \leq 0.05$)

* Capital letters differ in treatments between waves 1 and 2 ($p \leq 0.05$)

As shown in Fig. 3, it was observed that in the 2nd heatwave the animals presented higher values for RR, RT and SR than in the 1st wave. There was an interaction between treatment and times for RR ($p \leq 0.05$). As for the RT and SR variables, there was no interaction between treatment and time (Fig. 4).





225

226 **Fig. 4 A** Respiratory rate (RR), B rectal temperature (RT) and C sweat rate (SR) values for the interaction
 227 between treatments and time. Control treatment (TCO), acute stress treatment (TEsA) and chronic stress
 228 treatment (TEsC)

229

230 There was a treatment and time effect ($P \leq 0.05$) for the RR variable, with TEsA and TEsC
 231 differing from each other only at 14h, with RR of 66 and 74 mov.min-1, respectively. At 6:00 am, 10:00
 232 am, 6:00 pm and 10:00 pm, TEsA and TEsC had similar FR, while TCO had the lowest FR at all times.

233 By analyzing Fig. 4 A, it was observed that the RR in the TCO rose gradually and from 6 am to 6
 234 pm and maintained the same response until 10 pm. In the TEsA and TEsC, the behavior was different,
 235 with the RR rising from 06:00 to 14:00 for both treatments, after 14:00 there was a sharp drop in RR until
 236 18:00 in the TEsC, while in the TEsA the RR remained similar from the 2 pm to 6 pm. From 18h
 237 onwards, RR was similar for TEsA and TEsC, remaining similar until 22h. In Fig.4 B, although there is
 238 no treatment x time interaction for the RT, it was possible to observe its behavior over the times, which
 239 were higher for the TEsA and TEsC, with the highest RT values being verified in the TEsC at 6 pm and
 240 10 pm, both with RT of 39.5 °C.

241 The table 3 shows the animals' response to the RR, RT and SR variables according to the
 242 temperature variation in the climatic environment during the study.

243 **Table 3.** Physiological responses of animals according to temperature variation in the climatic
 244 environment.

T (°C)	RR (mov.min ⁻¹)	RT (°C)	SR (g.m-2h ⁻¹)
24 to 25 °C	48 to 59	38,9 to 39,2	295 to 371
26 to 29 °C	51 to 61	38,9 to 39,2	351 to 408
29 to 31 °C	53 to 67	39,2 to 39,5	386 to 440
29 to 36 °C	51 to 74	39 to 39,4	441 to 460

245

246 For TIVs, there was a treatment x wave interaction ($P \leq 0.001$) for the variables TIVOlh, TIVFro,
 247 TIVOre, TIVCos and TIVFla (Table 4).

248

249 **Table 4.** Infrared temperature means of the eye (TIVOlh), forehead (TIVFRO), ear (TIVOre), rib
 250 (TIVCos) and flank (TIVFLA) for the interaction between treatments (TCO, TEsA and TEsC) and waves
 251 (1 and 2) ($P \leq 0.001$).

Variables	Wave 1			Wave 2		
	TCO	TEsA	TEsC	Tco	TEsA	TEsC
TIV Olh M \grave{a} x (°C)	36,9 ^{aB}	37,2 ^{aA}	37,1 ^{aA}	36,9 ^{aC}	37,3 ^{aB}	37,6 ^{bA}
TIV Fro M \acute{e} d (°C)	31,9 ^{aC}	32,5 ^{bB}	32,9 ^{bA}	31,9 ^{aC}	33,1 ^{aB}	33,6 ^{aA}
TIV Ore M \acute{e} d (°C)	35,7 ^{aC}	36,2 ^{bB}	36,6 ^{bA}	35,7 ^{aC}	36,6 ^{aB}	37,0 ^{aA}
TIV Cos M \acute{e} d (°C)	32,4 ^{aC}	33,2 ^{bB}	33,6 ^{bA}	32,4 ^{aC}	33,9 ^{aB}	34,6 ^{aA}
TIV Fla M \acute{e} d (°C)	32,7 ^{aC}	33,5 ^{bB}	33,9 ^{bA}	32,7 ^{aC}	34,0 ^{aB}	34,8 ^{aA}

252 * Lowercase letters differ treatments between waves

253 *Capital letters differ the treatments from each other within each wave

254 TCO- control treatment; TESA- acute stress temperature; TEsC-temperature chronic stress

255

256 The lowest TIV value was observed in the TCO for TIVFro (31.9 °C) and the highest value was
 257 observed in the TEsC for TIVOlh (37.6 °C).

258 The correlations between RR, RT and SR and the temperatures obtained in TIVOlh, TIVFro,
 259 TIVOre, TIVCos and TIVFla during the experimental period ranged from 0.13 to 0.46 (Table 5).

260

261 **Table 5.** Correlations between respiratory rate (RR), rectal temperature (RT), sweating rate (SR), infrared
 262 eye temperature (TIVOlh), infrared forehead temperature (TIVFro), infrared ear temperature (TIVOre),
 263 infrared rib temperature (TIVCos), and infrared flank temperature (TIVFla) ($p < 0.0001$).

Variables	RR	RT	SR	TIVOlh	TIVFro	TIVOre	TIVCos	TIVFla
RR	-	0,42	0,28	0,48	0,38	0,46	0,46	0,41
RT		-	0,13	0,55	0,35	0,48	0,36	0,36
SR			-	0,25	0,27	0,26	0,31	0,27
TIVOlh				-	0,64	0,64	0,59	0,59
TIVFro					-	0,58	0,84	0,85
TIVOre						-	0,53	0,51
TIVCos							-	0,94
TIVFla								-

264

265 The TIV'S that best correlated with RR and RT were TIVOlh, TIVOre and TIVCos. Overall,
 266 positive correlations ranging from weak to moderate ($p < 0.001$) were observed. Weak correlations were
 267 observed between RT and SR (0.13), TIVOlh with SR (0.25), TIVOre with SR (0.26) and RR with SR
 268 (0.28). Moderate correlations were observed for RR with RT (0.42), TIVOlh with RR (0.48), TIVOlh
 269 with RT (0.55), TIVOre with RR (0.46) and TIVOre with RT (0.48) TIVOlh with TIVOre (0.64) and
 270 TIVCos with RR (0.46).

271 The behaviors of body surface temperatures throughout the day that presented the best
 272 correlation with RR and TR were TIVOlh and TIVOre (Fig. 5).

273

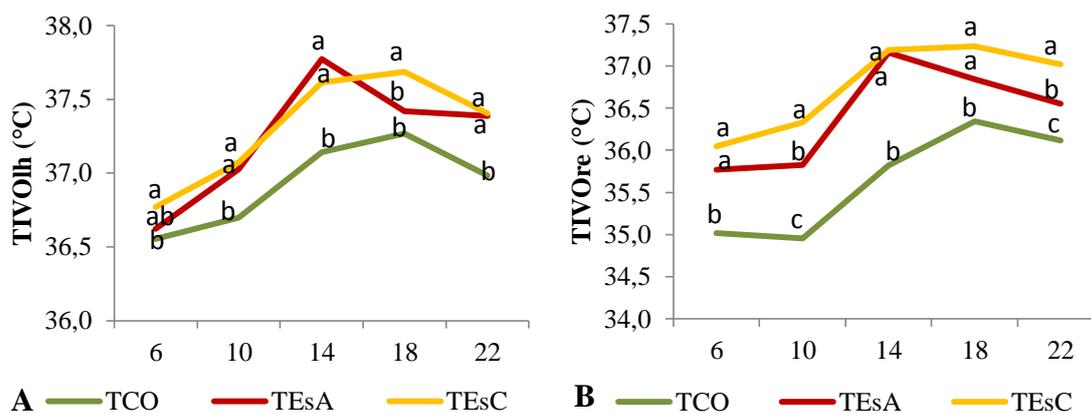


Fig. 5 A Infrared eye temperature (TIVOlh) values, B infrared ear temperature (TIVOre). Control treatment (TCO), acute stress treatment (TEsA), chronic stress treatment (TEsC) and evaluated schedules.

There was an interaction effect between treatment and schedule for TIVOlh and TIVOre ($P \leq 0.05$). At all times, TCO had lower temperatures when compared to TEsA and TEsC. For TIVOlh, at 2 pm, the hottest time of the day, temperatures were similar between TEsA (37.8 °C) and TEsC (37.7 °C), both being lower ($p < 0.01$) than TCO (37.1 °C). For TIVOre, at this same time, the same behavior was observed for TEsA (37.2 °C) and TEsC (37.2 °C), both differing only from TCO (35.9 °C). The means found for TIVOlh and TIVOre showed the best correlation with RT and RR compared to TIV'S from other body regions, demonstrating that these regions are of great importance in studies related to comfort and thermal stress.

Discussion

According to Baêta and Sousa (2010), the thermoneutral temperature zone for young calves is located in the range between 18 and 21 °C and they consider it as a critical temperature below 10 °C and a critical temperature above 26 °C. In this study, the means observed in all treatments were above the upper critical temperature with mean values of 27 °C for TCO, 29 °C for TEsA and 30 °C for TEsC as well as for the maximum recorded values of 31 °C for TCO and 36 °C for TEsA and TEsC. The mean RH during the study for TCO (54%), TEsA (52%) and TEsC (51%) are within the threshold proposed by Baêta e Sousa (2010), which considers acceptable values between 50 and 70% for a good functioning of thermal exchanges between the animal and the environment. The maximum RH values reached for TCO (80%), TEsA (73%) and TEsC (72%) probably did not harm the thermal exchanges with the environment, since the maximum values reached were at 06:00 in the morning when the room temperature was milder.

The THI averages verified for the TEsA and TEsC (77 and 78, respectively) and the maximum THI reached for the TCO (78), TEsA and TEsC (85) indicated that the animals were challenged during the heat waves and that they were waiting that the physiological responses were high. According to Kovacs et al. (2019), pre-weaning Holstein calves when they are in an extreme heat environment with the UTI ranging between thresholds 78 and 88 indicate thermal stress, as the physiological measurements in these conditions are changed to higher values. Kovacs et al. 2019 observed in their study that during acute stress (days 1 and 2) when the UTI was at 78, the RR was at 46 mov.min⁻¹ and the RT at 39.1 °C, and when the UTI was at 88, the animals increased the RR to 83 mov.min⁻¹ and TR to 39.4 °C.

306 In the present study, for the two-color waves in all treatments, the RR was above 21 to 25
307 mov.min-1, a value considered normal for calves in comfort (Reece, 2006). The RR increased in the
308 TEsA and TEsC from 10 am until reaching its maximum peak at 2 pm, demonstrating that in the hottest
309 times of the day, the animals mainly used their evaporative pathways (Fig. 4 A). These results corroborate
310 those found by Kovács et al. (2018) where the authors reported that during the initial phase of heat stress,
311 forced breathing is the first response to deal with the hot environment. It is important to emphasize that in
312 the TEsC the animals had a higher RR than the TEsA in the hottest part of the day, showing that the
313 animals were not able to acclimate after acute stress. This is also confirmed by observing the responses of
314 the animals during the two heat waves (Fig. 3A), and it is possible to notice that the 2nd heatwave was
315 more impactful than the 1st wave, as the animals increased their RR, SR and RT concerning the first
316 wave.

317 The RT in all evaluated treatments exceeded the considered ideal range of 38 to 39.3 °C at some
318 point of the day (Robinson 1999; Dukes 1996 and Robertshaw 2006). The highest values for RT occurred
319 in the 2nd wave in the TEsC reaching 39.5 °C for the hours of 18h and 22h, showing that the animals
320 were not able to reduce the RT even with the air temperature of the climatic chamber being reduced there
321 was an increase in RT. Du Preez (2000) reports that if the RR and SR are not enough to dissipate heat,
322 there is an increase in RT above the limit considered normal 39.5 °C, a statement that corroborates the
323 results found in this study. It was possible to notice that the 13-day interval between heat waves did not
324 seem to be enough for the animals to recover before facing another heatwave (Fig. 3). It was also possible
325 to observe that all TIV'S were higher in the TEsA and TEsC during the 2nd wave compared to the 1st
326 wave (Table 4).

327 During the 2nd wave, it was possible to notice that the animals used both latent and sensitive
328 mechanisms as physiological adjustments. This could have happened due to the 13-day interval between
329 the 1st and 2nd wave, which might not have been enough for the animals' full recovery, or even due to a
330 cumulative effect of the 1st wave. The results of this study contrast with those observed by Brown-Brandl
331 et al. (2003), who, studying the acclimatization of beef cattle in a climatic chamber, noticed a metabolic
332 change between acute and chronic heat stress, where the heat production by the animals increased in the
333 acute phase and decreased in the chronic phase, as well as the RT and RR at certain times of the day,
334 demonstrating that the animals were able to acclimate.

335 The average of RR involving all times for the TEsC (66 mov.min-1) was higher than for the
336 TEsA (63 mov.min-1), that is, in the TEsC the animals, in addition to not decreasing the RR, panted
337 more. These results are different from those found by Wallage et al. (2021), in which the animals
338 presented RR of 66 mov.min-1 in acute stress and 42 mov.min-1 in chronic stress, apparently
339 demonstrating acclimatization. These results demonstrate that in the 1st wave, even with the high RR in
340 the hottest hours, the average RR was within the expected range. While the increase in RF in the 2nd
341 wave was more evident. This is confirmed by the analysis of the means found for the treatment x wave
342 interaction. In which, in the 1st wave, the RR of the animals in the TCO was 52 mov.min-1, in the TEsA
343 54 mov.min-1 and in the TEsC 53 mov.min-1. While in the 2nd wave the RR in the TCO was 52
344 mov.min-1, in the TEsA 71 mov.min-1 and in the TEsC 78 mov.min-1.

345 The correlation (r) between RR and RT was 0.42 for weaned calves. For this animal category, no
346 studies were found evaluating this correlation. However, for dairy cows, a higher correlation was found
347 for RR and RT ($r=0.55$) in the study by Martello et al. (2010). This result may indicate the existence of a
348 less linear relationship between these physiological characteristics for weaned heifers when compared to
349 the lactating cow category.

350 In this study, the means found for SR were higher than those found by Maia et al. (2005), who,
351 studying Holstein cows in a tropical climate region at 36 °C, found an average SR of 269.13 g.m-2h⁻¹. As
352 far as the literature search, no reference values were found for Holstein heifers regarding this variable.
353 Probably due to the lack of studies referencing the sudative capacity of heifers.

354 The TIV'S of the eye and ear showed better correlations with RR and RT, showing that they are
355 important and promising regions in studies related to heat stress, as they are easily accessible regions for
356 recording images, in addition to being a method of collecting Fast and non-invasive data for animals.

357 In this study, the mechanisms of latent heat loss were evident in the 1st and 2nd wave, through
358 respiration and skin evaporation due to the high values observed for RR and SR observed in the TE_sA
359 and in the TE_sC, and in the 2nd wave, the values in the TE_sC were higher. In the 2nd wave, it was
360 possible to notice that the animals used sensitive and latent heat loss mechanisms since there was an
361 increase in TR and TIV'S, both more accentuated in the TE_sC. The sensitive heat loss mechanisms
362 seemed to have been insufficient, demanding a trigger also of the latent heat loss mechanisms in the TE_sC
363 in the 2nd wave, as it was observed not only an increase in RR and SR (latent mechanisms) but also an
364 increase of RT and TIV'S (sensitive mechanisms). These results demonstrated that TE_sC was more
365 challenging than TE_sA, especially in the 2nd heatwave. The 14h time was the time that the animals most
366 used the loss of latent heat through the increase in RR, reaching the maximum values for the TE_sA (65
367 mov.min-1) and TE_sC (74 mov.min-1), and, at TE_sC the highest RR was verified at this time.

368

369 **Conclusion**

370 Thermoregulatory responses were affected by hot flashes and whether in acute or chronic stress.

371 In the 1st heatwave, the use of latent mechanisms for physiological adjustments of heat
372 dissipation was more evident. On the other hand, during the 2nd heatwave, both latent and sensitive
373 mechanisms were used for physiological adjustments of heat dissipation.

374 Chronic stress was more challenging for the animals than acute stress.

375 More studies are needed evaluating intervals other than 13 days between heat waves to verify
376 whether animals can acclimate during the occurrence of heat waves that promote chronic stress.

377

378 **Acknowledgements**

379 “This work was performed with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education
380 Personnel – Brazil (CAPES) - Financing Code 001”.

381

382 **References**

383

- 384 ALMEIDA GLP, PANDORFI H, BAPTISTA F, GUISELINI C, BARNABÉ JMC 2016 Eficiência
385 térmica de abrigos individuais para bezerras Girolando em regiões semi-áridas brasileiras. Eng Agríc
386 36:1-10. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p13-23/2016>
387
- 388 AMAKIRI SF, MORDI R (1975) The rate of cutaneous evaporation in some tropical and temperate
389 breeds of cattle in Nigeria. Ani Prod 20:63-68. <http://doi:10.1017/s0003356100035017>
390
- 391 BAETA FC, SOUZA CF (2010) *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2nd edn, Viçosa,
392 Brazil
393
- 394 BEATTY DT, BARNES A, TAYLOR E, PETHICK D, MCCARTHY M, MALONEY SK 2006
395 Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity
396 J Anim Sci 84:972-985. <http://doi:10.2527/2006.844972x>
397
- 398 BERNABUCCI U, LACETERA N, BAUMGARD LH, RHOADS RP, RONCHI BE, NARDONE A
399 (2010) Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. Animal 4:1167-
400 1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
401
- 402 BIANCA W (1965) Section A. Physiology. Reviews of the progress of dairy science. Cattle in a hot
403 environmental. J Dairy Res 32:291-345. <https://doi:10.1017/S0022029900018665>
404
- 405 BITENCOURT DP, FUENTES MV, MAIA PA, AMORIM FT (2016) Frequência, Duração,
406 Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. Rev Bras de Meteorol 31:506-517.
407 <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150077>
408
- 409 BROWN-BRANDL TM, NIENABER JA, EIGENBERG RA, HAHN GL, FREETLY H (2003)
410 Thermoregulatory responses of feeder cattle. Journal of Thermal Biology 28:149-157
411 [https://doi:10.1016/s0306-4565\(02\)00052-9](https://doi:10.1016/s0306-4565(02)00052-9)
412•
- 413• DONOVAN GA, BADINGA L, COLLIER RJ, WILCOX CJ, BRAUN RK (1986) Factors influencing
414 passive transfer in dairy calves. J Dairy Sci 69:754-759 [https://doi:10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80464-7](https://doi:10.3168/jds.S0022-0302(86)80464-7)
415 DUKES HH (1996) *Fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro, Brazil
416
- 417 DU PREEZ JH (2000) Parameters for determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South
418 Africa Onderstepoort J Vet Res 67:263-271
419
- 420 EUSTÁQUIO FILHO A, TEODORO SM, CHAVES MA, SANTOS PEF, SILVA MWR, MURTA RM,
421 CARVALHO GGP, SOUZA LEB (2011) Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com
422 base nas respostas fisiológicas. R Bras Zootec 40:1807-1814 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000800026>
423
424
- 425 FERREIRA F, PIRES MFA, MARTINEZ ML, COELHO SG, CARVALHO AU, FERREIRA PM,
426 FACURY FILHO EJ, CAMPOS WE (2006) Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao
427 estresse calórico. Arq Bras Med Vet Zootec 58:732-738 <https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005>
428
429
- 430 GERALDO ACAPM (2013) *Termotolerância em fêmeas bovinas: abordagens celular e fisiológica*.
431 Thesis, Universidade de São Paulo, Brazil
432
- 433 HAHN GL, MADER TL (1997). Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and
434 mortality of feedlot cattle. In: Bottcher RW and Hoff SJ (ed) American Society of Agricultural Engineer,
435 St. Joseph, MI. pp.563-571.
436
- 437 HENDERSON B, GERBER P, OPIO C (2011) Livestock and climate change, challenges and options.
438 Anim Sci 1:29-37 <https://doi:10.1079/pavsnnr20116016>
439
- 440 HERBUT P, ANGRECKA S, WALCZAK J (2018) Environmental parameters to assessing of heat stress
441 in dairy cattle-a review. Int J Biometeorol 62:2089-2097 <https://doi:10.1007/s00484-018-1629-9>
442

- 443 INDU S, PAREEK A (2015) A Review: Growth and Physiological Adaptability of Sheep to Heat Stress
444 under Semi-Arid Environment. *I J Emerg Trends Sci Tec* 2:3188-3198 <https://doi:10.18535/ijetst/v2i9.09>
445
- 446 KOVÁCS L, KÉZÉR FL, RUFF F, JURKOVICH V, SZENCI O (2018) Heart rate, cardiac vagal tone,
447 respiratory rate and rectal temperature in dairy calves exposed to heat stress in a continental region. *Int J*
448 *Biometeorol* 62:1791-1797 <https://doi:10.1007/s00484-018-1581-8>
449
- 450 KOVÁCS L, KÉZER FL, PÓTI P, BOROS N, NAGY K (2019) Short communication: Upper critical
451 temperature-humidity index for dairy calves based on physiological stress parameters. *J Dairy Sci*
452 103:2707-2710 <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17459>
453
- 454 MAIA ASC, SILVA RG, LOUREDO BCM (2005) Sensible and latent heat loss from body surface of
455 Holstein cows in a tropical environment. *Int J Biometeorol* 50:17-22 [http://dx.doi.org/10.1007/s00484-](http://dx.doi.org/10.1007/s00484-005-0267-1)
456 [005-0267-1](http://dx.doi.org/10.1007/s00484-005-0267-1)
457
- 458 MCLEAN JA (1963) The partition of insensible losses of body weight and heat from cattle under various
459 climatic conditions. *J Physiol* 167:427-447 <https://doi:10.1113/jphysiol.1963.sp007160>
460
- 461 MARTELLO LS, JÚNIOR HS, SILVA SDL, BALIEIRO JCC (2010) Alternative body sites for heat
462 stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal
463 discomfort of the animals. *Int J Biometeorol* 54:647-652 <https://doi:10.1007/s00484-009-0268-6>
464
- 465 MELO EC (2019) O programa computacional GRAPSI. OMM. Reports published through the World
466 Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) series. WCDMP-Nº.47, WMO-TD Nº1071
467 <https://www.evandro.eng.br/grapsi> Accessed 20 June 2021
468
- 469 RASHAMOL VP, SEJIAN V, BAGATH M, KRISHNAN G, ARCHANA PR, BHATTA R (2018)
470 Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *J Anim Behav Biometeorol* 6:62-
471 71 <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n3p62-71>
472
- 473 REECE WO (2006) *Respiração nos mamíferos*. Dukes: Fisiologia dos animais domésticos. Rio de Janeiro, Brazil
474
- 475 RENAUDEAU D, COLLIN A, YAHAV S, BASILIO V, GOURDINE JL, COLLIER RJ (2012)
476 Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6:707-728
477 <https://doi:10.1017/S1751731111002448>
478
- 479 ROBERTSHAW D (2006) Regulação da temperatura e o ambiente térmico. In: Reece WO (ed) *Dukes, Fisiologia dos*
480 *animais domésticos*. Rio de Janeiro, Brazil, pp 898
481
- 482 ROBINSON EM (1999) Termorregulação. In: CUNNINGHAM JG (ed) *Tratado de fisiologia veterinária*,
483 2nd edn. Rio de Janeiro, Brazil, pp 427-435
484
- 485 SCHLEGER AV, TURNER HG (1965) Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal
486 and seasonal changes. *Aust J Agric Res* 16:92-106 <https://doi.org/10.1071/AR9650092>
487
- 488 SILVA RG (2000) *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo, Brazil
489
- 490 SILVA FDG (2015) Variações anátomo-fisiológicas face à aclimação sazonal - estudo em vacas
491 leiteiras com diferente potencial leiteiro. Dissertation, Universidade Évora, Portugal
492
- 493 SKUCE PJ, MORGANA ER, VAN DIJKA J, MITCHELLA M (2013) Animal health aspects of
494 adaptation to climate change: beating the heat and parasites in a warming Europe. *Animal* 7:333-345
495 <https://doi.org/10.1017/S175173111300075X>
496
- 497 SNOWDER GD, VAN VLECK LD, CUNDIFF LV, BENNETT GL (2006) Bovine respiratory disease in
498 feedlot cattle: Environmental, genetic, and economic factors. *J Anim Sci* 84:1999-2008
499 <https://doi:10.2527/jas.2006-046>
500
- 501 SOSSIDOU EN, TSIPLAKOU E, ZERVAS G (2014) Options for managing livestock production
502 systems to adapt to climate change. *J Earth Sci and Eng* 4:415-427
503

- 504 VIRTALA A, MECHOR MKG D, GROHN YT, ERB HN (1996) The effect of calfhood diseases on
505 growth of female dairy calves during the first 3 months of life in New York State. J Dairy Sci 79:1040–
506 1049 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76457-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76457-3)
507
- 508 VITALI A, FELICI A, ESPOSITO S, BERNABUCCI U, BERTOCCHI L, MARESCA C, NARDONE
509 A, LACETERA N (2015) The effect of heat waves on dairy cow mortality. J Dairy Sci 98:4572-4579
510 <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9331>
511
- 512 XAVIER AC, KINGB CW, SCANLONC BR (2016) Daily gridded meteorological variables in Brazil
513 (1980-2013). I J Climatol 36:2644-2659 <https://doi.org/10.1002/joc.4518>
514
- 515• WALLAGE AL, LEES AM, LISLE AT, LEES JC, JOHNSTON SD, GAUGHAN JB (2021)
516 Thermoregulation of the bovine scrotum 2: simulated acute and chronic heat waves reduces the scrotal
517 hermeregulatory capability of Wagyu bulls. Int J Biometeorol [https://doi: 10.1007/s00484-021-02108-x](https://doi.org/10.1007/s00484-021-02108-x)