



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OVINOS NATIVOS

NÁGELA MARIA HENRIQUE MASCARENHAS

CAMPINA GRANDE - PB

SETEMBRO – 2022

NÁGELA MARIA HENRIQUE MASCARENHAS

ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OVINOS NATIVOS

Tese de doutorado a ser apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor, em Engenharia Agrícola, com ênfase na área de Construções Rurais e Ambiência.

Orientador: Prof. Dr Dermeval Araújo Furtado

Área de Concentração: Construções Rurais E Ambiência

CAMPINA GRANDE - PB

SETEMBRO – 2022

M395i Mascarenhas, Nágela Maria Henrique.
Índice de estresse térmico para ovinos nativos / Nágela Maria Henrique Mascarenhas. - Campina Grande, 2022.
71 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.
"Orientação: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado"
Referências.

1. Ovinos Nativos. 2. Estresse Térmico. 3. Construções Rurais e Ambiência. 4. Adaptação. 5. Respostas Fisiológicas. 6. Rusticidade. 7. Plasticidade Fenotípica. I. Furtado, Dermeval Araújo. II. Título.

CDU 636.3(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

NÁGELA MARIA HENRIQUE MASCARENHAS

ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OVINOS NATIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 05/09/2022

Dermeval Araújo Furtado - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

José Pinheiro Lopes Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

José Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Neila Lidiany Ribeiro - Examinador(a) Externo(a) - INSA

Valéria Peixoto Borges - Examinador(a) Externo(a) - CCA/UFPB



Documento assinado eletronicamente por **Neila Lidiany Ribeiro, Usuário Externo**, em 15/09/2022, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 15/09/2022, às 14:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Valeria Peixoto Borges, Usuário Externo**, em 16/09/2022, às 17:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

Documento assinado eletronicamente por **JOSE WALLACE BARBOSA DO NASCIMENTO, PROFESSOR**



3 GRAU, em 03/10/2022, às 15:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 06/10/2022, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2730282** e o código CRC **C17D5529**.

Referência: Processo nº 23096.054804/2022-26

DEDICATÓRIA

A todos os estudantes, que durante o período pandêmico, se colocaram em risco à disposição da ciência, para correr atrás dos seus objetivos!

À vocês, dedico!

AGRADECIMENTOS

Se me perguntarem o que existe de mais extraordinário e sublime nessa intrigante experiência que é viver, eu responderia e respondo: as pessoas e as marcas que elas deixam em nossas vidas. Aquelas pessoas que sempre estão lá, aquelas que passaram só um período, aquelas que ainda irão aparecer, porque a vida tem dessas coisas. Então, eu me considero uma pessoa especialmente sortuda por ter encontrado pessoas fantásticas que deixaram e continuam deixando marcas incríveis, e também por ter encontrado pessoas não tão fantásticas, que deixaram outras marcas, mas que serviram de aprendizado e ainda servem.

Na lista de agradecimentos deste trabalho, o professor Dermeval, tem um espaço especial. Desde o primeiro contato, na minha defesa de mestrado, vi o quanto a seriedade e rigorosidade com que ele levava a pesquisa científica, me impulsionaria aos caminhos que futuramente queria seguir, vi no professor o modelo de profissional inspirador. Como disse, o professor é rigoroso, mas ao mesmo tempo delicado e amigável, sempre aberto a discussões, seja no âmbito profissional ou pessoal. Obrigada pela oportunidade.

Na lista de agradecimento da minha vida, só vem a minha família. Mainha e Painho, que tanto fizeram e ainda fazem por mim, e Dudu, minha irmã. Eu não poderia ter nascido em um lugar diferente, em uma família diferente. Obrigada pela confiança inabalável, espero deixá-los orgulhosos. Amo vocês!

Voltando para o acadêmico, não posso deixar de citar algumas referências fundamentais para a minha formação o professor Nelson (graduação) e o professor Bonifácio (mestrado), que me mostraram o fantástico mundo da bioclimatologia/ambiência, e que até hoje mantenho uma parceria de publicações. Não esquecendo do professor Jackson Leite e da professora Joelma Vieira, que junto comigo, foram quem deram os primeiros passos para o desenvolvimento do experimento, e por uma pedra no caminho (pandemia de COVID-19), não puderam continuar na mesma pesquisa, mas que foram de fundamental importância para que ela se concretizasse. Obrigada a todos vocês!

Além dos nomes já citados acima, também gostaria de agradecer a professor Vinicius Fonseca, que foi uma peça fundamental para o desenvolvimento da pesquisa, apesar de algumas dificuldades, conduziu as discussões/construção do trabalho com maestria. Não esquecendo da Dra. Neila Ribeiro, que também teve contribuições significativa no trabalho. Obrigada a vocês!

Aos amigos mais que especiais Carolina Alves, Jackson Lobo, Witalo Sales, Luanna Batista, Maycon Rodrigues, Ângela Cruz, e mais alguns nomes, que mesmo apesar da distância física, sempre se fizeram presentes, compartilhando os momentos de angústia e os momentos de vitória/alegria. Que nossa amizade perdure pra sempre! Amo vocês!

Por fim, aos amigos que o doutorado me trouxe, e que diante de tantas adversidades que iam surgindo, se mantiveram firme e me mantiveram firme quando tudo parecia desabar. Daniele Melo, Airton Gonçalves, Fabiana Moraes, Mailson Gregório, Karoline Dornelas, Gypson Ayres, Carlos Castro, Lídia Nogueira, Cácio Cavalcanti, Luís Paulo, Patrício Leite, Ariadne Meire, Yokini Chantini, e mais uma infinidade de nomes, obrigada de coração pelos ouvidos sempre disponíveis para minhas divagações teóricas ou bobagens da vida. Aos amigos Fabiana Moraes, Carlos Castro, Airton Gonçalves, Antonio Pires, Ricardo Sousa e Calixto Rodrigues, obrigada pelo o apoio braçal durante o experimento, não foi fácil, mas vocês tornaram mais leve e possível. O pessoal do LaCRA, o pessoal das outras áreas de concentração, aos funcionários, todos merecem um agradecimento por terem tornado o percurso mais leve. O que o doutorado uniu a vida não separa nunca! Amo vocês!

Obrigada Deus, por cuidar de mim e dos meus, e manter minha fé viva, mesmo quando ela queria e/ou quer acabar!

EPÍGRAFE

Lale levou sua vida segundo o lema:

“Se você acorda pela manhã, é um bom dia.”

Morris, Heather. *The Tattooist of Auschwitz*, 2018.

Sumário

| | |
|---|-----|
| LISTA DE TABELAS | v |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE ABREVIATURAS..... | vii |
| RESUMO | 12 |
| ABSTRACT | 13 |
| Introdução..... | 14 |
| 1. Revisão de literatura..... | 16 |
| 1.1 Mudanças climáticas globais | 16 |
| 1.2 Características fisiológicas dos ovinos frente as condições ambientais | 17 |
| 1.3 Animais no semiárido equatorial x comportamento das varáveis fisiológicas.... | 18 |
| Referências | 21 |
| Artigo 1..... | 27 |
| Resumo | 28 |
| Abstract..... | 29 |
| 1. Introdução..... | 30 |
| 2. Materiais e métodos | 31 |
| 2.1 <i>Localização</i> | 31 |
| 2.2 <i>Animais e alojamento</i> | 31 |
| 2.3 <i>Temperaturas</i> | 31 |
| 2.4 <i>Procedimentos experimentais</i> | 32 |
| 2.5 <i>Coleta de dados</i> | 33 |
| 2.5.1 <i>Variáveis ambientais</i> | 33 |
| 2.5.2 <i>Variáveis fisiológicas</i> | 34 |
| 2.6 <i>Análises estatísticas</i> | 35 |
| 3. Resultados e discussão | 35 |
| 3.1 <i>Variáveis ambientais</i> | 35 |
| 3.2 <i>Variáveis fisiológicas</i> | 37 |
| 4. Conclusão..... | 45 |
| Referências | 46 |
| Artigo 2..... | 50 |
| Resumo | 51 |
| Abstract..... | 52 |
| 1. Introdução..... | 52 |
| 2. Materiais e métodos | 54 |

| | |
|--|----|
| <i>Geral</i> | 54 |
| <i>Fase 1</i> | 55 |
| <i>Fase 2</i> | 58 |
| 3. Resultados e Discussão | 58 |
| <i>Desenvolvimento do índice de estresse térmico</i> | 58 |
| <i>Avaliação e validação do índice de estresse térmico</i> | 59 |
| 4. Conclusão..... | 65 |
| Referências | 66 |

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

- Tabela 1. Resumo da análise de variância e comparação de médias para frequência cardíaca (FC) e respiratória (FR), temperatura retal (T_R), da pele (T_P), superficial do pelame (T_{SP}), e do gradiente térmico (T_RT_P) respectivamente, para as condições térmicas avaliadas. 37

Artigo 2

- Tabela 1. Coeficientes de correlação entre a frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}). 59
- Tabela 2. Coeficientes de correlação de cinco índices com a frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}) dos ovinos em câmara climática. 60
- Tabela 3. Coeficiente de correlação entre os índice de temperatura e umidade – ITU 1 (Thom, 1959); índice de temperatura do globo negro e umidade – ITGU (Buffington et al., 1981), índice de temperatura e umidade – ITU 2 (Marai et al., 2007), índice de conforto térmico para ovinos - ICT (Barbosa e Silva, 1995) e índice de estresse térmico IET. 61
- Tabela 4. Valores médios da frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}), de acordo com o nível IET. 64

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

- Figura 1. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) da umidade relativa do ar (UR, %), pressão de vapor atual (E_a , kPa), temperatura do ar (T_A , °C) e temperatura do globo negro (TGN, °C), registrados nos tratamentos. 36
- Figura 2. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) dos índices térmicos, ITU e ITGU, registrados nos tratamentos. 37
- Figura 3. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) das temperaturas da pele (T_P), superficial do pelame (T_{SP}), retal (T_R) e do gradiente térmico (T_{RT_P}) registrados nos tratamentos em ovinos nativos (Soinga - SOI, Morada Nova - MN e Santa Inês - STI) mantidos em câmara climática. 39
- Figura 4. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) das frequências respiratória (FR) e cardíaca (FC) aferidos nos tratamentos em ovinos nativos (Soinga - SOI, Morada Nova – MN e Santa Inês - STI) mantidos em câmara climática. 41
- Figura 5. Frequência respiratória (FR) em função da temperatura retal (T_R). 44
- Figura 6. Frequência respiratória (FR) e temperatura retal (T_R) em função da temperatura de globo negro (T_{GN}). 45

Artigo 2

- Figura 1. Regressão do índice temperatura e umidade (ITU – Thom, 1959) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos. 61
- Figura 2. Regressão do índice temperatura de globo negro e umidade (ITGU – Buffington et al., 1981) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos. 62
- Figura 3. Regressão do índice temperatura e umidade (ITU – Marai et al., 2007) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos. 62
- Figura 4. Regressão do índice de conforto térmico para ovinos (ICT – Silva e Barbosa, 1993) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos. 63
- Figura 5. Regressão do índice estresse térmico (IET – autor) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos. 63
- Figura 6. Valores médios da temperatura retal (T_R) e da frequência respiratória (F_R) dos ovinos, de acordo com os valores do IET. 65

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|--|
| AM | Animais molhados |
| bat.min ⁻¹ | Batimentos por minutos |
| Cm | Centímetros |
| DIC | Delineamento Inteiramente casualizado |
| ea | Pressão parcial de vapor |
| es | Pressão de saturação do vapor d'água |
| FC | Fonte de calor |
| F _C | Frequência cardíaca |
| F _R | Frequência respiratória |
| h | Horas |
| ICT | Índice de Conforto Térmico para ovinos |
| IET | Índice de Estresse Térmico |
| ITGU | Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade |
| ITU | Índice de Temperatura e Umidade |
| LED | Light Emitting Diode – Diodo emissor de luz |
| kg | Quilogramas |
| kPa | Quilopascal |
| m | Metros |
| m ² | Metro quadrado |
| m.s ¹ | Metros por segundo |
| min | Minutos |
| mL | Mililitros |
| mov.min ⁻¹ | Movimentos por minutos |
| s | Segundos |
| T _A | Temperatura Ambiente |
| T _{GN} | Temperatura de globo negro |
| T _{PO} | Temperatura de ponto de orvalho |
| T _R | Temperatura retal |
| T _P | Temperatura da pele |
| T _{SP} | Temperatura superficial do pelame |
| UR | Umidade relativa do ar |
| °C | Graus centígrados |

MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique. **ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OVINOS NATIVOS**. 2022. 71f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

RESUMO

Objetivou-se com essa pesquisa no primeiro capítulo estimar e quantificar os níveis de estresse térmico sofridos por ovinos dos ecótipos Soinga, Morada Nova e Santa Inês quando submetidos a diferentes condições ambientais, em câmara climática, já no segundo capítulo foi desenvolver um índice de estresse térmico para ovinos, utilizando características fisiológicas e ambientais de fácil mensuração. No primeiro capítulo utilizou-se dezoito animais, seis de cada raça (Morada Nova, Santa Inês, Soinga e SRD) foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos a oito condições térmicas (T20+AM, T20, T25, T25+FC, T30, T30+FC, T35 e T35+FC), com umidade relativa entre 60 a 80%. Foram coletados dados de frequência cardíaca (F_C) e respiratória (F_R), temperatura retal (T_R), da pele (T_P) e superficial do pelame (T_{SP}), e calculado o gradiente térmico (T_{RTP}) em cada condição térmica avaliada. Os dados ambientais registrados foram temperatura do ar (T_A), temperatura do globo negro (T_{GN}), umidade relativa (UR), pressão parcial de vapor (ea) e a velocidade do vento (V). Foram calculados valores do índice temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU). As variáveis F_R , F_C , T_R , T_P e T_{SP} modificaram significativamente com o aumento da T_A ($P < 0.01$). Houve diferença nas variáveis fisiológicas dos genótipos e, apesar dos três grupos serem bem adaptados a diferentes condições do ambientais e apresentarem respostas semelhantes, os ovinos Morada Nova são ligeiramente superiores, seguidos dos Soinga e Santa Inês, respectivamente. Para o segundo objetivo, uma análise de componentes principais resumiu as medidas de F_C , F_R , T_R , T_P e T_{SP} em apenas uma variável (y_1). Vários índices foram obtidos por regressão múltipla de y_1 as variáveis ambientais e suas combinações, utilizando o software SigmaPlot. A equação escolhida foi o índice de estresse térmico para ovinos, $IET = 24,153 - (0,0523 * T_A) + (0,746 * T_{GN}) + (4,104 * ea)$, com $R^2 = 0,668$. As correlações dos quatro índices e o IET entre eles, e com as variáveis fisiológicas foram comparadas entre si. As correlações apresentaram altos valores, onde esses valores das correlações foram assumidos como indicativos da eficiência de cada índice como indicadores da resposta dos animais ao ambiente. Assumindo-se assim, que o IET apresenta uma alta eficiência.

Palavras chave: adaptação, repostas fisiológicas, rusticidade, plasticidade fenotípica.

MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique. **THERMAL STRESS INDEX FOR NATIVE SHEEP**. 2022. 71f. Doctoral Thesis. Graduate Program in Agricultural Engineering. Federal University of Campina Grande. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

The present study had two distinct objectives, the first of which was to estimate and quantify the levels of heat stress suffered by sheep of the Soinga, Morada Nova and Santa Inês ecotypes when subjected to different environmental conditions, in a climatic chamber. The second objective was to develop a thermal stress index for sheep, using easily measured physiological and environmental characteristics. For the first objective, eighteen animals, six of each ecotype, were distributed in a completely randomized design and submitted to eight thermal conditions (T20+AM, T20, T25, T25+FC, T30, T30+FC, T35 and T35+FC), with relative humidity between 60 and 80%. Heart rate (HR) and respiratory rate (RR), rectal (R_T), skin (S_T) and superficial coat (C_{ST}) temperature, respiratory rate (RR) and thermal gradient (TRTP) were calculated for each condition. The environmental data recorded were air temperature (A_T), black globe temperature (B_{GN}), relative humidity (RH), partial vapor pressure (Ea) and wind speed (V). Values of the temperature and humidity index (THI), black globe temperature and humidity index (BGHI) were calculated. The addition of A_T significantly ($p < 0.01$) affected the physiological variables of the animals. There was a difference in the physiological variables of the genotypes and, although the three groups were not well adapted to different environmental conditions and presented similar responses, the Morada Nova sheep are slightly superior, followed by the Soinga and Santa Inês sheep, respectively. For the second objective, a principal component analysis summarizes the measures of HR, RR, T_R , T_P and T_{SP} in just one variable (y_1). They were obtained through environmental sources and several variables, using SigmaPlot software. The equation chosen was the thermal stress index for sheep, $TSI = 24.153 - (0.0523 * TA) + (0.746 * TGN) + (4.104 * Ea)$, with $R^2 = 0.668$. The correlations of the four indices (THI 1, BGHI, THI 2 and TCI), and the TSI with the physiological variables were compared. The TSI correlations with HR, RR, R_T , S_T and C_{ST} were 0.379, 0.686, 0.731, 0.846, 0.820 and -0.823, respectively. The values of these correlated animals were assumed as indicators of the efficiency animals' response as indicators of the animals' response. Thus, it is assumed that the TSI has a high efficiency.

Keywords: adaptation, physiological responses, rusticity, phenotypic plasticity.

Introdução

A criação de pequenos ruminantes, como os ovinos, é uma atividade difundida em todo o território nacional, com a maior concentração de cabeças na região semiárida, devido às características produtivas e adaptativas desses animais à região. Onde a maioria do rebanho é criada de maneira extensiva, com alimentação a base da vegetação da Caatinga e predominância de animais sem padrão racial definido ou raças nativas, como o Soinga, Morada Nova e Santa Inês.

A adaptabilidade dos animais pode ser medida através da sua capacidade de manter-se em equilíbrio térmico com o ambiente no qual está inserido e, considerando que animais de alta produção são mais sensíveis aos efeitos do estresse térmico. O baixo desempenho produtivo dos animais na região semiárida pode estar associado as condições climáticas que a região apresenta, pois ao serem expostos a ambientes considerados estressores. Os animais modificam suas funções fisiológicas para dissipar o calor corporal, podendo acarretar alterações nas temperaturas retal e superficial, frequência respiratória, entre outras.

Nas condições ambientais do semiárido, devido às elevadas temperaturas e a alta radiação solar, os mecanismos de transferência de calor, tais como condução, convecção e radiação tornam-se inexpressíveis, ou mesmo tornam-se fontes a mais de ganho de calor, de modo que os meios evaporativos, equivalem a mecanismos mais eficientes para a dissipação do calor extra no animal, evitando o aumento do calor endógeno, o que acarretaria em sérios prejuízos as funções fisiológicas dos animais.

Porém, a perda de calor por mecanismos evaporativos é influenciada por diversos fatores, que estão ligados tanto ao ambiente quanto ao próprio animal. Quanto ao ambiente pode-se citar a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente e, em relação ao animal, a funcionalidade das glândulas sudoríparas, características do pelame, o tipo de pelagem e a cor são características de relevância para a resistência ao calor, pois animais de pelagem escura são mais susceptíveis ao estresse térmico que animais de pelagem clara, devido a maior absorção de radiação térmica.

As variáveis fisiológicas tais como, temperatura retal e superficial, frequência respiratória e cardíaca, taxa de sudorese, características de pelame e de tegumento são utilizados com o intuito de auxiliar a mensuração da adaptabilidade das espécies, através da capacidade do animal em manter sua homeostase, de modo que conhecer a interação existente entre o animal e o ambiente térmico torna-se relevante nas decisões a serem

tomadas no critérios de escolha dos animais para regiões semiáridas, assim como o aperfeiçoamento o manejo utilizado e otimização da produção com o mínimo de perdas possíveis.

Desde que foram reconhecidas as diferenças entre os animais e a sua capacidade de enfrentar as diversas condições climáticas, várias tentativas foram feitas na intenção de estabelecer qual animal é mais apto a um determinado ambiente, além de classificar os ambientes sob o ponto de vista do conforto térmico desses animais. Existem diversos índices cujos objetivos é determinar a adequação de um ambiente com relação a um tipo específico de animal. Tais índices dificilmente podem ser utilizados de forma generalizada, uma vez que determinados fatores ambientais podem ter importância para alguns animais e outros não.

Ovinos nativos apresentam capacidade superior em termos de tolerância ao calor em relação aos ovinos exóticos e, por se tratarem de animais mais adaptados, a faixa de temperatura de zona de conforto é mais ampla, podendo ser explorados em ambientes tropicais, como a região semiárida brasileira, com mínimas perdas na produção. Portanto é necessário conhecer as temperaturas de conforto, temperaturas críticas superiores e os índices de conforto térmico, que proporcionem alterações metabólicas (favoráveis ou desfavoráveis), fisiológicas ou comportamentais dos ovinos.

Desse modo, o objetivo com essa tese foi de estimar e quantificar os níveis de conforto e estresse térmico experimentados por ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês quando submetidos a diferentes condições ambientais, em câmara climática, e desenvolver um índice de estresse térmico para ovinos, utilizando características fisiológicas e ambientais de fácil mensuração.

1. Revisão de literatura

1.1 Mudanças climáticas globais

Mudanças climáticas são definidas como desequilíbrios das condições climáticas habituais que persistem por um período prolongado (IPCC, 2007; Bernabucci et al., 2010) e, provavelmente será um dos principais desafios que a humanidade enfrentará durante o século atual. Alterações nas temperatura do gelo ártico e antártico, ondas de calor frequentes, flutuações nos padrões das chuvas, acidificação do oceano, eventos climáticos extremos frequentes, como a seca, são alguns dos efeitos hostis das mudanças climáticas (UNFCCC, 2014; Sejian et al., 2019).

Segundo dados selecionados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2013), indicaram um aumento na temperatura superficial terrestre e do oceano de 0,85°C, variando de 0,65 – 1,06°C, no período compreendido entre os anos de 1880 à 2012, e no relatório do IPCC de 2014, estima-se que a temperatura do globo terrestre se eleve para uma faixa de 2,6 a 4,8°C até o final deste século.

A preocupação com o conforto térmico dos animais agrícolas é justificável, não somente em países de zonas tropicais, mas também para as zonas temperadas, já que o aumento das temperaturas ambientes estão se tornando um problema (Nardone et al., 2010). Os efeitos das mudanças climáticas refletem no aspecto qualitativo dos alimentos, sendo necessário modelos de predição diferentes par cada localidade global (Reynolds et al., 2010; Pandorfi, 2017).

A atividade agropecuária nas regiões tropicais e subtropicais vem apresentando crescimento significativo em termos de produção e produtividade, porém, devido ao aquecimento global, o rendimento tende a cair em até 20% (Jones e Thornton, 2013) até o ano 2050, o que para McManus et al. (2011) provocará efeitos negativos na produtividade agropecuária.

Assim, em termos de adaptação, a maneira mais rápida de melhorar o desempenho, bem-estar, produção e reprodução dos animais é alterando o ambiente no qual estão inseridos (West, 2003; Mader et al., 2006). Entretanto, modificar o ambiente pode ser economicamente inviável ou insustentável (Bernabucci et al., 2010), de modo que a termotolerância dos animais seja melhorada sem afetar sua produção, pode trazer vantagens econômicas, tanto para os produtores como para os consumidores.

1.2 Características fisiológicas dos ovinos frente as condições ambientais

A exploração de pequenos ruminantes no Brasil, como a ovinocultura, está em constante evolução, já que os ovinos possuem capacidade de adaptar-se as variadas condições climáticas do país, a qual permitem sua criação em diferentes sistemas de produções (Santos et al., 2021). Além da exploração comercial de raças exóticas, existem as raças provenientes de cruzamentos aleatórios, em que permaneceram sob seleção natural em determinados ambientes, adquirindo assim, características específicas de adaptação a nova condição, conhecidas como crioulas, locais, nativas ou naturalizadas (Eustáquio Filho et al., 2011; Turco et al., 2013; Dantas et al., 2015).

Na região Nordeste, entre os anos de 2006 a 2017, os rebanhos de ovinos e caprinos cresceram simultaneamente, onde o efetivo de ovinos passou de 7,7 milhões de cabeças para aproximadamente 9 milhões, aumento de 15,94% (Embrapa, 2018) e, o semiárido brasileiro deteve 90% do efetivo do rebanho de caprinos e ovinos, e mesmo com cinco anos de seca, o rebanho de caprino e ovinos cresceu 18%, evidenciando a grande adaptabilidade desses animais.

Dentre os fatores que afetam o potencial produtivo dos pequenos ruminantes, o estresse térmico é um dos que exerce grande influência (Rivington et al., 2009), sendo este estresse definido como a combinação de condições ambientais em que a temperatura efetiva ambiente seja superior a faixa de termoneutralidade do animal, sendo esta temperatura influenciada por quatro principais fatores ambientais, são eles: temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar, radiação e velocidade do vento, de modo que, uma combinação precisa das condições ambientais na qual o estresse térmico começa é complexo (Buffington et al., 1981; Neves et al., 2009).

O ambiente térmico que rodeia o corpo dos animais é composto por diversos elementos climáticos, onde todos esses elementos isolados ou combinados (em diferentes proporções) podem desencadear uma série de alterações nas funções biológicas, que pode afetar negativamente a sanidade, produção e a reprodução dos animais (Marai et al., 2006; Silva et al., 2010).

O estresse térmico pode ter consequências profundas na qualidade dos produtos finais provindos de pequenos ruminantes, como alterações nos atributos físico-químicos e sensoriais da sua carcaça (Hashem et al., 2013), onde a elevação no consumo de água e redução da ingestão de alimentos altera as funções digestivas e metabólicas, podendo resultar em uma carne de qualidade inferior.

A zona de conforto térmico (ZCT) recomendada para ovinos é temperatura do ar entre 15 a 30 °C e umidade relativa do ar entre 50 a 70% (Baêta e Souza, 2010; Eustáquio Filho et al., 2011), com velocidade do vento entre 1,3 e 1,9 m s⁻¹ (McDowell, 1989), sendo que ovinos mantidos acima ou abaixo da ZCT utilizam mecanismos termorregulatórios para manutenção térmica, e estes animais demonstram boa capacidade de tolerância ao calor em ambiente com valores de temperatura e umidade relativa do ar elevados ou baixas, como ocorrem na região semiárida no período diurno.

Pesquisas em regiões áridas e semiáridas sobre a capacidade de tolerância ao calor em pequenos ruminantes relatam temperaturas acima da temperatura crítica superior (Baêta e Souza, 2010), que foi de 35°C, além de demonstrarem a adaptabilidade dos animais a temperaturas e umidades relativas do ar baixas, também apontam em qual ITGU os ovinos mostraram situações confortáveis (Quesada et al., 2001; Souza et al., 2002; Cezar et al., 2004; Santos et al., 2006; Andrade et al., 2007; Bezerra et al., 2011; Santos et al., 2011; Souza et al., 2012; Dantas et al., 2015; Pires et al., 2015; Nobre et al., 2016; Furtado et al., 2017; Torres et al., 2017; Mascarenhas, 2018), demonstrando a capacidade adaptativa dos pequenos ruminantes à região semiárida brasileira.

Animais nativos, como o caso de ovinos da raça Morada Nova e Santa Inês, apresentam capacidade superior em termos de tolerância ao calor em relação aos ovinos exóticos e, por se tratarem de animais mais adaptados, a faixa de temperatura da zona de termoneutra é mais ampla, podendo ser explorados em ambientes tropicais, como a região semiárida brasileira, com mínimas perdas na produção, sendo necessário o aprofundamento de estudos com índices de conforto térmicos (Costa et al., 2015).

1.3 Animais no semiárido equatorial x comportamento das variáveis fisiológicas

A região semiárida equatorial pode ser caracterizada como uma condição seca e excessivamente quente, com flutuações acentuadas dos recursos hídricos e alimentares (Leroy et al., 2018) e, a localização geográfica da região favorece um ângulo de declinação solar, cujo resultado é um padrão incessante de radiação solar, temperatura do ar e fotoperíodo (Silva, 2006; Amorim et al., 2019). Por esses motivos a amplitude das flutuações térmicas nas regiões semiáridas são maiores quando comparadas às mudanças climáticas anuais das regiões temperadas.

Ao serem mantidos em locais com climas adversos os animais podem alterar negativamente suas variáveis fisiológicas, ocasionando declínio da sua produção, sendo que a temperatura retal, superficial, frequências respiratórias e cardíacas podem sofrer influência do turno do dia, temperatura ambiente, radiação solar, produção, consumo de alimentos e atividade física (Furtado et al., 2017; Torres et al., 2017).

A temperatura retal para ovinos varia entre 38,5 a 39,5 °C, (Swenson e Reece, 1996; Eustáquio Filho et al., 2011) e, sua elevação já implica em acúmulo de calor e, se este não é dissipado, o estresse calórico manifesta-se, sendo que a elevação de 1°C na temperatura retal já é suficiente para reduzir o desempenho na maioria das espécies de animais domésticos (McDowell, 1989). A temperatura retal, em alguns casos, não é uma variável sensível para detectar o estresse térmico, como a frequência respiratória.

Quando ocorre uma elevação na temperatura ambiente, os mecanismos termorregulatórios são acionados, aumentando a perda de calor na forma latente através da sudorese, como elevação da frequência respiratória e sudorese (Oliveira e Costa, 2013), sendo que ovinos apresentam frequência respiratória média de 16 a 34 mov min⁻¹ (Swenson e Reece, 1996).

Elevadas frequências respiratórias nem sempre indicam que o animal esteja em estresse térmico, sendo assim, se a frequência respiratória registrada esteja elevada, mas em contrapartida, o animal tenha sido eficiente em dissipar calor para o meio, conseguindo manter sua homeotermia. Furtado et al. (2017), constataram que para animais puros Santa Inês e mestiços (½ Dorper + ½ Santa Inês), apresentaram valores de FR da tarde mais elevados, devido ao aumento da TA e diminuição da UR, onde os animais utilizaram mecanismos de perda de calor para o meio ambiente através dos mecanismos latentes, entretanto, ao avaliar apenas o turno da manhã, constatou-se que os mestiços apresentaram FR mais elevada (P<0,01), fato este ocasionado pela influência da genética Dorper nos animais.

Uma respiração acelerada e contínua por várias horas pode interferir na ingestão de alimentos e ruminação, afetando o desempenho do animal (McDowell, 1989). Silva e Starling (2003) citam que a elevação da frequência respiratória por longos períodos, reduz a pressão de CO₂ sanguínea e promove aumento no calor nos tecidos corporais, isso ocorre pela aceleração dos músculos da respiração.

Eustáquio Filho et al. (2011) relatam que o aumento nos movimentos respiratórios após a faixa de temperatura de 35°C em ovinos, demonstrando que este mecanismo pode ser a principal forma de dissipar calor nos ovinos em temperaturas extremas e isso é

variável de ambiente para ambiente, dependendo da eficácia dos mecanismos de calor sensível, pois, se estes não são eficazes, o organismo animal utiliza mecanismos de dissipação de calor latente, como a sudorese e/ou frequência respiratória, para manter a homeotermia.

A temperatura ambiental, além de outras variáveis fisiológicas, pode alterar o tônus vagal intensificando a atividade do centro cardioacelerador e vasoconstritor, elevando, portanto, a frequência cardíaca (Torres et al., 2017). A frequência cardíaca é controlada pela interação dos centros cardioinibidor e cardioacelerador na medula oblonga, os quais, por sua vez, estão sob a influência do sistema nervoso central, incluindo o hipotálamo e o sistema límbico (Swenson e Reece, 1996).

Eustáquio Filho et al. (2011), verificaram que houve aumento no número de batimentos cardíacos de ovinos, em temperaturas de 10 e 15°C, atribuindo esse aumento a uma reação do organismo ao estresse por frio, na intenção de manter o homeotermia e, o aumento da frequência cardíaca em situação de baixas temperaturas é atribuída a vasoconstrição periférica, e ao maior fluxo sanguíneo nos órgãos e na região central dos animais, devido à elevação da pressão arterial.

A pele é o maior órgão do corpo do animal, e suas funções vão desde barreira natural contra infecções, lesões e controle da termorregulação (Tommasi Junior et al., 2014), sendo a pele uma das principais rotas para a troca de calor entre a superfície do corpo e o meio ambiente (Sejian et al., 2019), pois animais expostos a altas temperaturas tendem a dissipar o excesso de calor tanto através de mecanismos respiratórios quanto através da sudorese (Silanikove, 2000), resultando em alterações nos parâmetros sanguíneos, pois o estresse térmico aumenta consideravelmente a perda de água e de compostos iônicos (Beede e Collier, 1986; Castanheira et al., 2010).

Quanto maior a quantidade de glândulas sudoríparas, subentende-se que maior seja a facilidade em transferir calor para o ambiente por meio da evaporação cutânea, conseqüentemente, reduzindo o número de movimentos respiratórios. A evaporação cutânea depende de diversos fatores, além das variáveis climatológicas, dependem de aspectos morfológicos dos animais, como a espessura da pele, comprimento e densidade de pelos, dentre outros aspectos.

A quantidade de suor produzido irá depender não só do número de glândulas sudoríparas por unidade de área da epiderme, mas também do quão ativas são essas glândulas. Mascarenhas (2018), comparando ovinos Santa Inês e caprinos Moxotó, observou que o número de glândulas sudoríparas por $\times 100\mu\text{m}^2$ dos ovinos era 37,6%

superior ao número de glândulas sudoríparas dos caprinos, porém, apesar da discrepância de valores, a taxa de sudação dos animais não apresentou diferenças significativas.

A pelagem interfere diretamente nas trocas de calor entre o animal e o ambiente (Santana, 2011), e segundo Aiura et al. (2010) as características morfológicas do pelame, tais como espessura da capa, número de pelos por unidade de área, densidade de pelos, podem indicar a condição de aclimatação do animal ao ambiente em que vivem. Aiura et al. (2010), em pesquisas com cabras da raça Saanen e Pardo alpina, verificaram que os animais que possuíam pelo mais comprido, obtiveram melhor proteção contra a radiação solar direta.

A densidade do pelame tem papel relevante na dissipação do calor e na proteção contra a radiação solar direta e, que quanto menor a densidade do pelame, menor será a proteção contra a radiação (Silva e Starling, 2003). Ligeiro et al. (2006) citam que uma menor densidade do pelame facilita a saída do ar preso na capa externa do animal, sendo uma característica largamente vantajosa para ambientes quentes, pois promove uma maior movimentação de ar entre os pelos, removendo a camada de ar aprisionado no interior da capa externa.

Pelos mais curtos facilitam a termólise convectiva, como também a evaporação cutânea (Maia et al., 2003), portanto a seleção de animais que possuam um pelame menos resistente a difusão de vapor, com altas taxas de sudação, torna-se um recurso para os programas de melhoramento genético de animais de clima tropical (Ligeiro et al., 2006).

Referências

Aiura, A.L.O., Aiura, F.S., Silva, R.G. 2010. Características do pelame de cabras Saanen e Pardo Alpina criadas em ambiente tropical. Arch. Zootec., v.59, p.609-612. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922010000400016>

Amorim, M.L.C.M., Saraiva, E.P., Fonsêca, V.F.C., Guerra, R.R., Santos, S.G.C.G., Costa, C.C.M., Almeida, M.E.V., Pinheiro, A.C., Pimenta Filho, E.C. 2019. Coat and skin morphology of hair sheep breeds in an equatorial semi-arid environment. J. Therm. Biol., v.84, p.103-110. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.06.007>

Andrade, I.S., Souza, B.B., Pereira Filho, J.M., Silva, A.M.A. 2007. Parâmetros fisiológicos e desempenho de ovinos Santa Inês submetidos a diferentes tipos de sombreamento e a suplementação em pastejo. Ciênc. Agrotec., v.31, p.540-547. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200039>

Baêta, F.C., Souza, C.F., 2010. Ambiência em edificações rurais: conforto animal. 2. ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais. 269p.

Beede, D.K., Collier, R.J. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.*, v.62, p.543-554. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622543x>

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L.H., Rhoads, R.P., Ronchi, B., Nardone, A. 2010. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal.*, v.4, p.1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X.

Bezerra, W.M.X., Souza, B.B., Souza, W.H., Cunha, M.G.G., Benicio, T.M.A. 2011. Comportamento fisiológico de diferentes grupos genéticos de ovinos criados no semiárido paraibano. *Rev. Caatinga.*, v.24, p.130-136.

Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. ASAE.*, v.24, p.0711-0714. 10.13031/2013.34325

Castanheira, M., Paiva, S.R., Louvandini, H., Landim, A., Fiorvanti, M.C.S., Dallago, B.S., Correa, P.S., McManus, C. 2010. Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.*, v.42, p.1821-1828. doi: 10.1007/s11250-010-9643-x.

Cezar, M.F., Souza, B.B., Souza, W.H., Pimenta Filho, E.C., Tavares, G.P. 2004. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços frente às condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. *Ciênc. Agrotec.*, v.28, p.619-626. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300018>

Costa, W.P., Façanha, D.A.E., Leite, J.H.G.M., Silva, R.C.B., Souza, C.H., Chaves, D.F., Vasconcelos, A.M., Soto-Blanco, B., Vale, A.M., Pimenta Filho, E.C. 2015. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Semin. Ciênc. Agrar.*, v.36, p.4589-4600. 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4589

Dantas, N.L.B., Souza, B.B., César, M.F., Oliveira, G.J.C., Araújo, R.P., Nobre, I.S., Medeiros, S.F., Roberto, J.V.B. 2015. Estudos da coloração do pelame em relação às respostas produtivas de ovinos mestiços sob estresse calórico. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v.16, p.397-407. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402015000200014>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018) Novo Censo Agropecuário mostra crescimento de efetivo de caprinos e ovinos no Nordeste. EMBRAPA. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/36365362/novo-censo-agropecuario-mostra-crescimento-de-efetivo-de-caprinos-e-ovinos-no-nordeste>>. Acesso em: 13 de Agosto de 2021.

Eustáquio Filho, A., Teodoro, S.M., Chaves, M.A., Santos, P.E.F., Silva, M.W.R., Murta, R.M., Carvalho, G.G.P., Souza, L.E.B. 2011. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1807-1814. 10.1590/S1516-35982011000800026

Furtado, D.A., Oliveira, F.M.M., Sousa, W.H., Medeiros, G.R., Oliveira, M.E.C., Veigas, R.R. 2017. Thermal comfort indexes and physiological parameters of Santa Inês and crossbreed ewes in the semi-arid. *J Anim Behav Biometeorol.*, v.5, p.72-77. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n2p72-77>

Hashem, M.A., Hossain, M.M., Rana, M.S., Hossain, M.M., Islam, M.S., Saha, N.G. 2013. Effect of heat stress on blood parameter, carcass and meat quality of Black Bengal goat. *Bang. J. Anim. Sci.*, v.42, p.57- 61. <https://doi.org/10.3329/bjas.v42i1.15783>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2013. AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis_____. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2014. Climate change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers. Disponível em:<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf>. Acesso em: 07 de Janeiro de 2022.

Jones, P.G., Thornton, P.K. 2003. The potential impacts of climate change in tropical agriculture: The case of maize in Africa and Latin America in 2055. *Glob. Environ. Change.*, v.13, p.51-59. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)

Leroy, G., Hoffmann, I., From, T., Hiemstra, S.J., Gandini, G., 2018. Perception of livestock ecosystem services in grazing áreas. *Animal.*, v.12, p.2627–2638. doi: 10.1017/S1751731118001027.

Ligeiro, E.C., Maia, A.S.C., Silva, R.G., Loureiro, C.M.B. 2006. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. *Rev. Bras. Zootec.*, v.35, p.544-549. 10.1590/S1516-35982006000200029

Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J Anim. Sci.*, v.84, p.712-719. doi: 10.2527/2006.843712x.

Maia, A.S.C., Silva, R.G., Bertipaglia, E.C.A. 2003. Características do pelame de vacas Holandesas em ambiente tropical: Um estudo genético e adaptativo. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.843-853. 10.1590/S1516-35982003000400009

Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez M.A.M. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. *Small Rumin. Res.*, v.71, p.1-12. 10.1016/j.smallrumres.2006.10.003

Mascarenhas, N.M.H. 2018. 58f. Variáveis fisiológicas e estruturas de tegumento de ovinos e caprinos criados no semiárido brasileiro. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Patos, Paraíba. Universidade Federal de Campina Grande.

McDowell, R.E. 1989. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. São Paulo, Ícone. 1 ed. 183p.

- Mcmanus, C., Dias, E.A., Paiva, S.R., Braccini Neto, J., Cobuci, J.A., Barcellos, J.O.J., Louvandini, H. 2011. Os desafios da produção animal frente às mudanças climáticas. *Rev. Bras. Vet. Zootec.*, v.18, p.142-148.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest. Sci.*, v.130, p.57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Neves, M.L.M.W., Azevedo, M., Costa, L.A.B., Guim, A., Leite, A.M., Chagas, J.C. 2009. Níveis críticos do Índice de Conforto Térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. *Acta Sci. - Anim. Sci.*, v.31, p.169-175, 2009. 10.4025/actascianimsci.v31i2.3766
- Nobre, I.S., Souza, B.B., Marques, B.A.A., Silva, A.M.A., Araujo, R.P., Gomes, T.L.S., Batista, L.F., Silva, G.A. 2016. Avaliação dos níveis de concentrado e gordura protegida sobre o desempenho produtivo e termorregulação de ovinos. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, v.17, p.116-126. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000100011>
- Oliveira, S.E.O., Costa, C.C.M. 2013. Respiratory heat loss in Morada Nova Sheep in Brazilian semi-arid regions. *J Anim Behav Biometeorol.*, v.1, p.17-20. <http://dx.doi.org/10.14269/2318-1265.v01n01a04>
- Pandorfi, H. 2017. Os desafios da ambiência: mudanças climáticas e bem-estar dos animais de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 46. 2017, Maceió. Anais [...] Alagoas, CD-ROM.
- Pires, J.P.S., Souza, B.B., Silva, G.A., Batista, L.F., Araújo, L.S., Rodrigues, J.L.S. 2015. Avaliação da tolerância ao calor de ovinos mestiços ½ Dorper + ½ Santa Inês suplementados com diferentes níveis de ionóforo no semiárido da Paraíba. *Rev. Cientif. de Prod. Anim.*, v.17, p.30-36. 10.15528/2176-4158/rcpa.v17n1p30-36
- Quesada, M., McManus, C., Couto, F.A.A. 2001. Tolerância ao calor de duas raças de ovinos deslançados no distrito federal. *Rev. Bras. Zootec.*, v.30, n.3, p.1021-1026. 10.1590/S1516-35982001000400016
- Reynolds, C. Crompton, L., Mills, J. 2010. Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook Agric.*, v.39, p.245-248. DOI:10.5367/oa.2010.0015
- Rivington, M., Matthews, K., Buchan, K., Miller, D., Russell, G. 2009. Investigating climate change impacts and adaptation options using integrated assessment methods. *Appl. Biol.*, v.93, p.85-92.
- Santana, G.M.C. 2011. 42f. Adaptabilidade ao calor de cabras da raça Saanen, gestantes, em duas estações do ano. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Recife, Pernambuco. Universidade Federal Rural do Pernambuco,
- Santos, J.R.S., Souza, B.B., Souza, W.H., Cezar, M.F., Tavares, G.P. 2006. Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das raças santa inês, morada nova e seus cruzamentos com a raça dorper às condições do semi-árido nordestino. *Ciênc. Agrotec.*, v.30, p.995-1001. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500025>

- Santos, M.M., Azevedo, M., Costa, L.A.B., Silva Filho, F.P., Modesto, E.C., Lana, A.M.Q. 2011. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês, de diferentes pelagens, em pastejo. *Acta Sci. - Anim. Sci.*, v.33, p.287-294. [10.4025/actascianimsci.v33i3.9974](https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i3.9974)
- Santos, M.L.P., Dada, J.M.V., Muniz, P.C., Nunes-Zotti, M.L.A., Barros, F.R.O. 2021. Physiological responses of Santa Inês x Dorper ewes and lambs to thermal environment of silvopasture and open pasture systems. *Small Rumin. Res.*, v.205, p.106565, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106565>
- Sejian V, Bagath M, Krishnan G, Rashamol VP, Pragna P, Devaraj C, Bhatta R 2019. Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A Review. *Small Rumin. Res.*, v.173, p.42-53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.009>
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.*, v.67, p.1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)
- Silva, R.G., 2006. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Eng. Agric.* 26, 268–281. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100029>
- Silva, R.G., Guilhermino, M.M., Morais, D.A.E.F. 2010. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *Int. J Biometeorol.*, v.54, p.5–11. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0244-1>
- Silva, R.G., Starling, J.M.C. 2003. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambiente. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.1956-1961. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800020>
- Souza, B.B., Batista, N.L., Silva, J.O., Zotti, C.A., Ferreira, E.M. 2012. Avaliação da temperatura timpânica para estudos bioclimáticos em ovinos deslanados. *ACSA.*, v.8, p.62-66. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v8i3.189>
- Souza, F.C., Tinoco, I.F.F., Baêta, C.F., Ferreira, M.P.W., Silva, S.R. 2002. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Ciênc. Agrotec.*, v.26, p.157-164.
- Swenson, M., Reece, W. *Dukes: Fisiologia Dos Animais Domésticos*. 11ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1996. 856p.
- Tommasi Junior, H.L., Favaron, P.O., Rodrigues, R.F., Guimarães, J.P., Miglino, M.A. 2004. Desenvolvimento do sistema tegumentar em bovinos com idades gestacionais estimadas de 20 a 140 dias. *Rev. Pesq. Vet. Bras.*, v.34, p.695-702. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014000700015>
- Torres, T.S., Silva, L.O., Borges, L.S., Sena, L.S., Moreira, A.L., Machado, L.P.M., Cardoso, J.P.B., Sousa Junior, A. Behavioral and thermoregulatory characteristics of Dorper sheep. *J Anim Behav Biometeorol.*, v.5, n.3, p.85-90, 2017. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p85-90>

Oliveira, F.A., Turco, S.H.N., Araújo, G.G.L., Clemente, C.A.A., Voltolini, T.V., Garrido, M.S. 2013. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês em ambientes com e sem disponibilidade de sombra. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, v.17, p.346-351. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300015>

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC), 2014. Global Warming Potentials. Disponível em: <http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php>. Acesso em: 08 de Janeiro de 2022.

West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Int. J Dairy Sci.*, v.86, p.2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

Artigo 1

Respostas biotérmicas de ovinos nativos mantidos em câmara climática

RESPOSTAS BIOTÉRMICAS DE OVINOS MANTIDOS EM AMBIENTE CONTROLADO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Nágela Maria Henrique Mascarenhas

Resumo

O objetivo do estudo foi estimar e quantificar os níveis de conforto e estresse térmico sofridos por ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês, não aclimatizados e submetidos a diferentes condições ambientais em câmara climática. Dezoito ovinos machos, seis de cada raça, foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos a oito tratamentos (quatro temperaturas do ar – T20, T25, T30 e T35°C; e quatro temperaturas do ar + modificação do ambiente – T20+AM, T25+FC, T30+FC e T35+FC °C), e 60 a 80 % de umidade relativa. A temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas para o cálculo do índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU). Foram coletadas as variáveis fisiológicas frequência cardíaca (FC) e respiratória (FR), e temperaturas retal (T_R), da pele (T_P) e superficial do pelame (T_{SP}), em seguida calculado o gradiente térmico ($T_R T_P$). Foram constatados valores de ITU classificados nas faixas de conforto térmico (T20+AM, T20, T25 e T25+FC), estressantes (T30, T30+FC, T35) e sofrimento extremo (T35+FC). Para o ITGU os valores foram classificados como confortável (T20+AM, T20 e T25), situação perigosa (T25+FC, T30, T30+FC, T35) e situação de emergência (T35+FC). O acréscimo de temperatura do ar afetou significativamente ($p < 0,01$) as variáveis fisiológicas dos animais, com elevação da T_A e com o uso da fonte de calor, as variáveis acompanhavam esse aumento. Os ovinos lidaram bem com o aumento da T_A e a fonte de calor externa, principalmente aumentando a perda de calor por evaporação respiratória sem um aumento aparente na T_R . Houve diferença nas variáveis fisiológicas dos genótipos e, apesar dos três grupos serem bem adaptados a diferentes condições ambientais do semiárido e apresentarem respostas similares, os ovinos Morada Nova são ligeiramente superiores, seguidos dos Soinga e Santa Inês.

Palavras-chaves: evaporação cutânea, homeocinese, plasticidade fenotípica, temperatura corporal.

BIOHERMAL RESPONSES OF NATIVE SHEEP MAINTAINED IN A CLIMATE CHAMBER

Abstract

The objective of the study was to estimate and quantify the levels of heat stress suffered by Santa Inês, Morada Nova and Soinga genetic group sheep when submitted to different environmental conditions in a controlled chamber. Eighteen male sheep of the Soinga, Morada Nova and Santa Inês breeds/genetic group were distributed in a completely randomized design and submitted to eight treatments (four air temperatures – T20, T25, T30 and T35°C; and four air temperatures + modification of the environment – T20+AM, T25+FC, T30+FC and T35+FC °C), and 60 to 80 % relative humidity. The temperature and relative humidity of the air were collected to calculate the temperature and humidity index (THI) and the black globe temperature and humidity index (BGTHI). The physiological variables heart rate (HR) and respiratory rate (RR), and rectal (R_T), skin (S_T) and superficial coat (S_{CT}) temperature were collected, with this the thermal gradient (TRTP) was calculated. THI values classified in the ranges of thermal comfort (T20+AM, T20, T25 and T25+FC), stressful (T30, T30+FC, T35) and extreme suffering (T35+FC) were found. For the BGTHI, the values were classified as comfortable (T20+AM, T20 and T25), dangerous situation (T25+FC, T30, T30+FC, T35) and emergency situation (T35+FC). The increase in air temperature significantly ($p < 0.01$) affected the physiological variables of the animals, it is observed that with the increase in A_T and with the use of the extra source of heat, the variables followed this increase. Sheep coped well with the increase in A_T and the external heat source, mainly increasing respiratory evaporative heat loss without an apparent increase in R_T . There was a difference in the physiological variables of the genotypes and, although the three groups were not well adapted to different environmental conditions and presented similar responses, Morada Nova sheep are slightly superior, followed by Soinga and Santa Inês, respectively.

Keywords: cutaneous evaporation, homeokinesis, phenotypic plasticity, body temperature.

1. Introdução

Os ovinos são criados em vasta distribuição geográfica, estendendo-se dos climas frios aos tropicais, desempenhando papel essencial em diversos sistemas de produção (Santos et al., 2021), principalmente em países em desenvolvimento e nas regiões áridas e semiáridas, por se tratarem de animais rústicos e com alta adaptabilidade as condições climáticas específicas dessas regiões (Sejian et al., 2019).

Os ovinos, como animais homeotérmicos, mantêm estado de homeocinese térmica corporal em condições de termoneutralidade e, sua exposição a condições de estresse térmico por calor, os força a reduzir seus mecanismos termogênicos e a recrutar seus mecanismos termolíticos (Mitchell et al., 2018; Fonseca et al., 2019), conseqüentemente, esses animais demandam características fenotípicas apropriadas para sobreviver em condições de clima quente.

A maior parte do rebanho ovino do Nordeste é constituída por animais deslanados e semilanados, tendo como representantes os animais Sem Padrão Racial Definido (SPRD) e animais das raças Santa Inês, Morada Nova e Somalis (Amorim, 2016). Novas raças estão constantemente sendo desenvolvidas para suportarem as altas temperaturas vivenciadas no semiárido brasileiro, como é o caso do grupo genético Soinga (Nascimento, 2019), que são capazes de manter alta produção mesmo em condições ambientais estressantes.

Os ovinos da raça Morada Nova e Santa Inês são reconhecidos pela sua adaptação as condições ambientais no semiárido brasileiro, frutos de longo processo de seleção natural, onde esses animais adquiriram características morfofisiológicas que lhes garantem sobrevivência frente aos desafios presentes nesse ambiente, especialmente os de ordem climática (Eustáquio Filho et al., 2011; Costa et al., 2015; Amorim, 2016).

Em condições de estresse térmico os ovinos podem alterar a taxa de evaporação respiratória ($400 \text{ resp min}^{-1}$), através do aumento da respiração e da temperatura retal (acima de $39,9 \text{ }^\circ\text{C}$), bem como da frequência cardíaca (acima de 100 bat min^{-1}) e da temperatura da superfície corporal (Sejian et al., 2017). A alta temperatura ambiente aumenta o esforço dos ovinos para dissiparem o calor corporal, resultando em aumento das variáveis fisiológicas, onde, o aumento da temperatura retal e da taxa de respiração são os sinais importantes de estresse térmico (Sejian et al., 2017). A análise das variáveis fisiológicas em ovinos mantidos em câmaras climáticas sob diferentes condições ambientais permite o conhecimento das interferências dos elementos climáticos sobre as

variáveis fisiológicas (Lucena et al., 2013, Araújo et al., 2017; Miranda et al., 2018; Marques et al., 2021).

Assim, o objetivo com esse estudo foi estimar e quantificar os níveis de estresse térmico sofridos por ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês, submetidos a diferentes condições ambientais em câmara controlado.

2. Materiais e métodos

Os procedimentos realizados neste estudo foram aprovados pela Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, Protocolo CEP N°. 097.2019.

2.1 Localização

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência – LaCRA (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste), da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, entre os meses de maio e junho de 2021.

2.2 Animais e alojamento

Foram utilizados 18 ovinos machos não castrados das raças Soinga (SOI), Morada Nova (MN) e Santa Inês (STI), seis animais de cada ecótipo, com idade média de $4,0 \pm 0,5$ meses e peso médio de $15 \pm 3,60$ kg, mantidos no interior de uma câmara climática. Os animais foram vermifugados no início do experimento, mantidos em baias coletivas com dimensões de 1,60 x 2,85m de comprimento e largura (4,56m² de área), providas de comedouros e bebedouros, com piso coberto por serragem de madeira, onde cada baia alojava seis animais do mesmo ecótipo. Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 8x3, com oito tratamentos (quatro temperaturas do ar e quatro temperaturas do ar + modificação do ambiente), 3 raças (Soinga, Morada Nova e Santa Inês), e 6 repetições (animais de cada ecótipo).

2.3 Temperaturas

As temperaturas do ar propostas foram determinadas como base na zona de conforto térmico (ZCT) para ovinos que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa

do ar em 60% ((Baêta e Souza, 2010; Eustáquio Filho et al., 2011), propondo-se quatro temperaturas médias controladas adicionadas de modificações ambientais, obtendo-se oito condições térmicas: T20 (20°C, temperatura limite entre as zona de conforto térmico e estresse térmico por frio); T25 (25°C, zona de conforto térmico); T30 (30°C, temperatura limite entre as zona de conforto térmico e estresse térmico por calor) e T35 (35°C, acima da ZCT). A cada temperatura foi adicionada uma modificação ambiental, onde, na temperatura T20 os animais eram molhados, no intuito de reduzir ainda mais a temperatura do meio (T20+AM); nas temperaturas T25, T30 e T35 foi adicionada uma fonte de calor extra de calor, simulando o calor produzido pela absorção de radiação solar (T25+FC; T30+FC e T35+FC).

Para molhar os animais a água era depositada em recipiente, com borrifador e identificação volumétrica (1L) para garantir que a quantidade de água fosse a mesma para os três grupos e, a cada 30 minutos os animais eram novamente molhados, evitando que eles secassem antes do período de experimentação da temperatura em questão, sendo a média de água utilizada de 12 litros aplicados em cada grupos por dia, quantificando 2L/animal. Como fontes de calor foram adicionadas a cada baia uma lâmpada infravermelha LED 250W. Em todos os ambientes a velocidade média do vento média foi de 0.5 m s^{-1} .

2.4 Procedimentos experimentais

Para cada condição térmica, não foi adotado um período de adaptação dos animais ao ambiente controlado, com as coletas de dados eram realizadas em um período de três dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os 18 animais foram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por dois dias. Desta forma, levando-se em consideração os dias de tratamentos e os dias de restauração das funções fisiológicas, o experimento teve duração total de 38 dias.

Em cada estágio de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um ciclo de 6/18 h (temperatura do ar experimental/temperatura do ar ambiente). A câmara era ligada sempre às 7h, a primeira hora destinava-se à estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara. Após a estabilização, o período experimental iniciava-se às 8h estendendo-se até às 14h.

A ração foi fornecida aos animais em dois horários, 7h e 18h30min, evitando a influência do incremento calórico nas coletas, água foi fornecida *ad libitum*, sendo a ração ofertada aos animais composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers), que constituiu 39,94% do volume total da ração, milho triturado (43,41%), farelo de soja (11,15%), uréia (0,89%), calcário calcítico (0,89%) e óleo vegetal (3,59%), conforme composição indicada pelo NCR (2007).

2.5 Coleta de dados

2.5.1 Variáveis ambientais

A temperatura e umidade relativa do ar (T_A , °C e UR, %) foram controladas e monitoradas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD® interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, termistor e umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint).

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do globo negro (T_{GN} , °C), temperatura de ponto de orvalho (T_{PO} , °C) foram armazenados através de um datalogger, do tipo HOBO U12-012 ONSET Comp®, com um canal externo e um interno acoplado a um globo negro disposto a uma altura semelhante à dos animais (1m do solo), em cada baia. Os dados eram tomados e armazenados diariamente a cada 30 min durante todo o período experimental. Também foram calculados os valores de pressão parcial de vapor (e_a , kPa).

O índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) foram usados para avaliar o nível de estresse térmico induzido pelo ambiente aos animais e calculados usando a equação relatada por Ravagnolo et al. (2000) e Buffington et al. (1981), conforme Equações 1 e 2, respectivamente.

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

Onde:

ITU – índice de temperatura e umidade.

T_A – temperatura do ar (°C).

UR – umidade relativa do ar (%).

$$ITGU = T_{GN} + 0,36 * T_{PO} + 41,5 \quad (2)$$

Onde:

ITGU – índice de temperatura de globo negro e umidade;

T_{GN} – temperatura do globo negro (°C);

T_{PO} – temperatura do ponto de orvalho (°C).

As faixas de conforto/estresse térmico experimentadas foram classificadas conforme Silanikove & Koluman (2015) que definiram faixas de ITU classificadas como 74 ou menos (confortável), 75-79 (estresse moderado), 80-85 (estressante), 86-88 (muito estressante) e 88 ou mais (sofrimento extremo). Os valores de ITGU de até 74 indicam condições confortáveis, 74 a 78 indicam condições de alerta, 79 a 84 indicam condições perigosas e 84 e acima indicam condições de emergência (Buffington et al., 1981).

2.5.2 Variáveis fisiológicas

Em cada dia do tratamento eram realizadas três mensurações de variáveis fisiológicas, às 10, 12 e 13h, onde, os animais já estavam sob a influência da temperatura experimental.

A temperatura superficial da pelagem (T_{SP}, °C) foi obtida através da média aritmética das temperaturas das regiões cervical (T_{SPce}, °C), torácica (T_{SPto}, °C) e glútea (T_{SPgl}, °C) dos animais, com auxílio de um termômetro de infravermelho (ST-900 Incoterm, Porto Alegre, RS, Brasil). A temperatura da pele (T_P, °C) também foi obtida através da média aritmética das temperaturas das regiões cervical (T_{Pce}, °C), torácica (T_{Pto}, °C) e glútea (T_{Pgl}, °C) dos animais em área tricotomizadas, com auxílio de um termômetro de infravermelho (ST-900 Incoterm, Porto Alegre, RS, Brasil). A temperatura retal (T_R, °C) foi registrada através de um termômetro clínico (Instrutherm, São Paulo, SP, Brasil) inserido no reto com uma perturbação mínima do animal, permanecendo inserido até a estabilização da leitura.

A frequência respiratória (F_R) foi medida através da observação visual do movimento das costelas por 15s a 1m de distância, realizando-se a extrapolação para um minuto, e esses dados foram expressos como movimentos por minuto (mov min⁻¹). A frequência cardíaca (F_C) foi medida por meio da contagem dos batimentos cardíacos com

auxílio de estetoscópio flexível durante o período de 15s, realizando-se a extrapolação para um minuto, esses dados foram expressos como batimentos por minuto (bat min⁻¹).

2.6 Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F, utilizando o pacote ExpDes.pt do software estatístico R versão 3.4.1. O valor de probabilidade que denota significância estatística foi declarado em $P < 0,05$ e um erro padrão da média (EPM). As comparações pareadas foram realizadas pelo teste de Tukey. A regressão não linear, utilizada para estimar a F_R em função da T_R e, T_R e F_R em função da T_{GN} . Foram realizadas usando o SigmaPlot 11.0® (Systat Software Inc.). A significância das equações e seus respectivos coeficientes foram avaliados pelo teste F ao nível de 5%, e calculado o coeficiente de determinação (r^2).

3. Resultados e discussão

3.1 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais T_A e T_{GN} apresentaram comportamento crescente com a elevação da temperatura e as modificações ambientais (Fig. 1) nos diferentes tratamentos, onde valores elevados da T_{GN} são observados a partir do tratamento T25+FC, e no tratamento T35+FC, se observa que o valor foi acima de 38°C, o que evidencia a alta absorção de energia térmica radiante do meio.

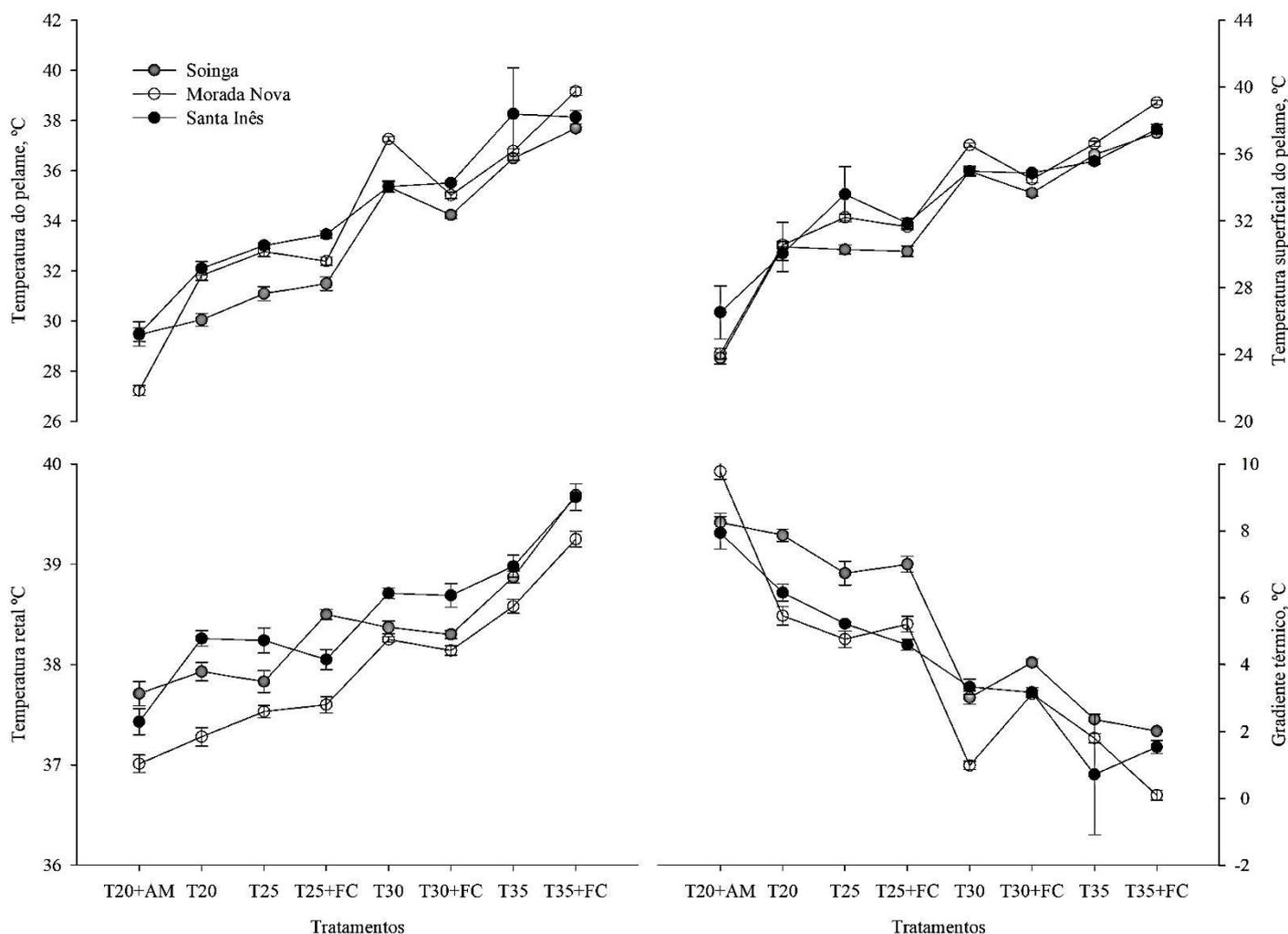


Figura 1. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) da umidade relativa do ar (UR, %), pressão de vapor atual (ea, kPa), temperatura do ar (T_A , °C) e temperatura do globo negro (TGN, °C), registrados nos tratamentos.

A UR e ea oscilaram entre os tratamentos. Na T20+AM, T25 e T30 a UR foi mais elevada, ficando acima de 80%, nos demais tratamentos os valores ficaram entre 70 a 80%, sendo que de maneira geral a UR ficou elevada em todos os tratamentos. Quando os animais foram molhados mais água foi inserido no meio, o que pode ter favorecido o aumento da UR no ambiente, assim como o fornecimento de uma fonte de calor extra associada às temperaturas mais elevadas e ventilação mínima dentro da câmara, que consequentemente elevam a taxa metabólica dos animais, elevando o consumo de água e sua consequente eliminação, através do suor e da urina, fatos que também podem elevar a UR na câmara (Miranda et al., 2018).

O índice térmico, ITU (Fig.2), nos tratamentos T20+AM, T20, T25 e T25+FC, registraram valores próximos ou igual a 74, ambiente classificado como confortável

(Silanikove e Kolumam, 2015), sofrendo aumento gradativo em função do aumento da T_A , atingindo valores acima de 80 nos tratamentos com maiores temperaturas T30, T30+FC, T35 e T35+FC, o que caracteriza estes ambientes como estressantes (T30, T30+FC, T35) e sofrimento extremo (T35+FC) para os animais.

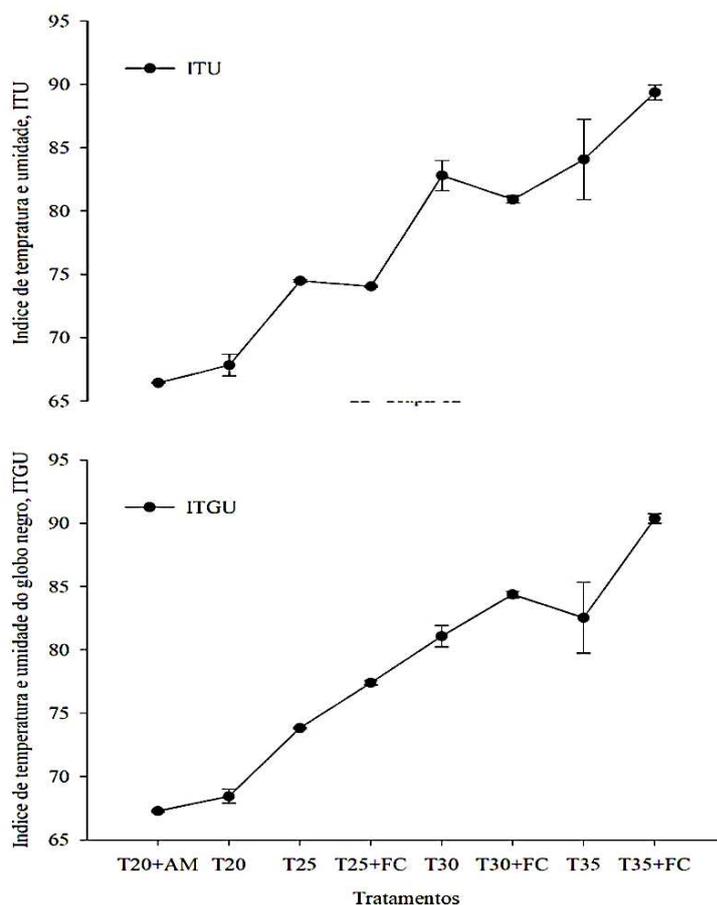


Figura 2. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) dos índices térmicos, ITU e ITGU, registrados nos tratamentos.

Os valores registrados para ITGU (Fig.2), apresentaram um aumento gradativo em função do aumento da T_A , diante dos tratamentos, os valores ITGU também aumentaram, atingindo valor muito elevado no T35+FC (90,35), caracterizando uma situação de emergência. Nos tratamentos T20+AM, T20 e T25, registraram valores próximos a 74, ambiente classificado como confortável (Buffington et al., 1981).

3.2 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas modificaram significativamente ($P < 0.0001$) com o aumento da temperatura do ar e com o uso da fonte extra de calor (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e comparação de médias para frequência cardíaca (F_C), respiratória (F_R), temperatura retal (T_R), da pele (T_P), superficial do pelame (T_{SP}) e do gradiente térmico (T_RT_P), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas.

| Tratamentos (T) | Médias | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| | Variáveis fisiológicas | | | | | |
| | F _C | F _R | T _R | T _P | T _{SP} | T _R T _P |
| T20+AM | 80.1 c | 28.9 d | 37.39 f | 28.7 f | 24.8 f | 8.6 a |
| T20 | 85.0 b | 29.2 d | 37.83 e | 31.3 e | 30.3 e | 6.5 b |
| T25 | 75.3 d | 37.3 cd | 37.87 e | 32.3 de | 32.0 d | 5.5 b |
| T25+FC | 85.5 b | 36.3 cd | 38.05 d | 32.4 d | 31.2 de | 5.6 b |
| T30 | 81.1 bc | 25.4 cd | 38.45 c | 36.0 c | 35.5 bc | 2.4 cd |
| T30+FC | 78.7 cd | 39.5 bc | 38.38 c | 34.9 c | 34.3 c | 3.4 c |
| T35 | 82.9 bc | 47.3 b | 38.81 b | 37.2 b | 36.0 b | 1.6 de |
| T35+FC | 100.2 a | 106.7 a | 39.54 a | 38.3 a | 37.9 a | 1.2 e |
| Raças (R) | | | | | | |
| Soinga | 80.0 a | 41.8 a | 37,96 b | 33.2 b | 32,1 b | 5.1 a |
| Morada Nova | 74.3 ab | 33.8 b | 38,40 a | 34.1 a | 33,1 a | 3.9 b |
| Santa Inês | 82.8 a | 42.4 a | 38,51 a | 34.4 a | 33,1 a | 4.0 b |
| Resumo da ANOVA | | | | | | |
| | F _C | F _R | T _R | T _P | T _{SP} | T _R T _P |
| Valor de P | 6,72 | 8,79 | 0,22 | 1,05 | 1,47 | 1,22 |
| Tratamento | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 |
| Raça | < .0001 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | 0,0004 | < .0001 |
| T*R | 0,0039 | < .0001 | < .0001 | < .0001 | 0,0138 | 0,0210 |

Médias seguidas da mesma letra minúsculas (tratamento) e maiúsculas (raças), ambas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Na Figura 3, pode-se observar o comportamento das variáveis fisiológicas dos animais (T_R, T_P, T_{SP}, T_RT_P), avaliados durante o período de experimentação para cada tratamento.

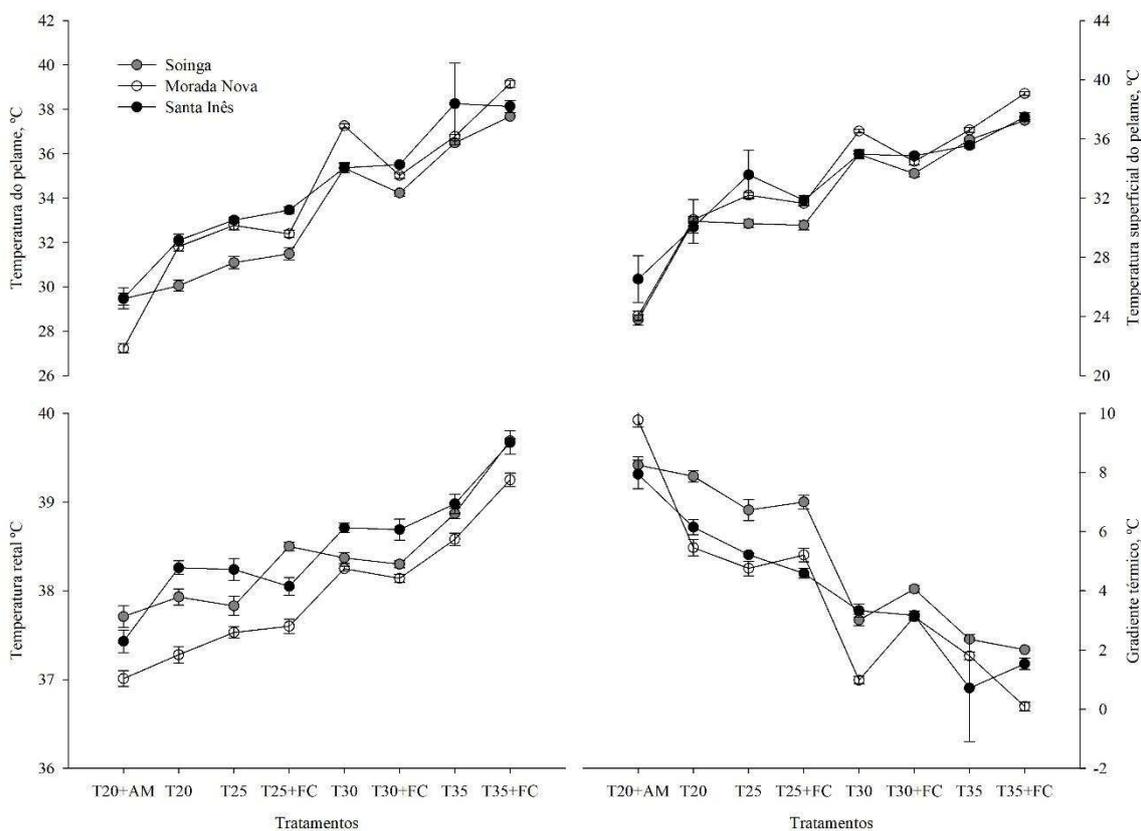


Figura 3. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) das temperaturas da pele (T_p), superficial do pelame (T_{sp}), retal (T_r) e do gradiente térmico ($T_r T_p$) registrados nos tratamentos em ovinos nativos (Soinga - SOI, Morada Nova - MN e Santa Inês - STI) mantidos em câmara climática.

À medida que houve um aumento na T_A , a temperatura retal acompanhou esse aumento, podendo-se observar que o ambiente térmico registrado no tratamento T35+FC levou ao aumento na temperatura retal. Com relação aos valores médios de T_r registrados pelos genótipos, os valores para STI foram mais elevados ($p < 0,001$) que para SOI e MN, na maioria dos tratamentos, e os valores dos MN menores, demonstrando a alta resistência ao calor dessa raça, e em contrapartida demonstra também uma maior susceptibilidade a condições mais frias, sendo a SOI mais resistente a ambientes mais frios. O comportamento dos valores de T_r dos animais avaliados, corrobora com a afirmação da adaptabilidade e rusticidade dessas raças/genótipos, pois mesmo com os animais mantidos em condições estressantes, seus valores permaneceram dentro da faixa considerada normal para a espécie (Costa et al., 2015).

O aumento na temperatura representativa do centro corporal (T_r) em função da geração de calor devido à redução do gradiente térmico entre o animal e ambiente no qual estavam inseridos, pode ter reduzido a capacidade dos animais em dissipar calor da forma

sensível, que é o mecanismo fisiológico primário responsável pela dissipação de calor provindo do núcleo corporal através da corrente sanguínea para a região periférica corporal, e posteriormente para o ambiente (Rizzo et al., 2017).

As temperaturas da pele e superficial do pelame se mostraram mais sensíveis ao ambiente térmico, registrando um aumento significativo ($p < 0,001$) a partir do tratamento T30. Entre os genótipos, os valores de T_P e T_{SP} seguiram um padrão semelhante ao da T_R . Os animais STI apresentaram valores significativamente ($p < 0,001$) maiores em comparação com os outros genótipos, sugerindo uma maior absorção do pelame. Essas diferentes variações de temperatura pressupõem diferentes interações entre a radiação e as superfícies cobertas por pelos.

Os valores do gradiente $T_R T_P$ apresentaram um comportamento inverso as variáveis T_R , T_P e T_{SP} . Nos tratamentos T20+AM a T25+FC, os valores médios do $T_R T_P$ ficaram próximos e acima de 6°C , considerado favorável para as trocas de calor do núcleo corporal com a pele dos animais e da pele para o meio ambiente, para os tratamentos T30 até T35+FC, os valores ficaram abaixo de 6°C , consideradas baixas, dificultando a troca de calor do núcleo corporal para a pele e destas para o meio ambiente.

A temperatura corporal é uma medida representativa da tolerância ao calor, e suas variações desenham o resultado de todos os processos de perda e ganho de calor (Henry et al., 2018). Os ovinos nativos são capazes de tolerar altas temperaturas, pois conseguem reduzir seu metabolismo, evitando um aumento excessivo da temperatura corporal durante o estresse térmico, diminuindo o risco de morte, porém, essa redução no metabolismo pode trazer consequências negativas, provocando queda na produção e produtividade dos animais (Pulido-Rodriguez et al., 2021).

Com relação às frequências cardíacas (Fig.4), os valores registrados oscilaram a cada tratamento e, a partir do T30 os valores foram aumentando à medida que a T_A aumentava. Com relação aos genótipos é possível observar que a elevação da F_C nos ovinos MN foi mínima comparada com o SOI e STI. Já a frequência respiratória (Fig. 4) manteve-se estável até o tratamento T35, a partir daí é possível observar um aumento significativo na F_R ($p < 0,001$).

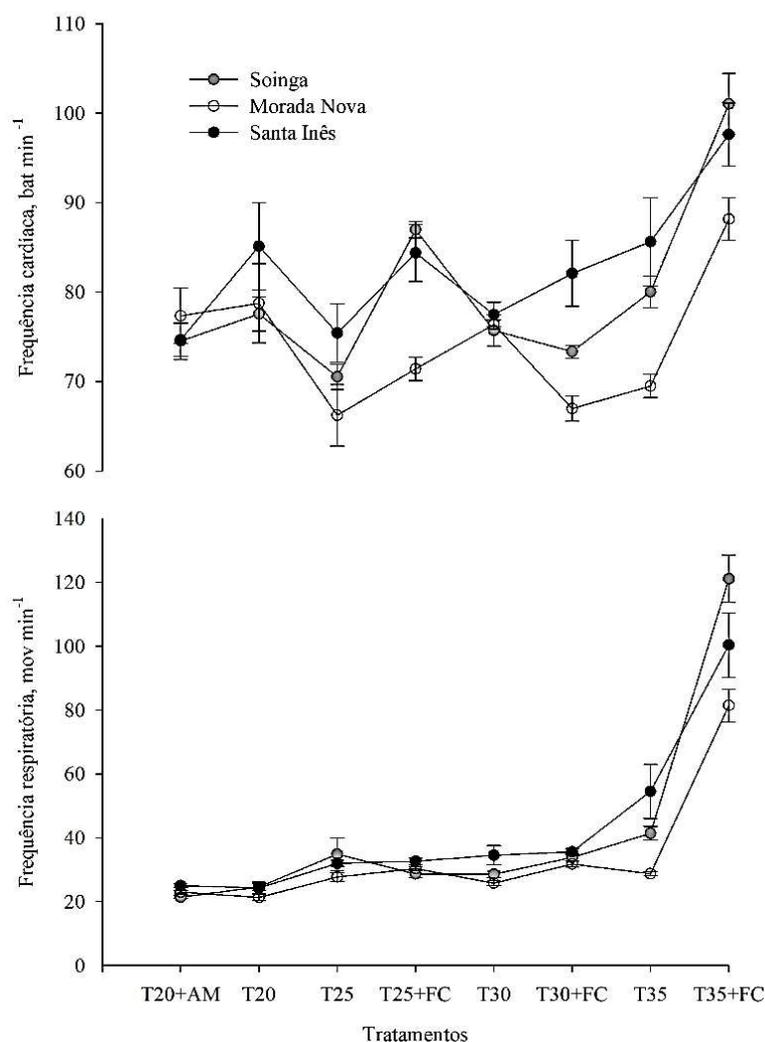


Figura 4. Médias e o erro padrão médio (\pm EPM) das frequências respiratória (F_R) e cardíaca (F_C) aferidos nos tratamentos em ovinos nativos (Soinga - SOI, Morada Nova - MN e Santa Inês - STI) mantidos em câmara climática.

O aumento da T_A culminou em um aumento da frequência cardíaca (Fig. 4), o que pode ser justificado pelo fluxo sanguíneo ser redirecionado para as áreas mais superficiais do corpo a fim de eliminar mais calor pelos mecanismos sensíveis (condução, convecção e radiação) e insensíveis através da perda por difusão da água da pele (Marai et al., 2007), acarretando no aumento da temperatura pele (T_P), conseqüentemente reduzindo o gradiente térmico entre T_P e T_A . A temperatura ambiental, além de outras variáveis fisiológicas, pode alterar o tônus vagal intensificando a atividade do centro cardioacelerador e vasoconstritor, elevando, portanto, a frequência cardíaca (Torres et al., 2017).

Neste sentido, a frequência cardíaca pode ser considerada como um parâmetro de avaliação do estresse calórico em animais (Kolb, 1981) e os valores de FC considerados

normais para espécie ovina é de 70 a 80 bat.min⁻¹ (Reece, 1996). Assim, o aumento na T_p e na T_{SP}, informado acima, é justificado pelo aumento do fluxo sanguíneo pela vasodilatação periférica, facilitando a dissipação de calor pelos mecanismos não evaporativos (Souza et al., 2012). Quando a gradiente térmico entre a temperatura corporal e ambiente diminui, como foi observado no estudo, a dissipação de calor pelas formas sensíveis são dificultadas, onde o animal recorre as trocas pelos mecanismos evaporativos para dissipar o calor excedente (Medeiros et al., 2015).

Para pequenos ruminantes o ideal é que haja um gradiente térmico em torno de 6°C entre a temperatura do núcleo corporal e a superfície da pele e, desta com a temperatura do ambiente (Medeiros et al., 2015), gerando menos desgaste energético para manter a temperatura do núcleo corporal dentro da normalidade, onde as reações fisiológicas e metabólicas poderão ser realizadas sem que ocorra aquecimento ou resfriamento (Sejian et al., 2019). O aumento do fluxo sanguíneos na superfície corporal facilita a troca de calor do animal pelos meios sensíveis (Pequeno et al., 2017; Torres et al., 2017; Amorim e al., 2019).

Em altas temperaturas ambientais, a temperatura do núcleo corporal flui para a superfície corporal e para os membros dos animais, em situação contrária, os gradientes de temperatura da pele estendem-se ao longo dos membros, e a temperatura central fica restrita ao tronco e a cabeça (Medeiros et al., 2015; Silva et al., 2019).

Há dois fatores que devem ser considerados com relação às temperaturas da superfície: a cobertura (por pelos ou lã) e as regiões mais ou menos expostas à radiação solar direta. Em ovinos deslanados, a estrutura do pelo pode proteger a pele contra a radiação solar direta e promover a convecção e a perda de calor por evaporação (Amorim et al., 2019). As características cruciais incluem a refletância da pelagem, o comprimento do cabelo e o número de cabelos por unidade de área (McManus et al., 2009).

Esses resultados corroboram com estudos anteriores em que animais com pelagem mais escura (STI) tiveram maior absorção de radiação térmica, alta temperatura superficial e foram mais suscetíveis ao estresse por calor do que aqueles com pelagem de cor mais clara (MN e SOI) (McManus et al., 2011; Fadare et al., 2012; Leite et al., 2018).

No entanto, Titto et al. (2016), avaliando as variações da temperatura retal, frequência respiratória e taxa de sudorese em ovinos STI e MN (raças brasileiras de pelo), Texel, Suffolk e Ile de France (raças lã), não encontraram diferenças entre elas, o que poderia ser explicado por outra relação entre absorção e transmitância de calor nessas pelagens.

Nesses casos, os efeitos da radiação absorvida permanecem principalmente na superfície do pelame, devido à baixa transmitância, enquanto que o calor absorvido na superfície é dissipado por radiação e convecção (Santos et al., 2021). Essa combinação de perdas sensíveis, explica em parte, porque as mesmas superfícies apresentam variações nos valores. A ausência de diferenças significativas entre os genótipos em alguns tratamentos, revela um equilíbrio estável entre esses fluxos de calor.

Entre os três genótipos, a F_R também diferiu ($p < 0,001$), nos tratamentos T35 e T35+FC, onde os menores valores foram observados para MN nos dois tratamentos. Já entre SOI e STI, no T35 o menor valor foi registrado para o SOI, e no T35+FC o menor foi STI. Essa diferença de valores de SOI e STI, pode ter relação com a incidência de radiação direta e a coloração dos pelames desses genótipos, já que o SOI apresenta coloração clara e o STI, coloração escura. Entre os genótipos, MN se mostrou mais rústica com relação aos demais, mantendo-se sua homeocinese, quando exposto a condições adversas.

De acordo com Silanikove (2000), a taxa de respiração pode quantificar a gravidade do estresse térmico, com uma F_R de 40-60, 60-80 e 80-120 $\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$ representando baixo estresse, médio-alto estresse e alto estresse, respectivamente, e acima de 200 $\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, representando estresse severo em ovinos.

O comportamento da F_R evidenciou sua relevância nos processos termorregulatórios dos animais, onde é possível observar que se mantiveram dentro do padrão normal da espécie, e à medida em que a T_A se elevava, seus valores acompanhavam essa elevação a fim de perder a carga de incremento calórico extra que ambiente térmico impunha. Silva e Starling (2003) citam que a elevação da frequência respiratória por longos períodos, reduz a pressão de CO_2 sanguínea e promove aumento no calor nos tecidos corporais, isso ocorre pela aceleração dos músculos da respiração.

A ofegação e a sudorese, são duas respostas primárias ao estresse térmico (Marai et al., 2007). As variações nas F_R podem ser descritas em duas fases de ofegação (Hales e Webster, 1967), sendo a primeira caracterizada por uma respiração rápida e rasa associada a um aumento da F_R , resultando em um aumento do volume de ar respirado e a segunda fase é caracterizada por respirações mais lentas e profundas associadas à respiração ofegante de boca aberta e um aumento do volume respiratório mais significativo do que o observado na respiração ofegante da primeira fase (Hales e Webster, 1967). Neste estudo, nenhuma das ovelhas apresentou respiração ofegante de segunda fase, sugerindo desconforto térmico moderado.

Embora a proporção da via de perda de calor evaporativa empregada pelos três genótipos tenha sido um pouco diferente, em todos os casos a homeotermia foi mantida ao longo dos tratamentos.

Foi estimada a relação entre F_R e T_R (Fig. 5) para os ovinos (SOI – $R^2=0,89$; MN – $R^2=0,83$; STI – $R^2=0,65$; Fig.5), onde pode ser observado que a F_R variou de 19,55 a 140 (SOI), 21,33 a 96,44 (MN) e 23,33 a 113,55 (STI) e, no presente estudo a variação da T_R acima de 39°C foi suficiente para causar ofegação nos ovinos, ou seja, numa T_A acima de 35°C as vias sensíveis foram insuficientes para dissipar todo o calor gerado por meio dos processos metabólicos, onde ver-se que a perda de calor latente (via respiratória) ganhou importância progressiva na dissipação do excesso de calor corporal advindo do aumento da carga de calor do meio.

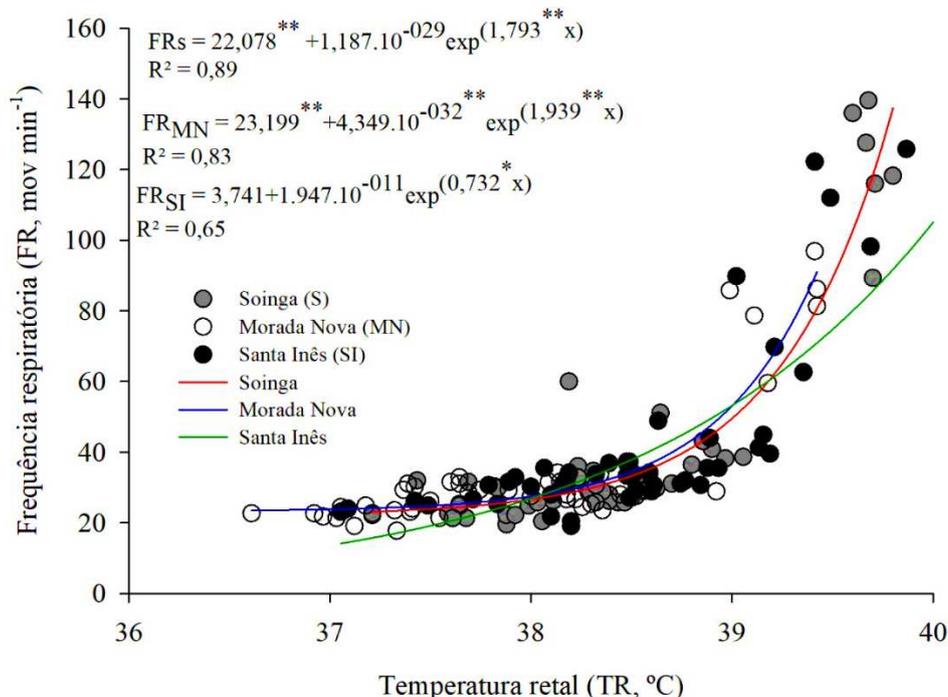


Figura 5. Frequência respiratória (F_R) em função da temperatura retal (T_R).

Foi estimada também as relações da F_R e da T_R com a T_{GN} (Fig.6) para os ovinos (F_R : SOI – $R^2=0,96$; MN – $R^2=0,92$; STI – $R^2=0,88$ e T_R : SOI – $R^2=0,79$; MN – $R^2=0,83$; STI – $R^2=0,76$), onde pode ser observado que a T_R variou de $37,30$ a $39,71$ (SOI), $36,53$ a $39,32$ (MN) e $37,27$ a $39,79$ (STI). No presente estudo, assim como a F_R variou e, função da T_R , ela variou também em função da T_{GN} , e onde a variação da T_{GN} acima de 35°C foi suficiente para causar ofegação nos ovinos, e acima de 30°C causou aumento na temperatura interna corporal (T_R).

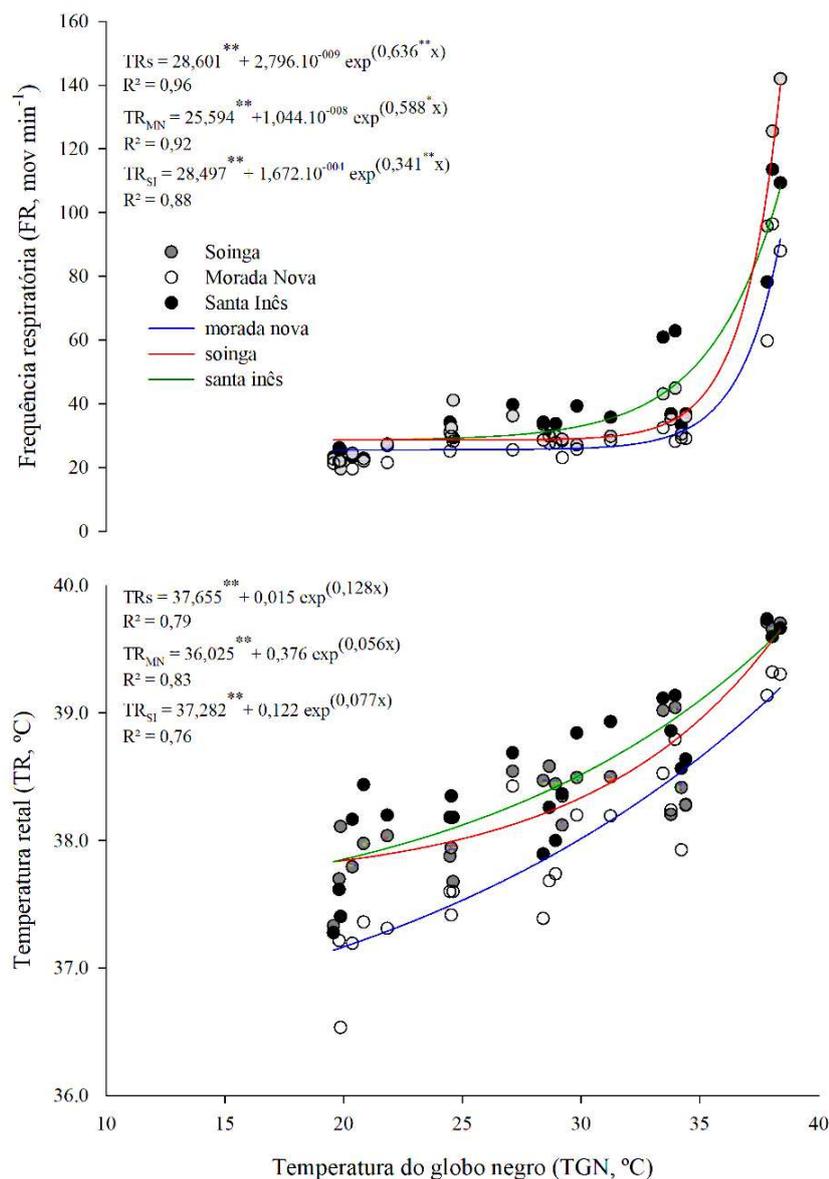


Figura 6. Frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) em função da temperatura de globo negro (T_{GN}).

4. Conclusão

Com base nos índices térmicos observou-se que os animais foram expostos a condições de conforto térmico, confortável, estressante e muito estressante e, apesar de apresentarem diferentes dinâmicas sucintas de perda e ganho de calor apresentaram tolerância ao calor, evidenciadas pela manutenção das temperaturas retais dentro dos limites fisiológicos mesmo quando submetidas a uma maior intensidade de radiação artificial.

Os ovinos lidaram bem com o aumento das temperaturas do ar e a fonte de calor externa, principalmente aumentando a perda de calor por evaporação respiratória sem um aumento aparente na temperatura retal.

Houve diferença nas variáveis fisiológicas dos genótipos e, apesar dos três grupos sem bem adaptados a diferentes condições do ambientais e apresentarem respostas semelhantes, os ovinos Morada Nova são ligeiramente superiores, seguidos dos Soinga e Santa Inês.

No presente estudo, assim como a frequência respiratória variou e, função da temperatura retal, ambas variaram em função da temperatura de globo negro, onde a variação da temperatura de globo negro acima de 35°C foi suficiente para causar ofegação nos ovinos, e acima de 30°C causou aumento na temperatura interna corporal, representada pela temperatura retal.

Referências

Amorim, M.L.C.M. 2016. 54f. Variação sazonal na estrutura do pelame e na morfologia da pele de caprinos e ovinos em região semiárida. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Areia, Paraíba. Universidade Federal da Paraíba.

Amorim, M.L.C.M., Saraiva, E.P., Fonsêca, V.F.C., Guerra, R.R., Santos, S.G.C.G., Costa, C.C.M., Almeida, M.E.V., Pinheiro, A.C., Pimenta Filho, E.C. 2019. Coat and skin morphology of hair sheep breeds in an equatorial semi-arid environment. *J. Therm. Biol.*, v.84, p.103-110. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.06.007>

Araujo, T.G.P., Furtado, D.A., Nascimento, J.W.B., Medeiros, A.N., Lopes Neto, J.P. 2017. Thermoregulatory responses and adaptability of Anglo-nubian goats maintained in thermoneutral temperature and under heat stress. *J Anim Behav Biometeorol.*, v.5, p.106-111. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p106-111>

Baêta, F.C., Souza, C.F., 2010. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2. ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais. 269p.

Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. ASAE.*, v.24, p.0711-0714. 10.13031/2013.34325

Costa, W.P., Façanha, D.A.E., Leite, J.H.G.M., Silva, R.C.B., Souza, C.H., Chaves, D.F., Vasconcelos, A.M., Soto-Blanco, B., Vale, A.M., Pimenta Filho, E.C. 2015. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Semin. Cienc. Agrar.*, v.36, p.4589-4600. 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4589

Eustáquio Filho, A., Teodoro, S.M., Chaves, M.A., Santos, P.E.F., Silva, M.W.R., Murta, R.M., Carvalho, G.G.P., Souza, L.E.B. 2011. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1807-1814. 10.1590/S1516-35982011000800026

Fadare, A.O., Peters, S.O., Yakubu, A., Sonibare, A.O., Adeleke, M.A., Ozoje, M.O., Imumorin, I.G. 2012. Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop. Anim. Health Prod.*, v.45, p.157–165. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0187-0>

Fonsêca, V.F.C., Maia, A.S.C., Saraiva, E.P., Costa, C.C.M., Silva, R.G., Abdoun, K.A., Al-Haidary, A.A., Samara, E.M., Fuller, A. 2019. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. *J. Therm. Biol.*, v.84, p.83-91, 10.1016/j.jtherbio.2019.05.024

Hales, J.R.S., Webster, M.E.D. 1967. Respiratory function during thermal tachypnoea in sheep *J. Physiol.*, v.190, p.241-260. 10.1113/jphysiol.1967.sp008205

Henry, B.K., Eckard, R.J., Beauchemin, K.A. 2018. Review: adaptation of ruminant livestock production systems to climate changes. *Animal*. v.12, p.445-456. doi: 10.1017/S1751731118001301.

Kolb, E. Coração e circulação. In: Güntler, H., Ketz, H.A., Kolb, L., Schröder, H.; Seidel, H. *Fisiologia veterinária*. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1980, p.263-94.

Leite, J.H.G.M., Silva, R.G., Silva, W.S.T., Silva, W.E., Paiva, R.D.M., Sousa, J.E.R., Asensio, L.A.B., Façanha, D.A.E. 2018. Locally adapted Brazilian ewes with different coat colors maintain homeothermy during the year in an equatorial semiarid environment. *Int. J. Biometeorol.*, v.62, p.1635-1644. 10.1007/s00484-018-1563-x

Lucena, L.F., Furtado, D.A., do Nascimento, J.W., Medeiros, A.N., Souza, B.B. 2013. Physiological responses of native goats maintained in thermoneutral temperature and thermal stress. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, v.17, p.672–679. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600014>

Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez M.A.M. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. *Small Rumin. Res.*, v.71, p.1-12. 10.1016/j.smallrumres.2006.10.003

Marques, J.I., Leite, P.G., Lopes Neto, J.P., Furtado, D.A., Borges, V.P., Sousa, W.S. 2021. Estimation of heat exchanges in Boer crossbred goats maintained in a climate chamber. *J. Therm. Biol.*, v.96, p.102832. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102832>

McManus, C., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B., Bianchini, E., Bernal, F.E.M., Paiva, S.R., Paim, T.P. 2011. Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance *Trop. Anim. Health Prod.*, v.43, p.121-126. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9663-6>

McManus, C., Paludo, G.R., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B., S.R., Paiva. 2009. Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. *Trop. Anim. Health Prod.*, v.41, p.95-101. 10.1007/s11250-008-9162-1

- Medeiros, L.F.D., Rodrigues, V.C., Vieira, D.H., Souza, S.L.G., Cabral Neto, O., Figueiredo, N., Pinto, C.F.D., Miranda, A.L., Violento, C.B. 2015. Reações fisiológicas de cabras em diferentes ambientes e coeficiente de tolerância ao calor em cabritos. *Rev. Bras. Med. Vet.*, v.37, p.286-296.
- Miranda, J.R., Furtado, D.A., Lopes Neto, J.P., Silva, V.C., Ribeiro, N. L. 2018. Parâmetros fisiológicos e hormônio cortisol como indicadores de estresse térmico em caprinos submetidos à câmara climática. *Energ. Agric.*, v.33, p.133–137. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n2p133-137>
- Mitchell, D., Snelling, E.P., Hetem, R.S., Maloney, S.K., Fuller, A. 2018. Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. *J. Anim. Ecol.*, v.87, p.956-973. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12818>
- Nascimento, F.S. 2019. 63f. Adaptabilidade de ovinos Soinga e Santa Inês em função da dieta e do ambiente térmico. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Patos, Paraíba. Universidade Federal de Campina Grande.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, p.1-362.
- Pequeno, I.D., Turco, S.H.N., Silva, T.G.F., Facó O. 2017. Dairy production of ‘saanen’ goats based on meteorological variables and future climate scenarios. *Eng. Agríc.*, v.37, p.226-235. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n2p226-235/2017>
- Pulido-Rodríguez, L.F., Titto, C.G., Bruni, G.S., Froge, G.A., Fuloni, .F., Payan-Carrera, R., Henrique, F.L., Geraldo, A.C.A.P.M., Pereira, A.M.F. 2021. Effect of solar radiation on thermoregulatory responses of Santa Inês sheep and their crosses with wool and hair Dorper sheep. *Small Rumin. Res.*, v.202, p.106470. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106470>
- Ravagnolo, O., Misztal, I., Hoogenboom, G. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *J. Dairy Sci.*, v.83, p.2120-2125. [10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6)
- Reece, W.O. Respiração nos mamíferos. In: Dukes, H.H.; Swenson, M.J. *Fisiologia dos animais domésticos*. 10.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. p.199-205.
- Rizzo, M., Arfuso, F., Alberghina, D., Giudice, E., Giancesella, M., Piccione, G., 2017. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *J Therm. Biol.*, v.69, p.64-68. [10.1016/j.jtherbio.2017.06.007](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.06.007)
- Santos, M.L.P., Dada, J.M.V., Muniz, P.C., Nunes-Zotti, M.L.A., Barros, F.R.O. 2021. Physiological responses of Santa Inês x Dorper ewes and lambs to thermal environment of silvopasture and open pasture systems. *Small Rumin. Res.*, v.205, p.106565, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106565>

Sejian V, Bagath M, Krishnan G, Rashamol VP, Pragna P, Devaraj C, Bhatta R 2019. Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A Review. *Small Rumin. Res.*, v.173, p.42-53. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.02.009>

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P.K., Naqvi, S.M.K., Lal, R. 2017. Adapting sheep production to climate change. In *Sheep Production Adapting to Climate Change*; Springer Nature Singapore: Singapore, ed.1, p.1–29.

Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.*, v.67, p.1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)

Silanikove, N., Koluman, N. 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.*, v.123, p.27-34. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.11.005>

Silva, T.G.F., Santos, G.C.L., Duarte, A.M.C., Turco, S.H.N., Cruz Neto, J.F., Jardim, A.M.R.F., Santos, T.S. 2019. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. *J. Therm. Biol.*, v.85, p.102408. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102408>

Silva, R.G., Starling, J.M.C. 2003. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambiente. *Rev. Bras. Zootec.*, v.32, p.1956-1961. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800020>

Souza, P.T., Salles, M.G.F., Araújo, A.A. 2012. Impact of heat stress on the physiology, reproduction and production of goats. *Rural Sci.* v.42, p.1888-1895. [10.1590/S0103-84782012005000072](https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000072)

Titto, C.G., Veríssimo, C.J., Pereira, A.M.F., Geraldo, A.M., Katiki, L.M., Titto, E.A.L. 2016. Thermoregulatory response in hair sheep and shorn wool sheep *Small Rumin. Res.*, v.144, p.341-345. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.10.015>

Torres, T.S., Silva, L.O., Borges, L.S., Sena, L.S., Moreira, A.L., Machado, L.P.M., Cardoso, J.P.B., Sousa Junior, A. Behavioral and thermoregulatory characteristics of Dorper sheep. *J Anim Behav Biometeorol.*, v.5, n.3, p.85-90, 2017. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v5n3p85-90>

Artigo 2

Índice de estresse térmico para ovinos nativos

ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA OVINOS NATIVOS

Nágela Maria Henrique Mascarenhas

Resumo

O primeiro objetivo com este trabalho foi propor um índice de estresse térmico para ovinos, com base em dados ambientais e dos animais, registrados em diferentes condições ambientais em câmara climática. O segundo objetivo foi comparar índices de conforto térmico publicados e o índice proposto, testando-os com os dados deste estudo, com o objetivo de apontar o índice mais adequado a ser utilizado por criadores na escolha dos procedimentos de manejo. Ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês foram aferidos em oito condições térmicas em câmara climática para: frequência cardíaca (F_C) e respiratória (F_R), temperatura retal (T_R), pele (T_P) e superficial do pelame (T_{SP}), e o gradiente entre a T_R e T_P , calculado posteriormente. Os dados ambientais registrados foram temperatura do ar (T_A), temperatura do globo negro (T_{GN}), umidade relativa (UR), pressão parcial de vapor (E_a) e a velocidade do vento (V). Um total de 3024 dados foram obtidos para as variáveis fisiológicas os ovinos expostos nas oito condições térmicas em câmara climática e em condição ambiente, aferidos nos horários de 07, 10, 12, 13, 14, 16 e 18h nos quais os animais estavam sob influência da temperatura ambiente (7, 14, 16 e 18h) ou sob a influência da temperatura experimental (10, 12 e 13h), mantidos três dias em cada condição térmica. Uma análise de componentes principais resumiu as medidas de F_C , F_R , T_R , T_P e T_{SP} em apenas uma variável (y_1). Vários índices foram obtidos por regressão múltipla de y_1 com as variáveis ambientais e suas combinações, utilizando o software SigmaPlot. A equação escolhida foi o índice de estresse térmico para ovinos, $IET = 24,153 - (0,0523 * T_A) + (0,746 * T_{GN}) + (4,104 * E_a)$, com $R^2 = 0,668$. As correlações dos quatro índices (ITU 1, ITGU, ITU 2 e ITC) e o IET entre eles, e com as variáveis fisiológicas foram comparadas entre si. As correlações apresentaram altos valores, onde esses valores das correlações foram assumidos como indicativos da eficiência de cada índice como indicadores da resposta dos animais ao ambiente. Assumindo-se assim, que o IET apresenta uma alta eficiência.

Palavras-chaves: modelo de predição, *Ovis aries*, semiárido, temperatura ambiente.

THERMAL STRESS INDEX FOR NATIVE SHEEP

Abstract

This work presents a thermal stress index for native sheep in arid and semi-arid regions. Sheep of the Santa Inês, Morada Nova and Soinga breeds/genetic groups were measured in eight thermal conditions in a climatic chamber for: heart rate (HR) and respiratory rate (RR), rectal temperature (R_T), skin (S_T) and coat surface (C_{ST}), and the gradient between R_T and S_T , calculated later. The environmental data recorded were air temperature (A_T), black globe temperature (B_{GT}), relative humidity (RH), partial vapor pressure (Ea) and wind speed (V). A total of 3024 data were obtained for the physiological variables, the sheep exposed to the eight thermal conditions in a climatic chamber and in ambient conditions, measured at the times from 7am, 10am, 12pm, 1pm, 2pm, 4pm and 6pm where the animals were under ambient temperature (7am, 2pm, 4pm and 6pm) and, under the influence of the experimental temperature (10am, 12pm and 1pm), 3 days per thermal condition. A principal component analysis summarizes the measures of HR, RR, T_R , T_P and T_{SP} in just one variable (y_1). They were obtained through environmental sources and several variables, using SigmaPlot software. The equation chosen was the thermal stress index for sheep, $TSI = 24.153 - (0.0523 \cdot TA) + (0.746 \cdot TGN) + (4.104 \cdot Ea)$, with $R^2 = 0.668$. The correlations of the four indices (THI 1, BGHI, THI 2 and TCI), and the TSI with the physiological variables were compared. The TSI correlations with HR, RR, R_T , S_T and C_{ST} were 0.379, 0.686, 0.731, 0.846, 0.820 and -0.823, respectively. The values of these correlated animals were assumed as indicators of the efficiency animals' response as indicators of the animals' response. Thus, it is assumed that the TSI has a high efficiency.

Keywords: prediction model, *Ovis aries*, semiarid, ambient temperature.

1. Introdução

O planeta está passando por sérias consequências devido as mudanças nos padrões climáticos, sendo as atividades agrícolas e pecuárias as mais sensíveis a estas mudanças (Serrano et al., 2022) e, de acordo com a previsão das projeções, as regiões tropicais e subtropicais serão as primeiras a serem afetados (King et al., 2017; Serrano et al., 2021),

A temperatura da superfície global da terra em 2018 foi a quarta mais quente desde 1880, subiu 0,83°C e, desde a década de 1880 e a temperatura média da superfície global aumentou cerca de 1°C (NOAA, 2019). Nesse cenário climático e com projeções futuras preocupantes sobre o aquecimento global (Leite et al., 2021), pesquisas têm sido realizadas para entender os estresses fisiológicos dos animais, bem como seu desempenho produtivo em condições de estresse térmico (Polosky e Keyserling, 2017; Brown -Brandl, 2018).

A pecuária é muito influenciada pelas condições ambientais predominantes, como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar, que podem causar desconforto e estresse térmico nos animais (Sejian et al., 2017). O ambiente térmico que circunda o animal é bastante complexo (Silva et al., 2007), assim, a troca de energia térmica entre os animais e o ambiente depende tanto de fatores fisiológicos quanto ambientais, relacionados em aspectos complexos e variados (Silva et al., 2015; Maia et al., 2016; Sejian et al., 2019; Santos et al., 2021).

Desde que foram reconhecidos os diferentes comportamentos/respostas dos animais quanto a sua adaptação às diversas variações climáticas, inúmeras são as tentativas de estabelecer um índice de avaliação quanto ao animal que mais se adeque a um tipo de ambiente específico, onde o objetivo é combinar os fatores que compõe o ambiente e as características dos animais (Marai et al., 2006; Silva et al., 2010).

Quanto aos índices existentes, a maioria destina-se a classificação do ambiente, na avaliação do microclima, os mais conhecidos: Thom (1959); Buffington et al. (1981); Baêta et al. (1987); Barbosa e Silva (1995); Moran et al., 2001; Marai et al. (2007); entre outros, e há também os que avaliam diretamente os animais (índices de adaptação). De maneira geral, são índices que avaliam genericamente um dado local envolvendo medidas meteorológicas locais.

O desenvolvimento de um modelo matemático que estime a perda de calor do animal para o meio deve levar em consideração fatores como espécie, raça e o ambiente que foram submetidos. O uso de equações ou índices preconizados para animais criados em clima temperado é inapropriado para animais criados em condições tropicais (Maia et al., 2005; Fonseca et al., 2016; Fonseca et al., 2019).

Os ovinos são homeotérmicos, e como tal, mantêm estado de homeocinese térmica corporal em condições de termoneutralidade e, sua exposição a condições de estresse térmico por calor, os força a reduzir seus mecanismos termogênicos e a recrutar seus mecanismos termolíticos (Mitchell et al., 2018; Fonseca et al., 2019). Silva et al. (2002)

desenvolveram funções com ovinos da raça Corriedale, porém as características desses animais contrastam com animais nativos em ambiente tropical semiárido, como por exemplo, ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês, são animais conhecidos por serem bem adaptados ao semiárido brasileiro (Santos et al., 2011; CAPRIVIRTUAL, 2014; Costa et al., 2015).

Fonseca et al. (2016) desenvolveram um modelo preditivo de transferência de calor sensível e latente no trato respiratório de ovinos Morada Nova em condições de campo em um ambiente tropical semiárido, utilizando características fisiológicas e ambientais de fácil mensuração, porém, o modelo só leva em consideração as condições climáticas de um único ambiente, e as respostas fisiológicas específicas de uma única raça.

De maneira geral, os modelos matemáticos de transferência de calor devem levar em consideração as respostas fisiológicas dos animais de acordo com o ambiente ao qual estão sendo submetidos, necessitando-se de pesquisas levando em conta diferentes ambientes térmicos e utilizando mais de uma raça no intuito de avaliar como esses animais respondem a diferentes variações climáticas.

O primeiro objetivo com este trabalho foi propor um índice de estresse térmico para ovinos, com base em dados ambientais e dos animais, registrados em diferentes condições ambientais em câmara climática. O segundo objetivo foi comparar índices de conforto térmico publicados e o índice proposto, testando-os com os dados deste estudo, com o objetivo de apontar o índice mais adequado a ser utilizado por criadores na escolha dos procedimentos de manejo.

2. Materiais e métodos

Geral

Os procedimentos realizados neste estudo foram aprovados pela Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, Protocolo CEP Nº. 097.2019.

O estudo foi construído em duas fases. A primeira fase envolve a obtenção dos dados ambientais e dos animais, cujo objetivo foi a construção do índice de estresse térmico para ovinos em região de semiárido. A segunda, envolve a comparação de alguns índices de conforto térmico publicados, testando-os nos ovinos estudados, com o objetivo

de apontar um índice adequado para a espécie, e determinar as faixas de conforto e estresse do índice proposto.

Fase 1

As observações foram feitas no Laboratório de Construções Rurais e Ambiência – LaCRA (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste), da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, entre os meses de maio e junho de 2021, em oito ambientes térmicos.

Os oito ambientes térmicos utilizados foram quatro temperaturas do ar e quatro temperaturas do ar + modificação do ambiente. As temperaturas do ar propostas foram determinadas como base na zona de conforto térmico (ZCT) para ovinos que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar em 60% (Baêta e Souza, 2010; Eustáquio Filho et al., 2011), propondo-se quatro temperaturas médias controladas adicionadas de modificações ambientais, obtendo-se oito condições térmicas: T20 (20°C, temperatura limite entre as zona de conforto térmico e estresse térmico por frio); T25 (25°C, zona de conforto térmico); T30 (30°C, temperatura limite entre as zona de conforto térmico e estresse térmico por calor) e T35 (35°C, acima da ZCT). A cada temperatura foi adicionada uma modificação ambiental, onde, na temperatura T20 os animais eram molhados, no intuito de reduzir ainda mais a temperatura do meio (T20+AM); nas temperaturas T25, T30 e T35 foi adicionada uma fonte de calor extra de calor, simulando o calor produzido pela absorção de radiação solar (T25+FC; T30+FC e T35+FC).

Para molhar os animais a água era depositada em recipiente, com borrifador e identificação volumétrica (1L) para garantir que a quantidade de água fosse a mesma para os três grupos e, a cada 30 minutos os animais eram novamente molhados, evitando que eles secassem antes do período de experimentação da temperatura em questão, sendo a média de água utilizada de 12 litros aplicados em cada grupos por dia, quantificando 2L/animal. Como fontes de calor foram adicionadas a cada baia uma lâmpada infravermelha LED 250W. Em todos os ambientes a velocidade média do vento (V) média foi de 0.5 m s⁻¹.

Não foram adotados período de adaptação dos animais aos ambientes térmicos, sendo a coleta dos dados realizados em um período de três dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os animais eram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por dois dias. Desta forma, levando-se em consideração as os dias de tratamentos e os dias de restauração das funções fisiológicas, o experimento teve duração total de 38 dias.

Em cada estágio de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um ciclo de 6/18 h (temperatura do ar experimental/temperatura do ar ambiente). A câmara era ligada sempre às 7h, a primeira hora destinava-se à estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara, e após a estabilização, o período experimental iniciava-se às 8h estendendo-se até às 14h. Em cada dia eram realizadas sete mensurações de variáveis fisiológicas, às 07h, 10h, 12h, 13h, 14h, 16h e 18h onde, os animais estavam sob influência da temperatura ambiente (7h, 14h, 16h e 18h) e, sob a influência da temperatura experimental (10h, 12h e 13h).

Foram utilizados cento e sessenta e oito determinações de temperatura do ar (T_A , °C), temperatura de globo negro (T_{GN} , °C), temperatura de ponto de orvalho (T_{PO} , °C), umidade relativa (UR, %) e pressão parcial de vapor do ar (e_a , kPa).

A temperatura e umidade relativa do ar (T_A , °C e UR, %) foram controladas e monitoradas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD® interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, termistor e umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint).

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura do globo negro (T_{GN} , °C), temperatura de ponto de orvalho (T_{PO} , °C) foram armazenados através de um datalogger, do tipo HOBO U12-012 ONSET Comp®, com um canal externo e um interno acoplado a um globo negro disposto a uma altura semelhante à dos animais (1m do solo), em cada baia. Os dados eram tomados e armazenados diariamente a cada 30 min durante todo o período experimental. Também foram calculados os valores de pressão parcial de vapor (e_a , kPa).

Dezoito ovinos machos não castrados, sendo seis de cada raça, Soinga (SOI), Morada Nova (MN) e Santa Inês (STI), com idade média de quatro meses e peso médio de $15 \pm 3,60$ kg, foram consideradas para o estudo. Eles tinham pelagem de cores diferentes, o SOI com pelagem predominantemente branca e a cabeça preta com uma faixa branca até a frente, o MN com pelagem vermelha e o STI com pelagem preta.

Os animais foram vermifugados no início do experimento e mantidos em baias coletivas com dimensões de 1,60 x 2,85m de comprimento e largura (4,55m² de área), providas de comedouros e bebedouros, com piso coberto por serragem de madeira no interior da câmara climática, onde cada baia alojava um grupo de seis animais de cada

ecótipo. A ração era fornecida aos animais em dois horários, 7h e 18:30h, evitando a influência do incremento calórico nas coletas, água foi fornecida *ad libitum*, sendo a ração ofertada aos animais composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers), que constituiu 39,94% do volume total da ração, milho triturado (43,41%), farelo de soja (11,15%), uréia (0,89%), calcário calcítico (0,89%) e óleo vegetal (3,59%), conforme composição indicada pelo NCR (2007).

Para cada condição térmica, em cada dia de observação, cada animal foi aferido para temperatura retal (T_R , °C), frequência respiratória (FR, mov min⁻¹), frequência respiratória (FC, bat min⁻¹), temperatura da pele (T_P , °C), temperatura da superfície da pelagem (T_{SP} , °C), totalizando 3024 observações para cada variável.

A T_R foi registrada através da introdução de um termômetro clínico veterinário digital no reto do animal (a uma profundidade de ~2 cm) com o bulbo junto à mucosa retal, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura. A FR foi obtida por meio da auscultação indireta das bulhas com auxílio de estetoscópio flexível durante o período de 15s, realizando-se a extrapolação para um minuto (mov min⁻¹). A FC foi obtida por meio da contagem dos batimentos cardíacos com auxílio de estetoscópio flexível durante o período de 15s, realizando-se a extrapolação para um minuto (bat.min⁻¹). A T_P e a T_{SP} foram obtidas através da média aritmética das temperaturas das regiões cervical, torácica e glútea dos animais, em área tricotomizadas para a T_P , com auxílio de um termômetro de infravermelho digital.

Para obter o índice de estresse térmico, as seis características fisiológicas foram resumidas em apenas uma variável por meio de uma análise de componentes principais, conforme procedimentos descritos em Rencher (1995). Tomando a matriz de correlação das características fisiológicas, $R_{YY'}$, temos $e'_1[e_{11} \dots e_{15}]$ como o autovetor associado ao seu maior autovalor λ_1 e cujos elementos correspondem a T_R , FR, FC, T_P e T_{SP} , respectivamente. Então, o primeiro componente principal é a equação:

$$y_1 = e_{11}T_R + e_{12}FR + e_{13}FC + e_{14}T_P + e_{15}T_{SP} \quad (1)$$

Vários índices foram estimados por regressão múltipla do componente principal y_1 em combinações escolhidas das variáveis ambientais, usando o software o SigmaPlot. O melhor deles foi escolhido com base no maior valor de R^2 .

Fase 2

Posteriormente, foram escolhidos quatro índices térmicos já existentes na literatura. Os índices considerados foram:

- a) Índice de Temperatura e Umidade (Thom, 1959):

$$ITU\ 1 = T_A + 0,36T_{PO} + 41,5 \quad (2)$$

- b) Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (Buffington et al., 1981):

$$ITGU = T_{GN} + 0,36T_{PO} + 41,5 \quad (3)$$

- c) Índice de Temperatura e Umidade (Marai et al., 2007):

$$ITU\ 2 = (T_A - (0,31 - (0,31 * UR/100)) * (T_A - 14,4)) \quad (4)$$

- d) Índice de Conforto Térmico para Ovinos (Barbosa e Silva, 1995):

$$ITC = 0,659T_A + 0,511Ea + 0,550T_{GN} - 0,042V \quad (5)$$

Os índices acima foram calculados para cada combinação de variáveis ambientais do presente estudo e no índice proposto, e as suas respectivas correlações com a resposta dos animais (FC, FR, T_R , T_P , e T_{SP}) foram calculadas, assim como as correlações entre os índices. Os valores dessas correlações foram assumidos como indicadores da eficiência de cada índice como indicadores da resposta dos animais ao meio ambiente.

3. Resultados e Discussão

Desenvolvimento do índice de estresse térmico

A Tabela 1 mostra a matriz de coeficientes de correlação entre as características fisiológicas, R_{YY} , cujo primeiro e maior autovalor foi $\lambda_1 = 9,008$, o que explica 81,88 % da variância total.

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre a frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}).

| | FC | FR | T _R | T _P | T _{SP} |
|-----------------|----|---------|----------------|----------------|-----------------|
| FC | 1 | 0.465** | 0.360** | 0.175** | 0.129** |
| FR | | 1 | 0.540** | 0.359** | 0.328** |
| T _R | | | 1 | 0.499** | 0.417** |
| T _P | | | | 1 | 0.503** |
| T _{SP} | | | | | 1 |

ns: não significativo. **p<0,01.

O respectivo autovetor foi:

$$e_1 = \begin{bmatrix} 0,167 \\ 0,239 \\ 0,299 \\ 0,328 \\ 0,323 \end{bmatrix} \quad (6)$$

que atendeu à premissa de que $e_1' e_1 = 1$. Tomando os elementos de e_1 como coeficientes das variáveis fisiológicas, o componente principal foi:

$$y_1 = 0,167FC + 0,239FR + 0,299T_R + 0,328T_P + 0,323T_{SP} \quad (7)$$

Os valores de y_1 calculados foram tomados como variáveis dependentes e diferentes combinações das variáveis ambientais como independentes; então, uma série de índices térmicos foram determinados por múltiplas correlações. Após comparar os índices entre si pelos seus valores de R^2 , foi escolhido o seguinte, a saber, o índice de estresse térmico para ovinos:

$$IET = 24,153 - (0,0523 * T_A) + (0,746 * T_{GN}) + (4,104 * Ea) \quad (8)$$

com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,668$.

Avaliação e validação do índice de estresse térmico

Os valores do índice de estresse térmico para ovinos (IET) obtidos pela aplicação da Eq. (8) aos dados ambientais, foram correlacionados com as variáveis medidas nos animais, todas as 3024 observações, apresentando coeficientes de correlação altamente significativos com a T_R e a FR ($p < 0,01$), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de cinco índices com a frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}) dos ovinos em câmara climática.

| | ITU 1 | ITGU | ITU 2 | ICT | IET |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| FC | 0,303** | 0,372** | 0,301** | 0,347** | 0,379** |
| FR | 0,610** | 0,682** | 0,604** | 0,654** | 0,686** |
| T_R | 0,750** | 0,739** | 0,751** | 0,754** | 0,731** |
| T_P | 0,860** | 0,853** | 0,863** | 0,866** | 0,846** |
| T_{SP} | 0,846** | 0,831** | 0,849** | 0,847** | 0,820** |

ns: não significativo. ** $p < 0,01$.

Para fins de comparação os demais índices térmicos (ITU 1, ITGU, ITU 2, ICT) foram estimados a partir dos dados ambientais, e correlacionados com todas as 3024 observações. Comportamento dos quatro índices foi semelhante foi observado para o IET.

Buffington et al. (1981) quando modificaram o ITU (Thom, 1959), determinaram valores de baixos de R^2 correlacionando a temperatura retal e frequência respiratória para ITU (0,27 e 0,31, respectivamente), e para ITGU (0,34 e 0,48), respectivamente em vacas leiteiras, onde os autores consideraram o ITGU mais eficiente que o ITU. Barbosa e Silva (1995) quando propuseram o ICT para ovinos, determinaram valores mais altos de R^2 correlacionando a temperatura retal e frequência respiratória para ICT (0,475 e 0,619, respectivamente), e para ITGU (0,444 e 0,584). Sendo assim, foram encontrados altos valores de R^2 para temperatura retal e frequência respiratória correlacionados ao IET, 0,731 e 0,686, respectivamente.

Os valores dos índices já existentes na literatura foram correlacionados entre si e com o índice térmico proposto (IET), apresentando coeficientes de correlação altamente significativos com o IET ($p < 0,01$), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficiente de correlação entre os índice de temperatura e umidade – ITU 1 (Thom, 1959); índice de temperatura do globo negro e umidade – ITGU (Buffington et al., 1981), índice de temperatura e umidade – ITU 2 (Marai et al., 2007), índice de conforto térmico para ovinos - ICT (Barbosa e Silva, 1995) e índice de estresse térmico IET.

| | ITU 1 | ITGU | ITU 2 | ICT | IET |
|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| ITU 1 | 1 | 0,964** | 0,986** | 0,969** | 0,999** |
| ITGU | | 1 | 0,992** | 0,962** | 0,993** |
| ITU 2 | | | 1 | 0,985** | 0,987** |
| ICT | | | | 1 | 0,964** |
| IET | | | | | 1 |

ns: não significativo. **p<0,01

O IET apresenta alta correlação com os demais índices. Os valores dessas correlações foram assumidos como indicativos da eficiência de cada índice como indicadores da resposta dos animais ao ambiente. Assumindo-se assim, que o IET apresenta uma alta eficiência. Além disso, as respectivas curvas de regressão foram calculadas e apresentadas nas Figuras 1 a 5.

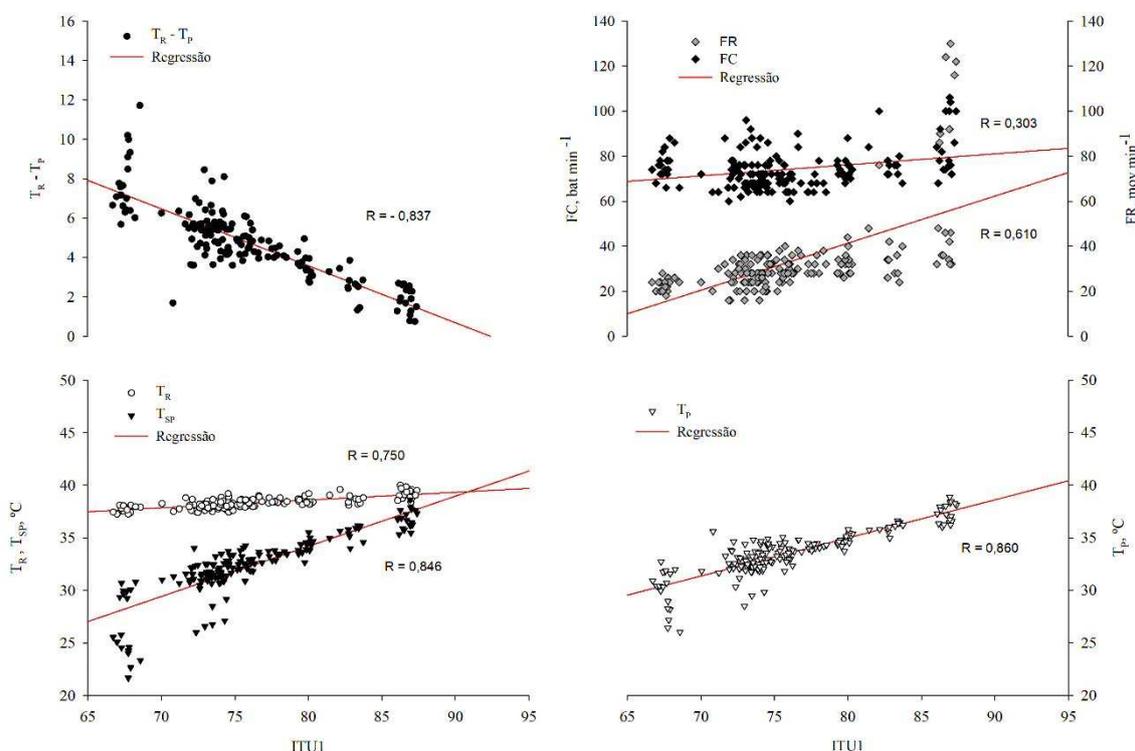


Figura 1. Regressão do índice temperatura e umidade (ITU – Thom, 1959) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos.

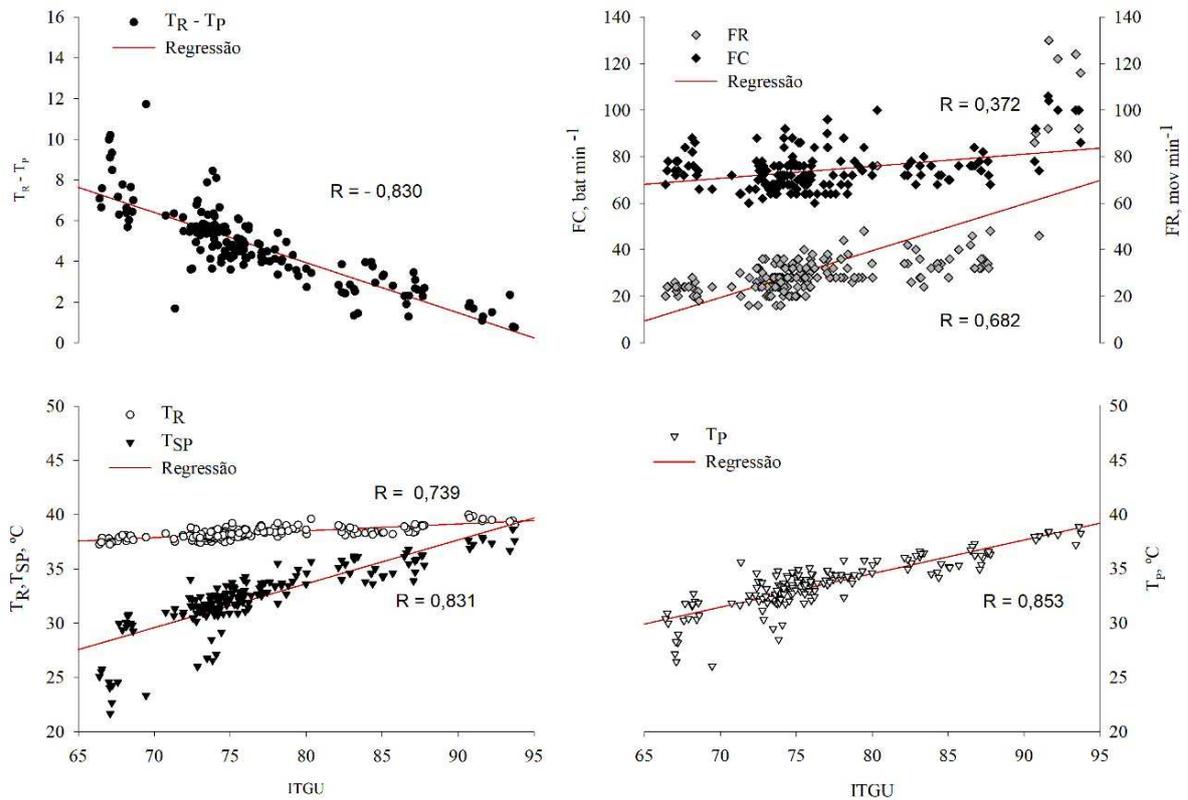


Figura 2. Regressão do índice temperatura de globo negro e umidade (ITGU – Buffington et al., 1981) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos.

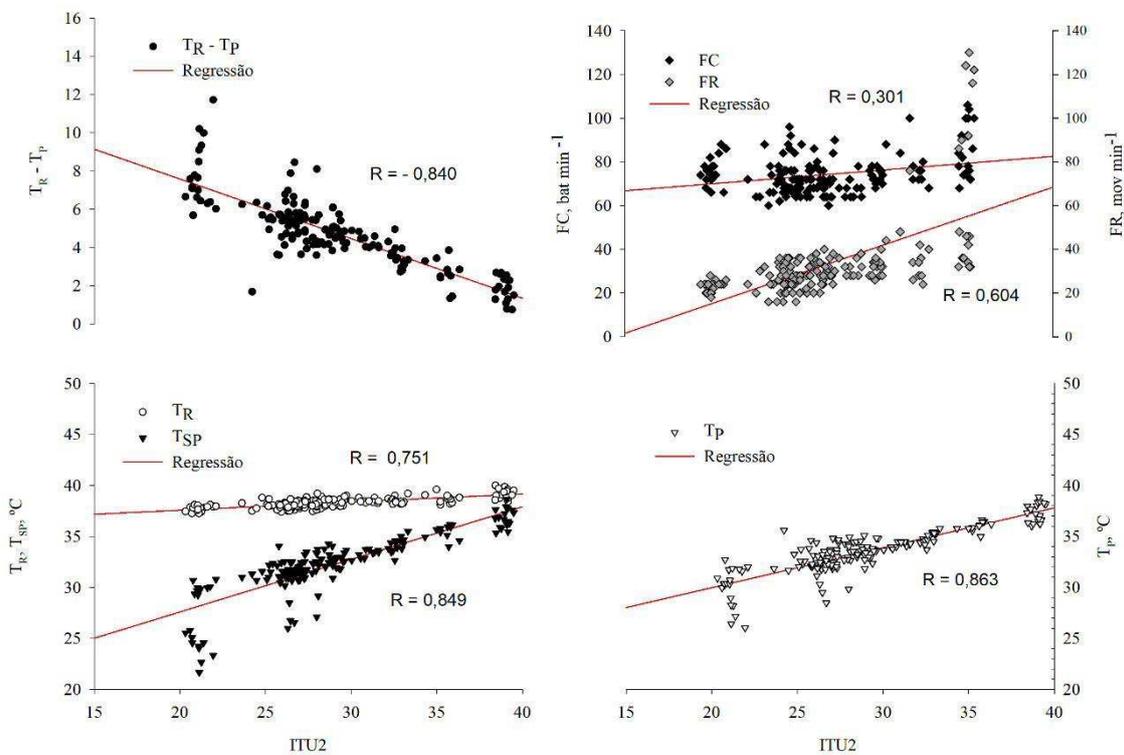


Figura 3. Regressão do índice temperatura e umidade (ITU – Marai et al., 2007) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos.

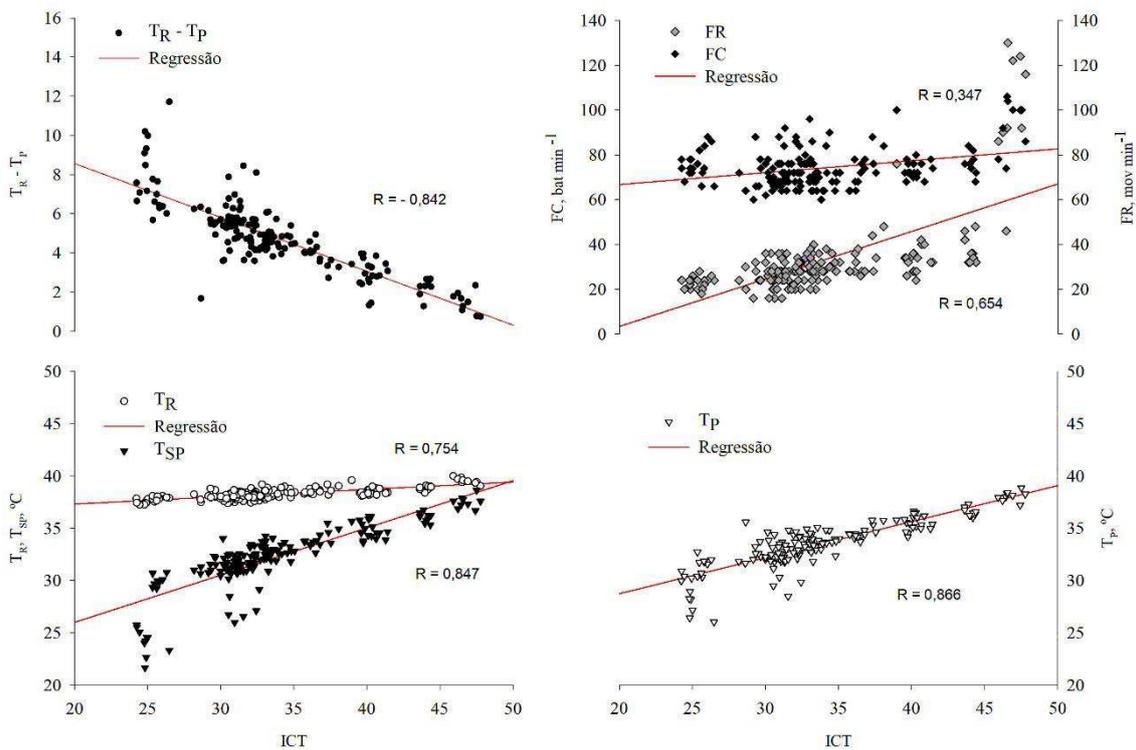


Figura 4. Regressão do índice de conforto térmico para ovinos (ICT –Barbosa e Silva, 1995) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos.

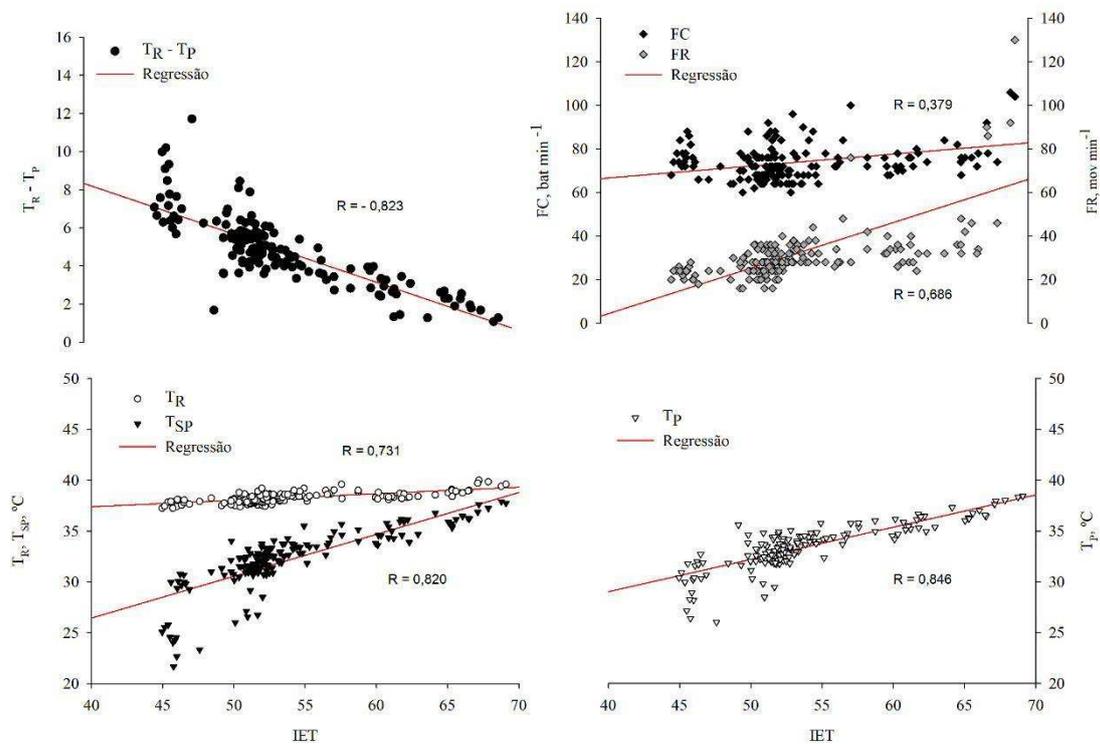


Figura 5. Regressão do índice estresse térmico (IET – autor) sobre as variáveis fisiológicas de ovinos.

Os índices ITU (1 e 2) e ITGU têm sido amplamente utilizados para avaliar ambientes de pecuária em regiões áridas e semiáridas, apesar de suas óbvias limitações (Maia et al., 2005; Fonseca et al., 2019), apegando-se ao argumento de que está correlacionado com o desempenho da produção animal, esse argumento poderia ser válido para zonas temperadas, onde o índice foi desenvolvido (Silva et al., 2007).

Os índices mencionados anteriormente são dispositivos úteis para avaliar o clima geral de uma área; envolvem medidas meteorológicas locais de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, temperatura média radiante e radiação solar, mas as variáveis e seus coeficientes em um dado índice devem ser consistentes com os mecanismos fisiológicos de troca de calor dos animais considerados.

Observa-se na Tabela 4 os valores médios das variáveis fisiológicas observados para cada um dos níveis de IET e, na Figura 5 os valores médios de temperatura retal e frequência respiratória observados para cada um desses níveis de IET. A T_R e FR são geralmente assumidos como indicadores primários de estresse térmico em ovinos (Sejian et al., 2017), e à medida que o valor de IET aumenta de < 48 para > 72, a T_R e FR aumentaram, como esperado. É interessante observar que em ambientes quentes a FR assume relevância crescente como forma de perda de calor para o animal.

Tabela 4. Valores médios da frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), temperatura retal (T_R), temperatura da pele (T_P) e temperatura da superfície da pelagem (T_{SP}), de acordo com o nível IET.

| IET | FC (bat min ⁻¹) | FR (mov min ⁻¹) | T_R (°C) | T_P (°C) | T_{SP} (°C) |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|------------|------------|---------------|
| < 48 | 63,47 | 19,05 | 37,49 | 29,41 | 25,99 |
| 48,1-51 | 67,14 | 23,71 | 37,84 | 31,92 | 30,62 |
| 51,1-54 | 71,86 | 28,11 | 38,19 | 33,26 | 32,17 |
| 54,1-57 | 76,35 | 33,06 | 38,52 | 34,61 | 33,71 |
| 57,1-60 | 78,00 | 35,33 | 38,65 | 35,10 | 34,31 |
| 60,1-63 | 81,73 | 36,67 | 38,83 | 35,81 | 35,22 |
| 63,1-66 | 83,24 | 38,29 | 38,88 | 36,00 | 35,47 |
| 66,1-69 | 92,29 | 69,43 | 39,31 | 37,41 | 36,80 |
| > 70 | 102,00 | 116,80 | 39,75 | 38,41 | 37,90 |

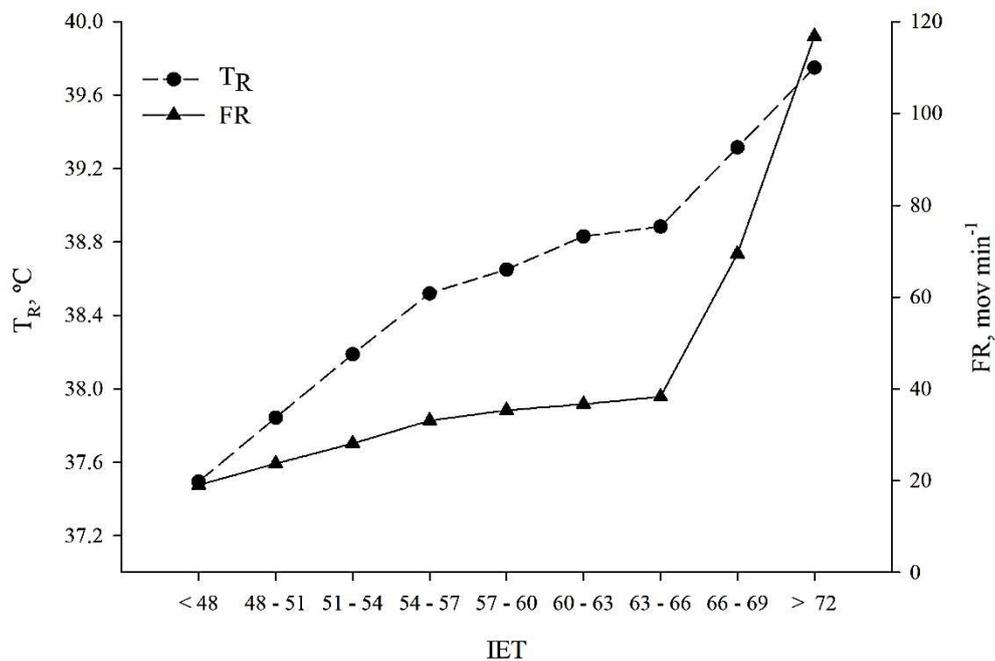


Figura 6. Valores médios da temperatura retal (T_R) e da frequência respiratória (FR) dos ovinos, de acordo com os valores do IET.

Quatro faixas para aplicação IET podem ser sugeridas: ≤ 63 conforto, $\geq 63,1$ e ≤ 66 desconforto leve a moderado, $\geq 66,1$ e ≤ 69 estresse e ≥ 70 alerta, baseadas nas respostas fisiológicas dos animais.

Quando um determinado local é classificado com IET > 70 , as pastagens devem ser providas de sombras arbóreas e/ou abrigos suficientes. Se os ovinos forem criados em sistema de produção semi-intensivo, é aconselhável que sejam alojados durante o período mais quente do dia, que devem ter proteção suficiente contra as principais fontes de radiação térmica e ser amplamente abertas ao fluxo de ar; se necessário, dispositivos de aspersão de água e ventiladores elétricos proporcionariam alívio adicional para os animais.

4. Conclusão

A equação escolhida foi o índice de estresse térmico para ovinos, $IET = 24,153 - (0,0523 \cdot T_A) + (0,746 \cdot T_{GN}) + (4,104 \cdot ea)$, com $R^2 = 0,668$. As correlações do IET com as variáveis fisiológicas apresentaram altos valores, assim como as correlações entre os índices já existentes e o IET, onde esses valores das correlações foram assumidos como

indicativos da eficiência de cada índice como indicadores da resposta dos animais ao ambiente. Assumindo-se assim, que o IET apresenta uma alta eficiência.

Referências

- Baêta, F.C., Souza, C.F., 2010. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2. ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais. 269p.
- Barbosa, O.R., Silva, R.G. 1995. Índice de conforto térmico para ovinos. *Bol. Ind. Anim.*, v.52, p.29-35. <http://www.iz.sp.gov.br/bia/index.php/bia/article/view/799>
- Brown-Brandl, T.M. 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *R. Bras. Zootec.*, v.47, p.e20160414. 10.1590/rbz4720160414
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. ASAE.*, v.24, p.0711-0714. 10.13031/2013.34325
- CAPRIL VIRTUAL. 2014. Raça de ovinos soinga é reconhecida oficialmente na festa do boi. Rio Grande Do Norte, 10 OUT. 2014. Disponível em: <http://www.caprilvirtual.com.br/noticias3p.php?recordID=6757>. Acesso em: 06 jul. 2021.
- Costa, W.P., Façanha, D.A.E., Leite, J.H.G.M., Silva, R.C.B., Souza, C.H., Chaves, D.F., Vasconcelos, A.M., Soto-Blanco, B., Vale, A.M., Pimenta Filho, E.C. 2015. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Semin. Cienc. Agrar.*, v.36, p.4589-4600. 10.5433/1679-0359.2015v36n6Supl2p4589
- Eustáquio Filho, A., Teodoro, S.M., Chaves, M.A., Santos, P.E.F., Silva, M.W.R., Murta, R.M., Carvalho, G.G.P., Souza, L.E.B. 2011. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1807-1814. 10.1590/S1516-35982011000800026
- Fonsêca, V.F.C., Maia, A.S.C., Saraiva, E.P., Costa, C.C.M., Silva, R.G., Abdoun, K.A., Al-Haidary, A.A., Samara, E.M., Fuller, A. 2019. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. *J. Therm. Biol.*, v.84, p.83-91, 10.1016/j.jtherbio.2019.05.024
- Fonseca, V.F.C., Saraiva, E.P., Maia, A.S.C., Nascimento, C.C.N., Silva, J.A., Pereira, W.E., Pimenta Filho, E.C., Maria Elivânia Vieira Almeida, M.E.V. 2017. Models to predict both sensible and latent heat transfer in the respiratory tract of Morada Nova sheep under semiarid tropical environment. *Int J Biometeorol.*, v.61, p.777-784. doi: 10.1007/s00484-016-1255-3.
- King, A.D., Karoly, D.J., Henley, B.J. 2017. Australian climate extremes at 1.5°C and 2°C of global warming. *Nat. Clim. Chang.*, v.7, p.412-416. 10.1038/nclimate3296

- Leite, J.H.G.M., Façanha, D.A.E., Bermejo, J.V.D., Guilhermino, M.M., Bermejo, L.A. 2021. Adaptive assessment of small ruminants in arid and semi-arid regions. *Small Rumin. Res.*, v.203, p.106497. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106497>
- Maia, A.S.C., Nascimento, S.T., Nascimento, C.C.N., Gebremedhin, K.G. 2016. Thermal equilibrium of goats. *J. Therm. Biol.*, v.58, p.43-49. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.03.012>
- Maia, A.S.C., Silva, R.G., Loureiro, C.M.B. 2005. Sensible and latent heat loss from body surface of Holstein cows in a Tropical environment. *Int. J Biometeorol.*, v.50, p.17-22. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0267-1>
- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez M.A.M. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. *Small Rumin. Res.*, v.71, p.1-12. [10.1016/j.smallrumres.2006.10.003](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003)
- Mitchell, D., Snelling, E.P., Hetem, R.S., Maloney, S.K., Fuller, A. 2018. Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. *J. Anim. Ecol.*, v.87, p.956-973
- Moran, D.S., Pandolf, K.B., Shapiro, Y., Heled, Y., Shani, Y., Mathew, W.T., Gonzalez, R.R. 2001. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). *J. Therm. Biol.*, v.26, p.427-431, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration National Center for Environmental Information: Global Climate Report for Annual 2019 published online January from (2019) <https://www.ncdc.noaa.gov/>
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, p.1-362.
- Polosky, L., Keyserling, M.A.G. 2017. Invited review: effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.*, v.100, p.8645-8657, [10.3168/jds.2017-12651](https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651)
- Rencher, A.C. 1995. *Methods of multivariate analysis*. Wiley, New York, 627p.
- Santos, M.L.P., Dada, J.M.V., Muniz, P.C., Nunes-Zotti, M.L.A., Barros, F.R.O., Vieira, F.M.C. 2021. Physiological responses of Santa Inês x Dorper ewes and lambs to thermal environment of silvopasture and open pasture systems. *Small Rumin. Res.*, v.205, p.106565. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106565>
- Santos, M.M., Azevedo, M., Costa, L.A.B., Silva Filho, F.P., Modesto, E.C., Lana, A.M.Q. 2011. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês, de diferentes pelagens, em pastejo. *Acta Sci. - Anim. Sci.*, v.33, p.287-294. [10.4025/actascianimsci.v33i3.9974](https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i3.9974)

Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Rashamol, V.P., Pragna, P., Devaraj, C., Bhatta, R. 2019. Genes for resilience to heat stress in small ruminants: A Review. *Small Rumin. Res.*, v.173, p.42-53. <https://doi:10.1016/j.smallrumres.2019.02.009>

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Malik, P., Naqvi, S., Lal, R. 2017. Adapting Sheep Production to Climate Change. *Sheep Production Adapting to Climate Change*. Springer, Singapore, Singapore, ed.1. p. 1-29.

Serrano, J.O., Mayea, A.L., Villares-Garachana, A., Correa-Herrera, N., González-Morales, A., Pérez-Bonachea, L., Hernández, L., Lorente, G. Hajari, E., Fonseca-Fuentes, N., Martínez-Melo, J., Lorenzo, J.C. 2022. Effect of short-term radiation stress on physiological and hematological parameters in Pelibuey sheep in Cuba. *Small Rumin. Res.*, v.210, p.106679. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106679>

Serrano, J.O., Villares, A., Manuel-Malamba, F.D., Martínez-Melo, J., Mazorra, C., Borroto, A., Hajari, E., Fonseca-Fuentes, N., Lorenzo, J.C. 2021. Euclidean distance: integrated criteria to study sheep behaviour under heat stress. *Not. Sci. Biol.*, v.13, p.10859. <https://doi.org/10.15835/nsb13110859>

Silva, R.G., Guilhermino, M.M., Morais, D.A.E.F. 2010. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *Int. J. Biometeorol.*, v.54, p.5–11. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0244-1>

Silva, R.G., LaScala Júnior, N., Lima Filho, A.E., Catharin, M.C. 2002. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. *Int. J. Biometeorol.*, v.46, p.136–140. <https://doi.org/10.1007/s00484-002-0128-0>

Silva, R.G., Maia, A.S.C., Costa, L.L.M. 2015. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *Int J Biometeorol.*, v.59, p.551–559. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>

Silva, R.G., Morais, D.E.A.F., Guilhermino, M.M. 2007. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *R. Bras. Zootec.*, v.36, p.1192-1198. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>

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