

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA

FERNANDA GATTI DE OLIVEIRA NASCIMENTO

CARACTERÍSTICAS TERMOFISIOLÓGICAS E DO AMBIENTE TÉRMICO DE  
BEZERROS MESTIÇOS LEITEIROS EM REGIÃO TROPICAL

Uberlândia

2024

FERNANDA GATTI DE OLIVEIRA NASCIMENTO

CARACTERÍSTICAS TERMOFISIOLÓGICAS E DO AMBIENTE TÉRMICO DE  
BEZERROS MESTIÇOS LEITEIROS EM REGIÃO TROPICAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias/Doutorado da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Ciências Veterinárias.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento

Uberlândia

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

N244c Nascimento, Fernanda Gatti de Oliveira, 1991-  
2024 Características termofisiológicas e do ambiente térmico de bezerros  
mestiços leiteiros em região tropical [recurso eletrônico] / Fernanda  
Gatti de Oliveira Nascimento. - 2024.

Orientadora: Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de  
Pós-graduação em Ciências Veterinárias.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.5078>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Veterinária. I. Nascimento, Mara Regina Bueno de Mattos, 1964-,  
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-  
graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.

---

CDU: 619

André Carlos Francisco  
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Veterinárias

BR 050, Km 78, Campus Glória , Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 2512-6811 - www.ppgcv.famev.ufu.br - mesvet@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ciências Veterinárias			
Defesa de:	Tese de Doutorado PPGCVET Nº 02/2024			
Data:	30 de abril de 2024	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento: [17:00]
Matrícula do Discente:	11913VET006			
Nome do Discente:	Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento			
Título do Trabalho:	CARACTERÍSTICAS TERMOFISIOLÓGICAS E DO AMBIENTE TÉRMICO DE BEZERROS MESTIÇOS LEITEIROS EM REGIÃO TROPICAL			
Área de concentração:	Produção Animal			
Linha de pesquisa:	Forragicultura, manejo e eficiência na produção dos animais e de seus derivados			
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Efeito do ambiente térmico sobre os animais homeotérmicos			

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala 1CCG 216, Campus Glória, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, assim composta: Professores Doutores: Anna Monteiro Correia Lima (FAMEV/UFU); Ednaldo Carvalho Guimarães (FAMAT/UFU); João Helder Frederico de Faria Naves (UNIPAC); Fernanda Heloisa Litz (UNIPAC); Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento (FAMEV/UFU), orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

---



Documento assinado eletronicamente por **Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento, Membro de Comissão**, em 30/04/2024, às 16:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Anna Monteiro Correia Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/04/2024, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Ednaldo Carvalho Guimarães, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/04/2024, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Heloisa Litz, Usuário Externo**, em 30/04/2024, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **João Helder Frederico de Faria Naves, Usuário Externo**, em 30/04/2024, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5366030** e o código CRC **4E07ECBC**.

---

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus familiares, amigos e orientadora,  
pelo apoio, incentivo, conselhos e  
ensinamentos ao longo dessa jornada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele não teria concluído essa jornada. E aos meus pais Ivone e Nelson (*in memorian*), por todo o apoio durante os anos de minha formação pessoal e profissional.

Ao meu marido Gustavo pelo companheirismo, paciência e pelos conselhos ao longo da realização dessa pesquisa. Ao nosso filho Henrique, que se fez presente nessa etapa final do doutorado. Aos meus sobrinhos Frederico, Heitor e Luísa por compartilhar comigo a sua alegria e a todos os familiares que estiveram presentes me incentivando a concluir meu doutorado.

À minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento, por ter aceitado me orientar ao longo desses anos, e também por ser sempre presente, dedicada e atenciosa, ensinando-me muito além dos assuntos da tese.

Ao Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães e à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Priscila Neves Faria, pela paciência, os ensinamentos e a colaboração com as análises estatísticas.

Agradeço aos professores e membros examinadores por se disponibilizarem a participar da minha banca de defesa de doutorado, compartilhando seus conhecimentos e contribuindo para o enriquecimento da minha tese.

Aos colegas do Grupo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Biometeorologia Animal (GEPEBA-UFU), pela amizade, incentivo e contribuições nas pesquisas que foram desenvolvidas durante os anos de doutorado.

Aos colegas da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Uberlândia (UNIPAC), do Centro Universitário do Triângulo (UNITRI) e do Centro Integral Veterinário Dr<sup>a</sup>. Sirlei Manzan pela amizade, conselhos, incentivo e companheirismo ao longo desses anos de caminhada.

Aos meus queridos amigos da faculdade Anaís, Flaviane, Filipe, Giovanna e Paula por estarem sempre presentes em minha vida, oferecendo apoio e incentivo.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com a realização deste sonho.

*“Ensinar, aprender e pesquisar lidam com esses dois momentos do ciclo gnosiológico: o em que se ensina e se aprende o conhecimento já existente e o em que se trabalha a produção do conhecimento ainda não existente.”*

(FREIRE, 1996, p.28)

## RESUMO

Primeiramente objetivou-se compreender as relações entre o ambiente térmico e as respostas termofisiológicas de bezerros leiteiros mestiços criados em região tropical pela análise de correlação canônica (ACC) e determinar as variáveis termofisiológicas e ambientais mais importantes para esta categoria animal. Trinta e sete fêmeas, de 20 a 60 dias de idade foram avaliadas. Frequência respiratória (RR), temperatura retal (RT), temperatura corporal superficial (BST), temperatura do ar (Tair), temperatura do globo (Tg), umidade do ar (RH) e velocidade do vento (Ws) foram medidas pela manhã e tarde. Evaporação cutânea (Ec) e respiratória (Er) e os principais índices de estresse térmico foram calculados. Pela ACC foram identificados cinco conjuntos de variáveis fisiológicas (U) e do ambiente térmico (V), sendo que os dois primeiros (U1V1 e U2V2) foram os mais importantes. No período da manhã, observaram-se as maiores correlações canônicas entre U1 e Er (-0,911), U2 e BST (-0,966), V1 e RH (0,978) e V2 e o índice de temperatura e umidade (THI) (-0,766). Enquanto que à tarde foram entre as variáveis U1 e Er (-0,904), U2 e BST (0,640), V1 e RH (0,996) e V2 e o índice de globo negro e umidade (BGHI) (0,707). A variável Er apresentou forte correlação com a radiação (S) durante a manhã e com o índice de conforto térmico para vacas leiteiras (TCIdc) durante a tarde. Enquanto que BST se correlacionou forte com THI e Tair durante a manhã e com o índice de carga térmica (HLI) e BGHI durante a tarde. Já na segunda pesquisa objetivou-se identificar as variáveis termofisiológicas, do ambiente térmico e os índices de estresse térmico que apresentam maior contribuição na avaliação do efeito do estresse por calor em bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical e, também, propor um ajuste equação de THI para essa categoria animal. Foram avaliados bezerros entre 15 a 60 dias de idade durante os períodos da manhã e tarde. Foram quantificadas a RR, RT e a BST. Foram medidas as Tair, Tg, Ws e os principais índices de estresse térmico foram calculados. Na análise de componentes principais (PCA) verificou-se que as variáveis termofisiológicas que exibiram as cinco maiores cargas fatoriais no componente principal 1 (CP1) foram: SBT (0,719), RR (0,697) e RT (0,679). Já as variáveis do ambiente térmico foram: Tair (0,914), THI (0,837) e índice de frequência respiratória (0,804). Na análise de regressão linear múltipla para ajuste do THI para bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical, observou-se que a Tair e RH foram altamente significativos e que a nova equação apresentou  $R^2$  de 0,98. Conclui-se que as variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico são fortemente associadas e o THI é uma equação indicada de ser utilizada na avaliação do efeito por estresse por calor em bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical.

**Palavras-chave:** análise multivariada, bovino leiteiro, estresse por calor, homeostase.

## ABSTRACT

Initially, the aim was to understand the relationships between the thermal environment and the thermophysiological responses of crossbred dairy calves raised in a tropical region through canonical correlation analysis (CCA), and to determine the most important thermophysiological and environmental variables for this animal category. Thirty-seven females, aged 20 to 60 days, were evaluated. Respiratory rate (RR), rectal temperature (RT), surface body temperature (BST), air temperature (Tair), globe temperature (Tg), relative humidity (RH), and wind speed (Ws) were measured in the morning and afternoon. Cutaneous evaporation (Ec) and respiratory evaporation (Er) as well as the main thermal stress indices were calculated. Through CCA, five sets of physiological variables (U) and thermal environment variables (V) were identified, with the first two (U1V1 and U2V2) being the most important. In the morning, the highest canonical correlations were observed between U1 and Er (-0.911), U2 and BST (-0.966), V1 and RH (0.978), and V2 and the temperature-humidity index (THI) (-0.766). In the afternoon, the highest correlations were between U1 and Er (-0.904), U2 and BST (0.640), V1 and RH (0.996), and V2 and the black globe and humidity index (BGHI) (0.707). The Er variable showed a strong correlation with radiation (S) in the morning and with the thermal comfort index for dairy cows (TCIdc) in the afternoon. Meanwhile, BST was strongly correlated with THI and Tair in the morning and with the heat load index (HLI) and BGHI in the afternoon. The second study aimed to identify the thermophysiological variables, thermal environment variables, and thermal stress indices that contribute the most to assessing the heat stress effect in crossbred dairy calves raised in a tropical environment, as well as propose an adjustment for the THI equation for this animal category. Calves aged 15 to 60 days were evaluated during the morning and afternoon periods. RR, RT, and BST were quantified. Tair, Tg, Ws were measured, and the main thermal stress indices were calculated. In the principal component analysis (PCA), the thermophysiological variables that exhibited the five highest factor loadings in principal component 1 (PC1) were: SBT (0.719), RR (0.697), and RT (0.679). The thermal environment variables were: Tair (0.914), THI (0.837), and respiratory frequency index (0.804). In the multiple linear regression analysis for adjusting the THI for crossbred dairy calves raised in a tropical environment, it was observed that Tair and RH were highly significant, and the new equation showed an  $R^2$  of 0.98. It is concluded that the thermophysiological and thermal environment variables are strongly associated, and THI is a recommended equation for evaluating the effect of heat stress in crossbred dairy calves raised in a tropical environment.

**Keywords:** multivariate analysis, dairy cattle, heat stress, homeostasis.

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1</b>		<b>PÁG</b>
TABELA 1	Equações dos principais índices de estresse térmico propostos entre 1981 a 2016 publicados em periódicos americanos e europeus.....	24
<b>CAPÍTULO 2</b>		
TABELA 1	Medianas (Md), intervalos interquartílicos (IQR), médias (Mean) e desvios padrão (SD) das variáveis termofisiológicas de bezerras mestiças leiteiras, variáveis meteorológicas e índices de estresse térmico, pela manhã e tarde, em região tropical.....	46
<b>CAPÍTULO 3</b>		
TABELA 1	Equações dos principais índices de estresse térmico propostos entre 1981 a 2016 publicados em periódicos americanos e europeus.....	66
TABELA 2	Média e desvio-padrão para variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico, e a sua relação com as classes de THI para bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical.....	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>PÁG</b>
FIGURA 1 Variação da temperatura corporal com a redução ou aumento da temperatura do ambiente.....	17
<b>CAPÍTUL 2</b>	
FIGURA 1 Correlação das variáveis fisiológicas, eixo X, e do ambiente térmico, eixo Y, pela manhã.....	47
FIGURA 2 Correlação das variáveis fisiológicas, eixo X, e do ambiente térmico, eixo Y, pela tarde.....	48
<b>CAPÍTULO 3</b>	
FIGURA 1 Instalações experimentais do bezerreiro tropical individual ao ar livre da fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (18°57'38" S; 48°12'16,8" W).....	65
FIGURA 2 Percentagem de variações explicadas pelos componentes principais da análise multivariada.....	68
FIGURA 3 Variáveis mais associadas em cada componente da análise multivariada.....	69
FIGURA 4 Análise dos componentes principais das variáveis em estudo para bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical. Dim 1: componente principal 1 (51,7%); Dim 2: componente principal 2 (26,3%).....	70
FIGURA 5 Representação gráfica da relação do THI para bezerros mestiços leiteiros com as variáveis Tair e RH.....	71

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>13</b>
INTRODUÇÃO.....	14
OBJETIVOS.....	16
REVISÃO DE LITERATURA.....	17
Zona termo neutra e os limites críticos de temperaturas.....	17
Mecanismos para perda de calor.....	18
Variáveis termofisiológicas.....	19
Variáveis meteorológicas.....	21
Índices de estresse térmico.....	21
Análise de correlação canônica e análise dos componentes principais.....	23
REFERÊNCIAS.....	26
<b>CAPÍTULO 2 – ASSOCIAÇÃO ENTRE AMBIENTE E VARIÁVEIS TERMOFISIOLÓGICAS DE BEZERRAS MESTIÇAS LEITEIRAS CRIADAS EM REGIÃO TROPICAL: ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA.....</b>	<b>32</b>
RESUMO.....	33
INTRODUÇÃO.....	34
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS.....	37
DISCUSSÃO.....	39
CONCLUSÃO.....	41
AGRADECIMENTOS.....	42
REFERÊNCIAS.....	42
<b>CAPÍTULO 3 – ANÁLISE FATORIAL EXPLORATÓRIA DE VARIÁVEIS TERMOFISIOLÓGICAS E METEOROLÓGICAS E AJUSTE DO THI PARA BEZERROS MESTIÇOS LEITEIROS EM AMBIENTE TROPICAL.....</b>	<b>49</b>
RESUMO.....	50
INTRODUÇÃO.....	51
MATERIAL E MÉTODOS.....	52
RESULTADOS.....	55
DISCUSSÃO.....	56
CONCLUSÃO.....	59
AGRADECIMENTOS.....	59

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A - PROTOCOLOS DE REGISTRO NO CEUA-UFU.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO B - INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA JOURNAL OF DAIRY RESEARCH.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO C – INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA LIVESTOCK SCIENCE.....</b>	<b>79</b>

## **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

(Redigido de acordo com as normas da ABNT - Biblioteca da Universidade Federal de  
Uberlândia)

## INTRODUÇÃO:

O estresse por calor é caracterizado como um dos principais desafios na bovinocultura leiteira (Bakony; Jurkovich, 2020) e é causado pela combinação de fatores ambientais, tais como temperatura e umidade do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação (Bohmanova; Misztal; Cole, 2007), que podem afetar negativamente a homeostase térmica dos bovinos. Existem diversos indicadores que podem ser utilizados para avaliar o grau de estresse por calor ao qual os bovinos estão submetidos. Esses indicadores podem ser baseados na avaliação dos animais (pela observação do comportamento, fisiologia ou desempenho dos bovinos), ou no ambiente térmico em que o animal vive (Dado-Senn *et al.*, 2020).

Em condições de estresse por calor, os bovinos alteram seu comportamento e as variáveis termofisiológicas como forma de dissipar o excesso de calor endógeno (Santos *et al.*, 2021). A temperatura corporal superficial é um indicador da eficácia da dissipação de calor sensível entre a pele do animal e o ambiente. Assim, com o aumento da temperatura do ar haverá aumento do fluxo sanguíneo para a pele, que leva ao aumento do fornecimento de calor metabólico produzido pelos órgãos internos para a periferia, de onde será perdido para o ambiente, principalmente por convecção (Shephard; Maloney, 2023).

Quando os bovinos estão expostos a ambientes com variação na temperatura do ar, é observado o aumento da frequência respiratória em resposta ao estresse por calor, e ele precederá o aumento da temperatura retal (Brown-Brandl *et al.*, 2003; Berman *et al.*, 2005). Santos *et al.* (2017) afirmaram que quando os bovinos apresentam excesso de calor, eles utilizam a evaporação (cutânea e respiratória) como principal mecanismo termorregulador, principalmente sob as condições de elevadas temperaturas do ar. O aumento da temperatura retal ocorre quando os mecanismos de termorregulação são insuficientes para manter a temperatura corporal profunda constante (Gaughan *et al.*, 2000; Martello *et al.*, 2004).

As variáveis meteorológicas devem ser analisadas, por influenciarem o equilíbrio térmico dos animais (Silva; Morais; Guilhermino, 2007), e com base nos seus resultados são calculados os índices de estresse térmico para avaliar os efeitos negativos do estresse por calor (Berman *et al.*, 2016). A avaliação dos resultados dos índices de estresse térmico é realizada considerando a interpretação de valores críticos, que devem ser interpretados com base nas condições meteorológicas da região, bem como as características dos animais avaliados, a fim de garantir uma adequada interpretação dos resultados.

As respostas observadas nos animais que estão expostos ao efeito do estresse por calor são importantes de serem compreendidas (Nienaber; Hahn; Eigenberg, 2004). Assim, o pecuarista terá capacidade de tomar decisões racionais e mais assertivas quanto à escolha de uma raça adaptada a ser utilizada em seu sistema de produção, bem como ter melhor planejamento quanto ao manejo do rebanho e do ambiente em que os bovinos são criados com o objetivo de garantir conforto e alto grau de bem-estar animal (Nascimento *et al.*, 2019).

## OBJETIVOS

Objetivou-se, no primeiro estudo, compreender e discutir as relações entre o ambiente térmico e as respostas termofisiológicas de bezerras mestiças leiteiras criadas em região tropical pela análise de correlação canônica (ACC) e determinar as variáveis termofisiológicas e ambientais mais importantes para esta categoria animal. No segundo estudo, objetivou-se identificar as variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico e os índices de estresse térmico que apresentam maior contribuição na avaliação do efeito do estresse por calor em bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical e, também, propor um ajuste na equação do índice de temperatura e umidade (THI) para essa categoria animal.

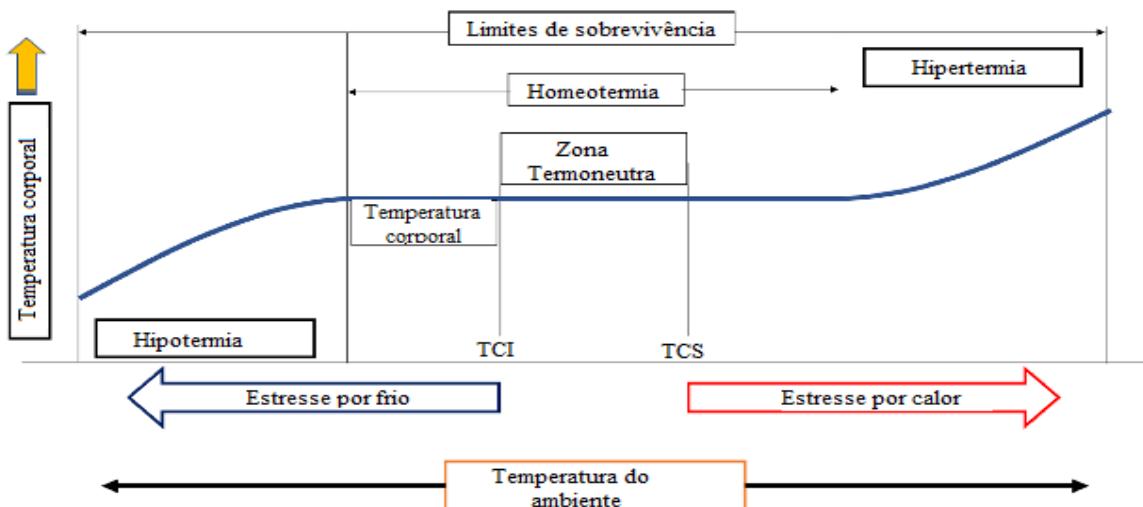
## REVISÃO DE LITERATURA

### Zona termo neutra e os limites críticos de temperaturas

Na zona denominada termo neutra (ZTN), os bovinos mantêm a temperatura corporal interna, ou seja, equilibrada com o ambiente. Isso ocorre porque nessa condição não há necessidade de ativar mecanismos termofisiológicos para dissipar o excedente de calor para o ambiente, ou para gerar calor endógeno para manter a temperatura corporal profunda, porque os mecanismos sensíveis de troca de calor são suficientes para manutenção do equilíbrio térmico (Santos *et al.*, 2021).

A ZTN é representada como a faixa entre a temperatura crítica inferior (TCI) e a temperatura crítica superior (TCS) (Figura 1). O sistema termorregulador dos bovinos será ativado com o objetivo de reter o calor corporal ou para aumentar a produção de calor endógeno (termogênese) quando a temperatura do ambiente estiver abaixo da TCI (Santos *et al.*, 2021). Já na situação contrária, os bovinos vão ativar os mecanismos de perda de calor, principalmente por termólise evaporativa, quando a temperatura do ambiente exceder o limite da TCS (Kamal *et al.*, 2018). Ou seja, quando a temperatura ambiente está abaixo da TCI o animal está sob o estresse por frio, e quando ela está acima da TCS o animal está sob o estresse por calor (Da Silva; Campos Maia, 2013).

Figura 1. Variação da temperatura corporal com a redução ou aumento da temperatura do ambiente



Fonte: Adaptado de Ehrlemark e Sallvik (1996) e Santos *et al.* (2021).

TCI: temperatura crítica inferior; TCS: temperatura crítica superior.

Youself (1985) afirma que a ZTN para bovinos leiteiros de origem europeia está entre 5 °C a 25 °C, enquanto que de acordo Silva (2000) para os bovinos mestiços leiteiros esta faixa de temperatura está entre 7 °C a 35 °C. Para bezerros leiteiros taurinos acima de três semanas de idade a ZTN está entre 5 °C a 20 °C (Kamal *et al.*, 2016), mas Nascimento *et al.* (2019) afirmaram que bezerros mestiços leiteiros criados em regiões tropicais com temperaturas entre 17 °C e 26,4 °C conseguem manter a homeotermia ao longo do dia. É importante destacar que a faixa de temperatura da ZTN para bovinos pode variar conforme a raça, idade, alimentação, nível de produção, tipo de pelame do animal e aclimatização (Azevedo *et al.*, 2005).

### **Mecanismos para perda de calor**

As principais forma de dissipação do excesso de calor, com o objetivo de evitar o aumento da temperatura corporal profunda pelos bovinos, são a perda de calor sensível (radiação, convecção e condução) e a latente (evaporação cutânea a respiratória) (Maia; Da Silva; Loureiro, 2005a).

Radiação é caracterizada como a transmissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas (Shephard; Maloney, 2023). No caso da radiação solar é a ação direta dos raios solares e reflexão deles pelo solo e também pelas instalações sobre o bovino (Da Silva; Campos Maia, 2013). A perda de calor por convecção é quando o ar frio em contato com o corpo quente carrega o calor e reduz a temperatura corporal superficial (Kadzere *et al.*, 2002). Essa troca de calor por convecção depende da temperatura corporal superficial do animal, da temperatura do fluido em contato com a superfície do animal, da área superficial de contato e da velocidade do vento (Shephard; Maloney, 2023). Para que o vento exerça um papel importante na eliminação de calor por convecção, é preciso que a temperatura do ar seja menor que a temperatura corporal superficial do animal (Cattelam; Vale, 2013).

Já a condução é caracterizada como o movimento de energia através de uma substância contínua (do quente para o frio) e surge de colisões e da transferência de energia de moléculas mais energéticas para as menos energéticas (Shephard; Maloney, 2023). No caso dos bovinos, é caracterizado como a troca de calor com o ambiente por contato direto com uma superfície mais fria que a temperatura de sua área superficial de contato (Cattelam; Vale, 2013).

Durante a exposição ao estresse por calor, acima da TCS, os bovinos vão ajustar os mecanismos de transferência de calor por radiação, condução, convecção e evaporação com o objetivo de manter a temperatura corporal profunda constante. De acordo Shephard e Maloney

(2023), inicialmente há aumento do fluxo sanguíneo para a pele, que leva ao aumento do fornecimento de calor metabólico produzido pelos órgãos internos para a periferia, de onde será perdido para o ambiente, principalmente por convecção. Quando a temperatura ambiente excede a temperatura corporal superficial (em torno de 36 °C), o calor fluirá do ar mais quente para a pele mais fria e, assim, o corpo do bovino vai reter o calor, e é nessa fase, que para manter o equilíbrio térmico, o resfriamento evaporativo deverá aumentar para que o animal consiga dissipar o excedente de calor (Shephard; Maloney, 2023).

A perda sensível de calor representa de 70 a 80% da perda total de calor, enquanto que de 20 a 30% é a perda via evaporação quando os animais estão sob conforto térmico e a temperatura do ar está entre 10 °C e 20 °C (Maia; Da Silva; Loureiro, 2005a). Mas nas condições de desconforto térmico, em que a temperatura do ar é mais elevada que a temperatura corporal superficial dos bovinos, a eliminação de calor por evaporação passa a ser predominante, podendo chegar a aproximadamente 85% da perda total de calor (Starling *et al.*, 2002; Maia; Da Silva; Loureiro, 2005a).

### Variáveis termofisiológicas

Bovinos são animais homeotérmicos, portanto eles mantêm a temperatura corporal profunda constante. Para isso eles geram calor metabólico e trocam calor continuamente com o ambiente, e essa taxa de troca de calor é dependente das condições meteorológicas e dos mecanismos de termorregulação do animal (Roland *et al.*, 2016). Sob o efeito do estresse por calor, os bovinos modificam seu comportamento e as variáveis termofisiológicas com o objetivo de dissipar o excesso de calor (Santos *et al.*, 2021). Dentre as principais alterações comportamentais observadas nos bezerros leiteiros sob efeito do estresse por calor tem-se a mudança de postura, redução da movimentação durante as horas mais quentes do dia, o aumento da procura por sombra (Roland *et al.*, 2016), e aumento da ingestão de água. Já as variáveis termofisiológicas indicam a resposta do organismo às condições do ambiente térmico (Kenney *et al.*, 2022), e podem ser monitoradas por meio da quantificação das temperaturas superficial e retal e da frequência respiratória, por exemplo (Samara *et al.*, 2013).

O valor da temperatura corporal superficial (BST) serve como um indicativo da eficiência da dissipação de calor sensível entre a pele do animal e o ambiente. Ela pode ser medida utilizando sensor de infravermelho (Santos *et al.*, 2019) ou pela termografia de infravermelho (Sejian *et al.*,

2018). De acordo com Salles *et al.* (2016) a temperatura da fronte é a que apresenta maior associação com a temperatura retal (RT), enquanto que as temperaturas da fronte, e flancos direito e esquerdo são fortemente associadas ao índice de temperatura e umidade (THI) e devem ser adotadas nos estudos de termorregulação em bovinos.

Quando a temperatura do ar aumenta, ocorre a dilatação dos vasos capilares superficiais, o que leva ao aumento no fluxo sanguíneo periférico e, consequentemente, ao aumento na BST (Da Silva; Campos Maia, 2013). Em regiões tropicais, especialmente quando a temperatura do ar é superior a BST, a perda de calor sensível é comprometida, o que faz com que os bovinos dependam da perda de calor via evaporação respiratória e cutânea (Starling *et al.*, 2002).

O aumento da frequência respiratória (RR) para eliminar o excedente de calor via evaporação, pode ser facilmente identificado pelo pecuarista através da observação número de movimentos do flanco do animal (Cattelam; Vale, 2013; Santos *et al.*, 2021). Linhares *et al.* (2015) consideraram que o monitoramento da RR é recomendável a animais jovens. Mas é importante ressaltar que há variações na classificação dos seus limites que representariam o estresse por calor nos bovinos. Silanikove (2000) considerou como fisiológico o intervalo de 20 a 40 mov.min<sup>-1</sup>. Já Hahn, Parkhurrst e Gaughan (1997) afirmaram que em bovinos saudáveis o valor entre 18 a 60 mov.min<sup>-1</sup> é indicativo de ausência de estresse por calor.

Santos *et al.* (2017) afirmaram que quando os bovinos apresentam excesso de calor, eles utilizam a evaporação como principal mecanismo termorregulador, principalmente sob as condições de elevadas temperaturas do ar. Com isso, pode-se afirmar que a capacidade do animal em resistir a elevadas temperaturas é proporcional à sua capacidade de dissipar o calor latente via evaporação, seja cutânea (sudação) (Santos *et al.*, 2017) ou via sistema respiratório (Maia; Da Silva; Loureiro, 2005b).

A temperatura corporal é determinada pelo balanço entre a perda e o ganho de calor, e pode ser avaliada pela RT (Santos *et al.*, 2021). O aumento da RT é observado nas situações de estresse por calor (Rashamol *et al.*, 2018), quando os mecanismos de termorregulação são insuficientes para manter a temperatura corporal profunda constante (Gaughan *et al.*, 2000; Martello *et al.*, 2004). Costa *et al.* (2015) afirmaram que o valor fisiológico em bovinos leiteiros é de 38 °C a 39,3 °C.

Quando há a manutenção da RT dentro da normalidade para a espécie, é possível afirmar que houve a eliminação do excedente de calor e a manutenção da temperatura corporal profunda constante devido a ativação dos mecanismos termorregulatórios, como o aumento da RR (Silva *et*

*al.*, 2015). Isso pode ser explicado pelo fato de que em bovinos expostos a ambientes com variações na temperatura do ar, o aumento da RR ocorrerá em resposta ao estresse por calor, e precederá o aumento da RT (Brown-Brandl *et al.*, 2003; Berman *et al.*, 2005). No entanto, é importante salientar que há poucas informações disponíveis sobre as diferenças na termorregulação em condições de estresse por calor entre bezerros e bovinos adultos leiteiros (Roland *et al.*, 2016).

### Variáveis meteorológicas

A temperatura do ar é aceita como um indicador confiável do ambiente térmico de bezerros na maioria dos estudos sobre estresse por calor (Bakony; Jurkovich, 2020). Ela também é denominada de temperatura do bulbo seco (Tbs) e pode ser medida com uso de termômetro que deve ser protegido da luz solar direta (Shephard; Maloney, 2023). A temperatura do ar e umidade relativa são variáveis ambientais importantes, pois são as principais responsáveis por provocar alterações na termorregulação dos bovinos (Santos *et al.*, 2021). Ji *et al.* (2020) consideraram que a temperatura e umidade do ar são os parâmetros básicos para determinar o conforto térmico, devido à facilidade de obtenção dessas variáveis à campo.

Outras variáveis importantes, que também devem ser avaliadas, são a velocidade do vento e radiação solar. A exposição à radiação solar direta é um dos principais desafios para a termorregulação dos bovinos (Santos *et al.*, 2021). E a sensação de calor proveniente da radiação solar pode ser parcialmente reduzida por mudanças na velocidade do vento, que é responsável por influenciar o resfriamento dos bovinos via convecção (Herbut *et al.*, 2021). Ji *et al.* (2020) afirmaram que a velocidade do vento é um parâmetro que quantifica a movimentação do ar, e é responsável por influenciar a transferência de calor via convecção e evaporação.

### Índices de estresse térmico

Nos últimos anos muitos índices de estresse térmico (Tabela 1) foram propostos com o objetivo de se chegar a um método ideal para determinar o risco de estresse por calor com base nas medições das variáveis meteorológicas (Herbut *et al.*, 2021). Um dos principais índices calculados para avaliar o estresse por calor em bovinos leiteiros é o THI, que considera em sua equação o valor da temperatura ambiente e da umidade relativa (Mylostyvyi *et al.*, 2020). Os valores de THI são classificados em diferentes níveis de estresse por calor (Bohmanova; Misztal; Cole, 2007), mas os limites críticos podem variar conforme a região e as características dos animais avaliados

(Biffani *et al.*, 2016). Costa *et al.* (2015) consideraram que THI menor que 70 indica ausência de estresse, de 70 a 72 estado de alerta, de 72 a 78 crítico, de 78 a 82 perigoso e acima de 82 estado de emergência.

O índice de temperatura equivalente (ETI) foi desenvolvido por Baêta (1985) e leva em consideração em sua equação os valores da temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Da Silva, Morais e Guilhermino (2007) observaram que ETI apresentou correlação significativa com a temperatura retal e a frequência respiratória de vacas leiteiras criadas em ambiente tropical.

Buffington *et al.* (1981) afirmaram que o índice de globo negro e umidade (BGHI) é um indicador mais preciso do conforto térmico em relação ao THI nas condições de estresse por calor, principalmente quando os animais estão expostos à radiação solar incidente. Isso se deve ao fato de que na equação do BGHI considera-se os valores de temperatura do globo negro e temperatura do ponto de orvalho.

Existem dois modelos de cálculo do índice de carga térmica (HLI), o primeiro quando se observa que a temperatura do globo está abaixo de 25 °C, enquanto que o segundo é quando a temperatura do globo está acima de 25°C. Além da temperatura do globo, também é levado em consideração os valores de umidade relativa e velocidade do vento na equação. Gaughan *et al.* (2008) afirmaram que o modelo de equação de HLI é capaz de explicar 93% da variação do escore de respiração e é um bom preditor do status térmico em vários genótipos bovinos.

O índice de especificação ambiental (TCI) foi proposto por Silva *et al.* (2010). Para o seu cálculo considera-se os valores de temperatura do ar, velocidade do vento, pressão parcial de vapor e temperatura do globo. Os autores consideraram que índices com ênfase na umidade do ar apresentam correlação elevada com as reações dos animais (SILVA *et al.*, 2010). Já Tonello (2011) afirmou que o índice de conforto térmico para bovinos leiteiros (TCIdc) é um bom índice para avaliar o efeito do estresse por calor em bovinos leiteiros por apresentar elevada correlação com a RT, RR e nível de produção de leite tanto em vacas de alta quanto de baixa produção; isso porque este índice expressa numericamente e de forma confiável o ambiente avaliado por apresentar uma relação conjunta das temperaturas do ar e do globo, pressão parcial de vapor e velocidade do vento.

O índice de estresse ambiental (ESI) foi desenvolvido por Moran *et al.* (2001) e considera em sua equação o efeito da temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar. Os autores afirmam que este é o primeiro índice de estresse por calor que considera o efeito da umidade e da

radiação solar em sua equação (MORAN *et al.*, 2001). O índice de frequência respiratória (RRI) foi proposto por Eigenberg, Nienaber e Brown-Brandl (2003) e leva em consideração em sua equação os valores de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, e, de acordo com os autores, seu resultado contribui para interpretação das condições climáticas adversas para os bovinos.

O índice de estresse térmico para vacas (ITSC) foi proposto por Da Silva *et al.* (2015), e considera em sua equação os valores de temperatura do ar, velocidade do vento, pressão parcial de vapor e carga térmica de radiação efetiva. Para interpretação desse índice, foram propostos cinco intervalos de referência, em que  $ITSC \leq 150$  indica conforto térmico, de 151 a 200 leve desconforto, de 201 a 250 desconforto moderado, de 251 a 350 estresse e  $\geq 350$  indica estado de alerta (Da Silva *et al.*, 2015). Por fim, o índice climático comprehensível (CCI) foi desenvolvido por Mader *et al.* (2010), e considera os efeitos das condições que afetam a troca de calor entre o animal e o ambiente.

### Análise de correlação canônica e análise dos componentes principais

A análise de correlação canônica (ACC) é uma técnica estatística multivariada que permite examinar as correlações lineares existentes entre dois conjuntos de variáveis (X e Y), por meio da obtenção de um par de variáveis latentes, chamadas canônicas (HAIR JÚNIOR *et al.*, 2009). Cada par de variáveis estatísticas canônicas é denominado de função canônica, e o primeiro par é obtido de forma a apresentar a maior correlação possível com os grupos de variáveis (FERREIRA, 2008). Esta técnica é útil em análises exploratórias por reduzir a massa de dados e proporcionar a identificação das combinações lineares mais fortemente correlacionadas que explicam as relações entre as variáveis analisadas (ANDERSON, 2003).

A análise dos componentes principais (ACP) é um procedimento estatístico multivariado que é utilizado para explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais (HONGYU *et al.*, 2015). A ACP permite transformar um conjunto de variáveis originais intercorrelacionadas em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais) e reduz muitas variáveis a eixos perpendiculares (ortogonais) explicando a variação dos dados de forma decrescente e independente (HONGYU, 2015). A contribuição de cada componente principal é expressa em porcentagem e a variabilidade total contida nas variáveis originais é igual a variabilidade total

contida nos componentes principais. O componente principal de maior importância é aquele de maior variância, e que explica o máximo de variabilidade dos dados (HONGYU *et al.*, 2015).

Tabela 1. Equações dos principais índices de estresse térmico propostos entre 1981 a 2016 publicados em periódicos americanos e europeus

<b>Índices</b>	<b>Equações</b>	<b>Referência</b>
Índice de Temperatura e Umidade (THI)	$THI = 3,43 + 1,058 \times Tair - 0,293 \times RH + 0,0164 \times Tair \times RH + 35,7$	Berman <i>et al.</i> (2016)
Índice de Temperatura Equivalente (ETI)	$ETI = 27,88 - 0,456Tair + 0,0107547 \times Tair^2 - 0,4905 \times RH + 0,0008 \times RH^2 + 1,1507 \times Ws - 0,126447 \times Ws^2 + 0,019876 \times Tair \times RH - 0,046313 \times Tair \times Ws$	Baêta (1985)
Índice de Globo Negro e Umidade (BGHI)	$BGHI = Tglobe + 0,36 \times Tdp + 41,5$	Buffington <i>et al.</i> (1981)
Índice de Carga Térmica (HLI)	$HLI_{tglobe>25} = 8,62 + (0,38 \times RH) + (1,55 \times Tglobe) - (0,5 \times Ws) + [e^{2,4 \cdot Ws}]$ $HLI_{tglobe<25} = 10,66 + (0,228 \times RH) + (1,3 \times Tglobe) - Ws$	Gaughan <i>et al.</i> (2008)
Índice de Especificação Ambiental (TCI)	$TCI = 30,114 - 0,1448 \times Tair + 0,52855 \times Ws + 1,067 \times Pv + 0,0198 \times Tglobe$	Silva <i>et al.</i> (2010)
Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (TCIdc)	$TCIdc = 0,6354 \times Tair + 0,6312 \times Tglobe + 0,4438 \times Pv + 0,0310 \times Ws$	Tonello (2011)
Índice de Estresse Ambiental (ESI)	$ESI = 0,63 \times Tair - 0,03 \times RH + 0,002 \times S + 0,0054 (Tair \times RH) - 0,073 (0,1 \times S)^{-1}$	Moran <i>et al.</i> (2001)
Índice de Frequência Respiratória (RRI)	$RRI = 5,4 \times Tair + 0,58 \times RH - 0,63 \times Ws + 0,024 \times S - 110,9$	Eigenberg <i>et al.</i> (2003)

---

Continuação da Tabela 1:

Índice de Estresse Térmico para Vacas (ITSC)	$ITSC = 77,1747 + 4,8327 \times Tair - 34,8189 \times Ws + 1,111 \times Ws^2 + 118,6981 \times Pv - 14,7956 \times Pv^2 - 0,1509 \times ERHL$	Da Silva <i>et al.</i> (2015)
Índice Climático Compreensível (CCI)	$CCI = Tair + [e^{0,00182 \times RH + 1,8 \times 10^{-5} \times Tair \times RH} \times (0,000054 \times Tair^2 + 0,00192 + Tair - 0,0246) \times (RH - 30)] + [-6,56 \div e^{(1+(2,26 \times Ws+0,23)^{(0,45 \times (2,9+1,14 \times 10^{-6}) \times Ws^{2,5} - \log_{0,6}(2,26 \times Ws^{+0,66})^2)})}] - 0,00566 \times Ws^2 + 3,33] + [0,0076 \times S - 0,00002 \times S \times Tair + 0,00005 \times Tair^2 \times \sqrt{S} + 0,1 \times Tair - 2]$	Mader <i>et al.</i> (2010)

Tair: temperatura de bulbo seco, °C; RH: umidade relativa, %; Tdp: temperatura do ponto de orvalho, °C; Pv: pressão parcial de vapor, kPa; Tglobe: temperatura do globo, °C; Ws: velocidade do vento, m.s<sup>-1</sup>; S: radiação solar, W.m<sup>-2</sup>; ERHL: carga térmica de radiação efetiva

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistical analysis.** 3ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2003. 752p.
- AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; LANA, A. M. Q.; SAMPAIO, I. B. M.; MONTEIRO, J. B. N.; MORATO, L. E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000600025>.
- BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season.** 1985. 218f. Ph. D. Thesis – University of Missouri – Columbia, Missouri, 1985.
- BAKONY, M.; JURKOVICH V. Heat stress in dairy calves from birth to weaning. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v. 87, n. S1, p. 53-59, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029920000618>
- BERMAN, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1377-1384, 2005. DOI: <https://doi.org/10.2527/2005.836137x>
- BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>.
- BIFFANI, S.; BERNABUCCI, U.; VITALI, A.; LACETERA, N.; NARDONE, A. Effect of heat stress on nonreturn rate of Italian Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 7, p. 5837-5843, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10491>.
- BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, 2007. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>.
- BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; FREETLY, H. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 149–157, 2003. DOI: [10.1016/S0306-4565\(02\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00052-9)
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHE, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 0711-0714. May/June 1981. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- CATTELAM, J.; VALE, M. M. Estresse Térmico em Bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 108, n. 587-588, p. 96-102, 2013.

COSTA, A. N. L.; FEITOSA, J. V.; MONTEZUMA JR, P. A.; SOUZA, P. T.; ARAÚJO, A. A. Rectal temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred Girolando cows under heat stress in northeastern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 59, n. 11, p. 1647-1653, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-4>.

DA SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical region. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1192-1198, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>

DA SILVA, R. G.; CAMPOS MAIA, A. S. **Principles of animal biometeorology**. Biometeorology, vol.2, New York: Springer, 2013. 283p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>.

DA SILVA, R.G.; MAIA, A.S.C.; DE MACEDO COSTA, L.L. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 59, p.551–559, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>

DADO-SENN, B.; OUELLET, V.; DAHL, G. E.; JAPORTA, J. Methods for assessing heat stress in preweaned dairy calves exposed to chronic heat stress or continuous cooling. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 103, n. 9, p. 8587- 8600. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18381>

EHRLEMARK, A. G.; SALLVIK, K. G. A model of heat and moisture dissipation from cattle based on termal Properties. **Transactions of of American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 187-194, 1996. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.27497>

EIGENBERG, R. A.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T. M. Development of a livestock safety monitor for cattle. In: [Proceedings...] of the Meeting of The American Society of Agricultural Engineers. (Baltimore, U.S.A.). Paper no. 032338. 2003. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.13837>

FERREIRA, D. E. **Estatística multivariada**. 1ed. Lavras: UFLA, 2008. 662p.

GAUGHAN, J. B; HOLT, S. M.; HAHN, G. L.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? **Asian-Australian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 13, n. 3, p. 329- 332, 2000.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 226-234, 2008. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>

HAHN, G. L.; PARKHURST, A. M.; GAUGHAN, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 40, n. 6, p. 97-121. 1997.

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. I. **Análise multivariada de dados.** 6ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

HERBUT, P.; HOFFMANN, G.; ANGRECKA, S.; GODYN, D.; VIEIRA, F. M. C.; ADAMCZYK, K.; KUPCZYNSKI, R. The effects of heat stress on the behaviour of dairy cows – a review. **Annals of Animal Science**, Champaign, v. 21, n. 2, p. 385-402, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0116>

HONGYU, K. **Comparação do GGE-biplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente.** 2015. 155f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2015.tde-04052015-172304>

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, Cuiabá, v.5, n.1, p.83-90, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18607/ES201653398>

JI, B.; BANHAZI, T.; PERANO, K.; GHAHRAMANI, A.; BOWTELL, L.; WANG, C.; LI, B. A review of measuring, assessing and mitigating heat stress in dairy cattle. **Biosystem Engineering**, Cranfield, v. 199, n. 1, p. 4-26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.009>

KADZERE, C. T.; MURPHY, M. R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X).

KAMAL, R.; DUTT, T.; PATEL, M.; DEY, A.; CHANDRAN, P. C.; BGARTI, P. K.; BARARI, S. K. Behavioural, biochemical and hormonal responses of heat-stressed crossbred calves to different shade materials. **Journal of Applied Animal Research**, Izatnagar, v. 44, n. 1, p. 347-354, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2015.1074076>

KENNEY, W. L.; HAVENITH, G.; JAY, O. Thermal physiology, more relevant than ever before. **Journal of Applied Physiology**, Baltimore, v.133, p. 676-678, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00464.2022>

LINHARES, A. S. F.; SOARES, D. L.; OLIVEIRA, N. C. T.; SOUZA, B. B.; DANTAS, N. L. B. Respostas fisiológicas e manejo adequado de ruminantes em ambientes quentes. **Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA)**, Patos, v. 11, n. 2, p. 27-33, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2>.

MAIA, A. S. C.; DA SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 50, n. 1, p. 17-22, 2005a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000018>.

MAIA, A. S. C.; DA SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Respiratory heat loss

Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 49, n. 5, p. 332-336, 2005b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0244-0>.

MADER, T. L.; JOHSON, L. J.; GAUGHAN, J. B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 88, p. 2153-2165, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; SILVA, S. L. DA; TITTO, E. A. L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000100022>.

MYLOSTYVYI, R.; IZHBOLDINA, O.; CHERNENKO, O.; KHRAMKOVA, O.; KAPSHUK, N.; HOFFMANN, G. Microclimate modeling in naturally ventilated dairy barns during the hot season: Checking the accuracy of forecasts. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 93, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102720>

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; SHAPIRO, Y.; Y., HELED; Y., SHANI; Y., MATHEW; W. T.; GONZALEZ, R. R. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.26, n. 4, p.427-431, September 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)

NASCIMENTO, F. G. O.; AGUIAR, H. C.; RODRIGUES, G. M.; GUIMARÃES, E. C.; NASCIMENTO, M. R. B. M. What is the best temperature-humidity index equation to indicate heat stress in crossbred dairy calves in a tropical environment? **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 1, p. 1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180132>

NIENABER, J. A.; HAHN, G. L.; EIGENBERG, R. A. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: [Proceedings... International Symposium of The CIGR (Evora, Portugal). p.1-18, 2004.

RASHAMOL, V. P.; SEJAN, V.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; ARCHANA, P. R.; BHATTA, R. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an update review. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoró, v.6, p. 62-71, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31893/2319-1265jabb.v6n3p62-71>

ROLAND, L.; DRILLICH, M.; KLEIN-JÖBSTL, D.; IWERSEN, M. Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 4, p. 2438-2452, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9901>

SALLES, M. S. V.; SILVA, S. C.; SALLES, F. A.; ROMA JR., L. C.; FARO, L. E.; LEAN, P. A. B. M.; OLIVEIRA, C. E. L.; MARTELLO, L. S. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 62, p. 63-69, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>

SAMARA, E. M.; AYADI, M.; AL-HAIDARY, A.; ALJUMAAH, R. S. Thermophysiological study in lactating and dry camels (*Camelus dromedarius*) under summer conditions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi, v. 25, n. 4, p. 308-313, 2013. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i4.15500>

SANTOS, S. G. C. G.; SARAIVA, E. P.; PIMENTA FILHO, E. C.; GONZAGA NETO, S.; FONSECA, V. F. C.; PINHEIRO, A. C.; ALMEIDA, M. E. V.; AMORIM, M. L. C. M. The use of simple physiological and environmental measures to estimate the latent heat transfer in crossbred Holstein cows. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 61, n. 2, p. 217-225, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1204-1>

SANTOS, M. M.; SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; SANTOS, V. J. S.; CASTELO, T. S.; QUEIROZ, J. P. A. F.; COSTA, L. L. M. Differences between times of day for the basic physiological traits of Nellore bulls exposed to solar radiation. **Biological Rhythm Research**, Lisse, v. 52, n. 3, p. 1-5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1594124>

SANTOS, M. M.; SOUZA-JUNIOR, J. B. F.; DANTAS, M. R. T.; COSTA, L. L. M. Na updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 28, n. 24, p. 30471-30485, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14077-0>

SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B.; DUNSHEA, F. R.; LACETERA, N. Review: Adaptation of animals to heat stress. **Animals**, Basel, v. 12, n. S2, p. 431-444, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1017/S1751731118001945>

SHEPHARD, R. W.; MALONEY, S. K. A review of thermal stress in cattle. **Australian Veterinary Journal**, Brunswick, v. 101, n. 11, p. 417-429, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/avj.13275>

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(00)00162-7)

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

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1192-1198, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>.

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M.; LASCALA JUNIOR, N.; MAIA, A. S. C. Índices de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em regiões equatoriais secas. **Revista Científica de Produção Animal**, Areia, v. 12, p. 125-128, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n2p125-128>

SILVA, J. A. R.; ARAÚJO, A. A.; JÚNIOR, J. B. L.; SANTOS, N. F. A.; GARCIA, A. R.; OLIVEIRA, R. P. Thermal comfort indices of female Murrah buffaloes reared in the Eastern

Amazon. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 59, p. 1261-1267, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0937-y>

STARLING, J. M. C.; SILVA, R. G.; CERÓN-MUÑOZ, M.; BARBOSA, G. S. S. C.; COSTA, M. J. R. P. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 2070-2077, 2002. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982002000800022>.

TONELLO, C. L. 2011. **Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da Bovinocultura de Leite**. 140 f. Maringá, PR. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal, Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/1643/1/000198821.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.

YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock**. vol. I. Basic principles. Boca Raton, FL: CRC Press, 1985. 217p. DOI: <https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>.

## CAPÍTULO 2

(Redigido de acordo com as normas da Revista Journal of Dairy Research, ISSN Eletrônico:  
1469-7629)

1      **Associação entre ambiente e variáveis termofisiológicas de bezerras mestiças leiteiras**  
2      **criadas em região tropical: análise de correlação canônica**

4      Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento<sup>1\*</sup>, Larissa Barros Almeida<sup>1</sup>, Priscila Neves Faria<sup>2</sup>,  
5      Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento<sup>1</sup>

7      <sup>1</sup>Faculdade de Medicina Veterinária (FAMEV), Universidade Federal de Uberlândia, BR 050,  
8      Km 78, Campus Glória, Bloco 1CCG, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 38410-337.

9      <sup>2</sup>Faculdade de Matemática (FAMAT), Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de  
10     Ávila, Campus Santa Mônica, Bloco 1F, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 38400-902.

12     **Associação entre ambiente e variáveis termofisiológicas de bezerras mestiças leiteiras**

14     \*Autor para correspondência: Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento (fgattion@ufu.br)

16     **RESUMO:** Objetivou-se compreender as relações entre o ambiente térmico e as respostas  
17     termofisiológicas de bezerras leiteiras mestiças criadas em região tropical e determinar quais  
18     dessas variáveis são mais importantes para esta categoria animal. Trinta e sete fêmeas, de 20 a  
19     60 dias de idade foram avaliadas durante os meses de maio, agosto, setembro, novembro e  
20     dezembro. Frequência respiratória, temperatura retal, temperatura corporal superficial (BST),  
21     temperatura do ar (Tair), temperatura do globo, umidade do ar (RH) e velocidade do vento  
22     foram medidas pela manhã e tarde. Evaporação cutânea (Ec) e respiratória (Er) e alguns índices  
23     de estresse térmico foram calculados. Pela análise de correlação canônica (ACC) identificou-se  
24     cinco conjuntos de variáveis fisiológicas (U) e do ambiente térmico (V). Os dois primeiros  
25     conjuntos canônicos (U1V1 e U2V2) foram os mais importantes, pois explicaram 67,40% da  
26     variação dos dados de manhã e 70,42% à tarde. De manhã, observaram-se as maiores  
27     correlações canônicas entre U1 e Er (-0,911), U2 e BST (-0,965), V1 e RH (0,977) e V2 e o  
28     índice de temperatura e umidade (THI) (-0,766). Já à tarde foram entre as variáveis U1 e Er (-  
29     0,904), U2 e BST (0,640), V1 e RH (0,996) e V2 e o índice de globo negro e umidade (BGHI)  
30     (0,707). A variável Er apresentou forte correlação com a radiação (S) de manhã e com o índice  
31     de conforto térmico para vacas leiteiras (TCIdc) à tarde. Enquanto que BST se correlacionou  
32     forte com THI e Tair de manhã e com o índice de carga térmica (HLI) e BGHI à tarde. Conclui-  
33     se que Er e BST são variáveis termofisiológicas importantes de serem avaliadas em bezerras e  
34     Tair, RH e S são variáveis que apresentam importância na avaliação do ambiente térmico,  
35     enquanto que os índices THI, TCIdc, HLI e BGHI são indicados de serem calculados para  
36     avaliação do estresse por calor em bezerras mestiças leiteiras criadas em ambiente tropical.

38     **Palavras-chave:** adaptação; gado mestiço; homeostase, estresse por calor; estatística  
39     multivariada.

## 41 INTRODUÇÃO

42 O aquecimento global leva a vários desafios em relação ao bem-estar animal, a eficiência  
 43 da pecuária e a perspectiva econômica (Maggiolino *et al.*, 2022). Períodos excessivamente  
 44 quentes por longo tempo e o aumento da frequência, intensidade e duração de eventos extremos  
 45 como as ondas de calor são esperados (Vitali *et al.*, 2020). Neste cenário, muitos estudos foram  
 46 realizados para avaliar os efeitos do estresse por calor sobre as respostas de termorregulação,  
 47 mas em bovinos predominam estudos com vaca leiteira (Aditya *et al.*, 2023; Cuellar *et al.*, 2023;  
 48 Chen *et al.*, 2023) e poucos com animais jovens, as bezerras, especialmente em animais  
 49 mestiços zebu x europeu (Nascimento *et al.*, 2019).

50 As raças europeias são mais produtivas em relação às raças zebuínas, no entanto, em  
 51 ambiente desfavorável, no qual estão sujeitas ao estresse por calor, sua produção e bem-estar  
 52 ficam comprometidos. Já as raças zebuínas são menos produtivas, porém são bem adaptadas ao  
 53 calor. No Brasil, uma opção para a atividade pecuária foi o cruzamento entre raças europeias  
 54 leiteiras, principalmente a Holandesa com raças zebuínas, como a raça Gir Leiteiro. Desse  
 55 modo, na bovinocultura leiteira brasileira este cruzamento, com diversas composições genéticas  
 56 europeia x zebu, tem sido muito utilizado por apresentarem boa produção de leite e capacidade  
 57 de adaptação ao ambiente tropical (Silva *et al.*, 2015).

58 Sob o efeito do estresse por calor os bovinos vão ativar mecanismos que levam a alterações  
 59 na função fisiológica com o objetivo de regular a temperatura corporal, assim como as  
 60 alterações da função celular que são causadas pela hipertermia, que pode levar a consequências  
 61 adversas para a fisiologia, saúde e produtividade. Em vista disso, manter a homeostase térmica,  
 62 se torna um desafio quando levado em consideração as elevadas temperaturas e intensa radiação  
 63 solar dos trópicos e as mudanças climáticas.

64 Existem vários indicadores para avaliar o estresse por calor em bovinos. Algumas variáveis  
 65 termofisiológicas como a frequência respiratória, as temperaturas retal, vaginal e superficial, e  
 66 as evaporações cutânea e respiratória têm sido utilizadas. Adicionalmente, a temperatura e  
 67 umidade do ar, o vento e a radiação também podem ser usados nesta avaliação uma vez que  
 68 podem afetar a homeostase térmica. Entretanto, as variáveis do ambiente atuam  
 69 concomitantemente, assim, surgiram os índices de estresse térmico como uma estratégia para  
 70 avaliar várias medidas do ambiente simultaneamente. Por fim, ainda não são suficientemente  
 71 compreendidas qual das variáveis medidas no animal e no ambiente são mais importantes para  
 72 analisar o impacto do estresse por calor em bezerras leiteiras no ambiente tropical.

73 Sabe-se que o conhecimento da associação linear entre grupos de variáveis do ambiente  
 74 térmico e das variáveis termofisiológicas pode selecionar aquelas mais importantes para estudos  
 75 futuros sobre os efeitos do estresse por calor nos bovinos e é importante para entender as  
 76 correlações que podem ocorrer simultaneamente entre as variáveis de interesse. Além disso, é  
 77 conhecido que a obtenção da associação entre grupos de variáveis pode ser avaliada de forma  
 78 criteriosa por um procedimento estatístico multivariado denominado análise de correlação  
 79 canônica (ACC), que possibilita a observação das relações lineares multidimensionais entre dois  
 80 conjuntos ou grupos de variáveis. Pesquisadores concordam que, ao analisar numerosas  
 81 variáveis independentes e dependentes de um ou mais conjuntos de dados, a ACC é a técnica  
 82 multivariada mais apropriada (Hair Junior *et al.*, 2005).

83 O número máximo de funções canônicas que pode ser obtido é igual ao número de variáveis  
 84 do menor conjunto de dados (Hair Junior *et al.*, 2005). Os autores ainda afirmaram que o  
 85 primeiro par de variáveis estatísticas canônicas é selecionado para maximizar a intercorrelação

possível entre os grupos de variáveis. O segundo par também é escolhido para apresentar a relação mais significativa entre os grupos de variáveis analisadas, mas que não foi explicada pelo primeiro par e, assim, sucessivamente. Nota-se que as variáveis estatísticas canônicas, também conhecidas como funções canônicas, são construídas com base na variância residual, resultando em uma diminuição na correlação à medida que cada função canônica é calculada. Embora subutilizada, Hair Junior *et al.* (2005) e Mingoti (2005) destacaram o elevado potencial preditivo dessa técnica.

Assim, objetivou-se avaliar bezerras leiteiras mestiças criadas em região tropical e investigar nestas a associação entre respostas termofisiológicas com as medidas do ambiente térmico, utilizando para isso a análise de correlação canônica. E por meio desta análise, determinar quais são as variáveis mais importantes.

97

98

## 99 MATERIAL E MÉTODOS

100 Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da  
101 Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Minas Gerais (Nº. 031/16 e 035/21).

102

### 103 Local de estudo, animais e condições de manejo

104 O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Campus Glória, da Universidade  
105 Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, MG. Uberlândia encontra-se em Minas  
106 Gerais no Triângulo Mineiro, na latitude de 18° 55' 25"S e longitude de 48° 17' 19"W. O seu  
107 clima é do tipo Aw (Köppen, 1918), ou seja, apresenta um inverno seco e um verão chuvoso. A  
108 região apresenta temperatura média anual de 22,6 °C e uma diferença entre a temperatura média  
109 do mês mais frio e mais quente de 4,3 °C. Os meses mais quentes ocorrem em janeiro e fevereiro  
110 e de setembro a dezembro, com temperatura média acima de 23 °C, sendo os maiores valores  
111 em fevereiro (23,9 °C) e outubro (24,2 °C) (Petrucci, 2018). O autor afirmou ainda que de maio  
112 a agosto são os meses com temperaturas mais amenas e que junho (19,9 °C) e julho (20,0 °C)  
113 são os mais frios.

114 Trinta e sete bezerras leiteiras, mestiças, de 20 a 60 dias de idade, oriundas do cruzamento  
115 de touros das raças Holandesa, 5/8 Girolando e Gir Leiteiro com vacas mestiças europeias x  
116 zebu foram avaliadas. Na propriedade rural, do nascimento aos três dias de idade as bezerras  
117 ficavam com a mãe para ingestão do colostro. De três a cinco dias eram transferidas para um  
118 bezerreiro conhecido como bezerreiro argentino/tropical em que os animais ficam ao ar livre  
119 (piquete), com 70 m de comprimento e 40 m de largura, sombreado com tela de polietileno no  
120 sentido norte-sul (40 m de comprimento, 1,74 m de largura e 2 m de altura). Cada animal tinha  
121 uma coleira que era fixada em um fio de aproximadamente 13 m de comprimento que permitia  
122 o acesso ao cocho no lado leste e a água do lado oeste.

123 De três a cinco dias de idade recebiam o leite de transição. De cinco a 40 e de 41 a 72 dias  
124 de idade eram fornecidos, respectivamente, 8 e 4 litros de sucedâneo ao dia, dividido em dois  
125 aleitamentos realizados pela manhã e tarde. De 72 a 76 dias de idade foram, respectivamente, 2  
126 e 1 litro de sucedâneo pela manhã e ao completar 82 dias eram manejadas como desmamadas,  
127 sendo retiradas do bezerreiro. Concentrado comercial e água eram oferecidos *ad libitum*  
128 durante o período de permanência das bezerras no bezerreiro argentino/tropical.

129

### 130 Dados avaliados

131 As variáveis termofisiológicas e meteorológicas foram avaliadas simultaneamente no  
 132 mesmo local no período da manhã (07h30min a 08h30min) e tarde (13h30min a 14h30min)  
 133 antes do aleitamento das bezerras. As avaliações ocorreram durante os meses de maio, agosto e  
 134 setembro de 2017 e novembro e dezembro de 2021. Foram consideradas para este estudo  
 135 somente as informações das bezerras hígidas, sendo excluídas as informações dos animais que  
 136 apresentaram diarréia, hipertermia, secreção nasal e/ou ocular ou registro de administração de  
 137 medicação. Também foram excluídas as informações obtidas no período do dia em que houve  
 138 a ocorrência de chuva na propriedade durante as avaliações das bezerras. Dessa forma  
 139 totalizaram-se 241 observações, sendo 128 no período da manhã e 113 no período da tarde.

140 Para avaliação das variáveis termofisiológicas, primeiro, mediu-se a frequência respiratória  
 141 (RR,  $\text{mov}.\text{min}^{-1}$ ), observando os movimentos respiratórios no flanco direito por 60 segundos.  
 142 Depois, mediu-se a temperatura retal (RT, °C) com o auxílio de um termômetro clínico digital  
 143 veterinário inserido, aproximadamente, 5 cm no reto, durante dois minutos (acurácia de  $\pm 0,2$   
 144 °C; Animed INCOTERM, China). Por fim, mediu a temperatura corporal superficial (BST, °C),  
 145 com o termômetro de infravermelho (acurácia de  $\pm 0,1$  °C INSTRUTEMP DT8530), na frente,  
 146 conforme Salles *et al.* (2016). A evaporação cutânea (Ec) foi estimada em função da temperatura  
 147 da frente conforme Silva & Maia (2011) e a evaporação respiratória (Er) segundo Silva *et al.*  
 148 (2012).

149 A temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura do globo foram medidas,  
 150 respectivamente, pelo termo-higrômetro analógico (INCOTERM), anemômetro (AD-250  
 151 INSTRUTHERM) e termômetro de globo bulbo seco úmido - IBUTG - USB - TGM-200 –  
 152 HOMIS. A umidade relativa (RH) e a pressão parcial de vapor (Pv) foram calculadas de acordo  
 153 com Silva & Maia (2013). Em seguida calculou-se a temperatura radiante média segundo Silva  
 154 *et al.* (2010b) e a radiação solar conforme Silva *et al.* (2007).

155 Também foram calculados os seguintes índices de estresse térmico: Índice de Temperatura  
 156 e Umidade (THI) (Berman *et al.*, 2016), Índice de Temperatura Equivalente (ETI) (Baêta *et al.*,  
 157 1985), Índice de Globo Negro e Umidade (BGHI) (Buffington *et al.*, 1981); Índice de Carga  
 158 Térmica (HLI) (Gaughan *et al.*, 2008), Índice e Conforto Térmico para bovinos de leite (TCIdc)  
 159 (Tonello, 2011), Índice de Frequência Respiratória (PRR) (Eigenberg *et al.*, 2003), Índice de  
 160 Estresse Ambiental (ESI1) (Moran *et al.*, 2001), Índice Climático Compreensível (CCI)  
 161 (Mader *et al.*, 2010), Índice de Estresse Térmico para Vacas (ITSC) (Silva *et al.*, 2015), Carga  
 162 Térmica Radiante (RTL) (Esmay, 1969) e Índice de Especificação Ambiental (ESI2) (Silva *et*  
 163 *al.* 2010a).

164

## 165 Análise Estatística

166 Os dados das variáveis termofisiológicas, do ambiente térmico e os índices de estresse  
 167 térmico de manhã e da tarde foram analisadas pelo teste de Wilcoxon pareado para amostras  
 168 dependentes, uma vez que não atenderam os pressupostos de normalidade de resíduos, mesmo  
 169 após a transformação logarítmica. A análise estatística foi realizada utilizando o software R (R  
 170 Core Team, 2024) considerando nível de significância de 0,05.

171 As pressuposições da Análise de Correlação Canônica (ACC) foram testadas em cada um  
 172 dos grupos de variáveis, na seguinte ordem: normalidade multivariada, homocedasticidade dos  
 173 desvios padronizados, multicolinearidade e linearidade. Todas as pressuposições foram  
 174 atendidas. Posteriormente, a ACC foi realizada para identificar e quantificar a relação entre dois

175 conjuntos de variáveis, neste caso o conjunto de variáveis fisiológicas (U) e o conjunto de  
 176 variáveis do ambiente térmico (V) e assim identificar as variáveis canônicas que são altamente  
 177 correlacionadas com a variável latente desconhecida. Foram estimadas as cargas canônicas, que  
 178 representam as correlações entre as variáveis originais e suas respectivas variáveis estatísticas  
 179 canônicas, e também as cargas canônicas cruzadas que representam a correlação entre uma  
 180 variável original do conjunto U e a variável estatística canônica do conjunto V. Esse  
 181 procedimento estatístico multivariado permitiu o exame da estrutura de relações lineares  
 182 existentes entre os dois conjuntos de variáveis formados por variáveis métricas, maximizando  
 183 a correlação entre eles. Utilizou-se o teste multivariado de significância Lambda de Wilks  
 184 (aproximação da distribuição F) para avaliar a significância das raízes canônicas conjuntamente.

185 A quantidade de variância explicada, ou seja, o percentual de variância na variável  
 186 estatística canônica dependente que pode ser explicada pela variável estatística canônica  
 187 independente, e vice-versa, foi determinada elevando-se ao quadrado a correlação canônica  
 188 ( $R^2$  canônico), conforme descrito por Hair Junior *et al.* (2005).

189 Na análise preliminar comparando manhã e tarde pelo teste de Wilcoxon verificou-se que  
 190 houveram diferenças entre os períodos, e com isso foram realizadas as avaliações canônicas da  
 191 manhã e da tarde.

192

193

## 194 **RESULTADOS**

### 195 **Variáveis termofisiológicas, meteorológicas e índices de estresse térmico**

196 Variáveis meteorológicas apresentaram grande variação. Considerando manhã e tarde, a  
 197 amplitude térmica foi de 17,5 °C (74,69% RH) e a menor Tair foi de 17 °C (16,68% RH) e a  
 198 maior de 34,5 °C (91,37% RH). Pela manhã, o menor valor de Tair foi de 17,0 °C (31,42% RH)  
 199 e o maior de 25,0 °C (91,37% RH) e pela tarde 24,0 °C (16,68% RH) e 34,5 °C (65,15% RH),  
 200 respectivamente. O menor e maior valor de S considerando manhã e tarde juntos foram,  
 201 respectivamente, de 316,02 e 1026,07 W.m<sup>-2</sup>, pela manhã foram de 316,02 e 741,81 W. m<sup>-2</sup> e  
 202 a tarde de 632,28 e 1026,07 W. m<sup>-2</sup>, respectivamente.

203 Todas medianas e médias das variáveis termofisiológicas, meteorológicas e os índices de  
 204 estresse térmico foram superiores à tarde que pela manhã, exceto RH, Ws e ESI1. A variável  
 205 Pv não diferiu entre manhã e tarde ( $p>0,05$ ) (Tabela 1).

206

### 207 **Análise de Correlação Canônica pela manhã**

208 As variáveis canônicas U e V representam, respectivamente, as medidas fisiológicas e o  
 209 ambiente térmico. O primeiro par canônico U1V1 explicou 46,54% da variação dos dados, o  
 210 segundo par canônico U2V2 explicou 20,86%, juntos explicaram 67,40% da variação dos dados.  
 211 Os pares U3V3, U4V4 e U5V5 apresentaram baixa variância acumulada pela pequena  
 212 porcentagem (32,60%), ou seja, o primeiro e o segundo pares canônicos foram os melhores, pois  
 213 explicaram melhor os dados. Sendo assim, foram avaliadas as variáveis que estavam mais  
 214 ligadas com o primeiro e segundo pares canônicos (U1V1 e U2V2).

215 A correlação canônica do par U1V1 foi de 0,994 e do par U2V2 foi 0,665, portanto,  
 216 existe uma associação forte entre as variáveis termofisiológicas e as do ambiente térmico. Os  
 217 pares U3V3, U4V4 e U5V5 foram respectivamente, 0,639; 0,407 e 0,342.

218 Ao avaliar o valor do coeficiente, aquele que auxilia na identificação das variáveis mais  
 219 ligadas a variável canônica U1, observou-se que Er foi a que mais movimentou o U1 com

220 coeficiente de -1,083. A correlação canônica entre Er e U1 foi -0,911, o que indica que U1 é  
 221 representado por bezerras que apresentaram baixos valores de Er, devido a correlação negativa.  
 222 A variável mais ligada a variável canônica U2 foi BST com coeficiente de -1,116. E a correlação  
 223 canônica entre BST e U2 foi -0,965, assim o U2 se caracteriza por animais que têm baixos  
 224 valores de BST, por ter uma correlação negativa.

225 Os piores pares canônicos, U4V4 e U5V5 auxiliam no descarte das variáveis  
 226 termofisiológicas, uma vez que variáveis associadas às últimas variáveis canônicas, são aquelas  
 227 que menos explicam o conjunto de dados. As maiores correlações de U4 e U5 foram com as  
 228 variáveis RT e RR, respectivamente. A RT com correlação de -0,996 e a RR com correlação de  
 229 0,982.

230 Ao observar o coeficiente que integram as equações das variáveis do ambiente térmico  
 231 (V) e sabendo que quanto maior o número, mais impacto na equação, verificou-se que o maior  
 232 coeficiente para a variável V1 foi com o PRR (27,04), o segundo maior foi com Tair (-22,05) e  
 233 o terceiro maior foi com a RH (-17,94). As variáveis que movimentaram a V2 também foram:  
 234 Tair (446,97), PRR (-437,66) e RH (345,64).

235 A RH, Pv e ITSC foram as variáveis do ambiente térmico mais importantes, pois  
 236 apresentaram maior correlação com a variável canônica ambiental (V1), respectivamente, de  
 237 0,977, 0,804 e 0,677, então, esta variável canônica é formada por altos valores de RH, Pv e  
 238 ITSC. Para V2 as correlações foram o THI com -0,766, Tair com -0,759; PRR com -0,757; ESI2  
 239 com -0,743 e ETI com -0,734, sendo todas altas e negativas, portanto, a variável canônica V2 é  
 240 formada por baixos valores das variáveis mencionadas anteriormente. As piores variáveis  
 241 canônicas, que são as passíveis de descarte, ou seja, correlacionou-se com as piores variáveis  
 242 V4 e V5, foram a RTL (-0,343) e o ESI1(-0,484), respectivamente.

243 A variável Er se correlacionou pouco com RH e Pv e correlacionou forte com S (Figura  
 244 1). BST se correlacionou pouco com ESI1 e Ws e correlacionou fortemente com THI e Tair.  
 245

#### 246 Análise de Correlação Canônica à tarde

247 O primeiro par canônico U1V1 explicou 49,63% e o segundo U2V2 explicou 20,79% da  
 248 variação dos dados, portanto, ambos explicaram 70,42%. Os pares U3V3, U4V4 e U5V5  
 249 apresentaram baixa variância acumulada (29,58%), ou seja, o primeiro e segundo pares  
 250 canônicos foram os melhores. Sendo assim, foram avaliadas as variáveis ligadas com as duas  
 251 primeiras variáveis canônicas. Então, verificou-se que U1 correlacionou com V1 em 0,995. Os  
 252 pares U2V2, U3V3, U4V4 e U5V5 correlacionaram, respectivamente, 0,644; 0,521; 0,474 e  
 253 0,305.

254 Ao avaliar o coeficiente observou-se que o maior valor foi a de Er, então, foi a variável  
 255 que mais movimentou o U1 com coeficiente de -1,122. A correlação canônica entre Er e U1 foi  
 256 de -0,904, portanto, U1 é uma variável canônica representada por bezerras que apresentaram  
 257 baixos valores de Er. O maior valor do coeficiente da equação de U2 foi a de BST com valor  
 258 de 1,333. E a correlação canônica entre BST e U2 foi de 0,640; o que indica que U2 é uma  
 259 variável canônica caracterizada por indivíduos com altos valores de BST. Quanto aos piores  
 260 pares canônicos, U4V4 e U5V5, observou-se que as maiores correlações de U4 e U5 foram com  
 261 as variáveis Ec e RT, respectivamente. A variável Ec com correlação de 0,888 e a variável RT  
 262 com correlação de -0,878, ou seja, são as variáveis que menos explicam o conjunto de dados, e  
 263 por isso são passíveis de descarte.

264 Ao observar os coeficientes que integram as equações das variáveis do ambiente térmico  
 265 (V) e sabendo que quanto maior o número, mais impacto na equação, verificou-se que para a  
 266 variável V1 o maior coeficiente foi com RH (-64,868) e o segundo maior foi com HLI (45,722).  
 267 Para V2 foi RH (722,419), Tg (460,693), HLI (-448,480).

268 A RH e Pv foram as variáveis do ambiente térmico mais importantes, pois apresentaram  
 269 maior correlação com a variável canônica ambiental V1, respectivamente, 0,996 e 0,934, então,  
 270 esta variável canônica é formada por altos valores de RH e Pv. Para V2 foram BGHI com 0,707  
 271 e HLI com 0,683, sendo V2 formada por altos valores das variáveis mencionadas anteriormente.  
 272 As piores variáveis canônicas, que são as passíveis de descarte, e que estão correlacionadas com  
 273 V4 e V5 foram, respectivamente, CCI (-0,203) e Ws (-0,623).

274 A Er se correlacionou pouco com RH e Pv e forte com TCIdc, Tg e RTL (Figura 2). BST  
 275 se correlacionou pouco com Ws e ESI1 e fortemente com HLI e BGHI (Figura 2).

276

277

## 278 DISCUSSÃO

279 Nos bovinos o balanço de energia térmica pode ser influenciado pelo calor do metabolismo  
 280 e pela absorção de calor do ambiente (Silveira *et al.*, 2021). Assim, considerando que nos  
 281 trópicos os animais criados em sistemas ao ar livre estão expostos às condições ambientais  
 282 extremas, o ganho de calor do ambiente representa desafios para a sua regulação térmica. Neste  
 283 estudo, a amplitude térmica de 17,5 °C, RH entre 16,68 e 91,37% e valores elevados de S como  
 284 1026,07 W.m<sup>-2</sup> representam as características da região tropical.

285 Muitos índices de estresse térmico foram desenvolvidos na tentativa de determinar a  
 286 influência concomitante de vários fatores, e eles têm sido utilizados para predizer o risco do  
 287 estresse térmico. Neste estudo, à tarde os maiores valores da Tair, Tg e S contribuíram para  
 288 maiores índices de estresse térmico neste período (Tabela 1). A intensa radiação solar é  
 289 característica das regiões tropicais, em vista disso, manter o equilíbrio térmico se torna um  
 290 desafio para os bovinos. Assim, ao avaliar os efeitos do ambiente térmico sobre o organismo  
 291 deve-se considerar além do calor produzido pelo animal, o calor do microambiente. Por  
 292 exemplo, Bakony & Jurkovich, (2020) verificaram que a carga térmica radiante elevada pode  
 293 afetar o desempenho da bezerra após o nascimento.

294 Vários são os indicadores do estresse por calor que podem ser medidos no animal.  
 295 Shephard & Maloney (2023) citaram o aumento da temperatura retal, frequência respiratória,  
 296 salivação, sudorese, redução na ingestão de matéria seca, indicadores comportamentais, dentre  
 297 outros. Na presente pesquisa a RR pela manhã esteve na faixa considerada fisiológica para a  
 298 espécie (20 a 40 mov.min<sup>-1</sup>) e à tarde elevou. Animais sob estresse por calor ajustam a  
 299 dissipação de calor, e nessa situação, devem aumentar o resfriamento evaporativo por meio da  
 300 elevação da RR.

301 Também na presente pesquisa a Ec e Er à tarde foi maior em relação à manhã (Tabela 1).  
 302 Sob conforto térmico as variáveis de termoregulação permanecem dentro do intervalo de  
 303 referência da espécie (Nascimento *et al.*, 2019). Estes autores afirmaram ainda que se a RT  
 304 permanece na faixa fisiológica para a espécie, mesmo quando a RR aumenta, indica que os  
 305 mecanismos fisiológicos de termorregulação foram eficientes para manter a igualdade entre  
 306 termogênese e termólise. Entretanto, é importante destacar que nesta situação o organismo  
 307 direciona sua energia para termorregular e que poderia ter sido utilizada para produção e  
 308 crescimento.

309 A troca de calor entre o bovino e o ambiente ocorre a partir da combinação de formas de  
 310 perda de calor sensível (radiação, convecção e condução) e latente (evaporação) (Shephard &  
 311 Maloney, 2023). Porém, à medida que a Tair aumenta, a eficiência da dissipação de calor  
 312 sensível diminui, isso ocorre porque o gradiente entre a temperatura da pele e a temperatura  
 313 ambiente diminui (Nascimento *et al.*, 2019). Sob Tair elevada os bovinos primeiro aumentam o  
 314 fluxo sanguíneo para a pele, com a finalidade de transferir o calor interno para a periferia, onde  
 315 é perdido para o ambiente. Desse modo, a maior BST à tarde pode ser explicada por este  
 316 mecanismo que é a vasodilatação periférica que transfere calor do interior do corpo para a  
 317 superfície e auxilia na termoregulação. No entanto, quando a temperatura ambiente excede a  
 318 temperatura superficial (ao redor de 36 °C), o fluxo de calor será do ar mais quente para a  
 319 superfície mais fria, e então, o calor é adicionado ao corpo dos bovinos (Shephard & Maloney,  
 320 2023).

321 A ACC é um procedimento estatístico multivariado capaz de representar dois conjuntos  
 322 de variáveis distintas e de forma representativa (Silveira *et al.*, 2021). Essa metodologia é  
 323 adotada para situações em que há mais de uma variável dependente e se deseja avaliar as relações  
 324 entre dois grupos complexos de variáveis, sendo amplamente utilizada em estudos exploratórios  
 325 com o objetivo de diminuir a complexidade da relação de dois conjuntos de variáveis (Müller *et*  
 326 *al.*, 2012). Neste estudo a forte correlação entre o conjunto de variáveis termofisiológicas e do  
 327 ambiente térmico proporcionou identificar as variáveis canônicas que são altamente  
 328 correlacionadas com a variável latente desconhecida. As variáveis termofisiológicas foram  
 329 fortemente correlacionadas com as do ambiente térmico.

330 Dentre as variáveis estudadas, a Er e BST foram as que apresentaram as maiores  
 331 correlações com as variáveis canônicas U1 e U2, respectivamente. Durante a manhã, observou-  
 332 se que as correlações canônicas entre U1 com Er e entre U2 com BST foram negativas (-0,911  
 333 e -0,965, respectivamente). Isso sugere que esses conjuntos de variáveis são representados por  
 334 animais que apresentam baixos valores de Er e BST, ou seja, animais que durante este período  
 335 se encontravam em conforto térmico.

336 No entanto, durante a tarde, observou-se que a correlação canônica entre U1 com Er foi  
 337 negativa (-0,904), porém a correlação canônica entre U2 com BST foi positiva (0,640). O que  
 338 sugere que o conjunto de variáveis U1 à tarde é representado por animais que apresentam baixos  
 339 valores de Er, enquanto que o conjunto de variáveis U2 é representado por animais que  
 340 apresentam altos valores de BST. Isso indica que devido ao aumento da Tair no período da tarde,  
 341 foi necessário que as bezerras aumentassem o fluxo sanguíneo periférico após a dilatação dos  
 342 capilares superficiais, para elevar a BST, favorecendo a perda de calor para o ambiente via  
 343 convecção (Da Silva & Campos Maia, 2013). Shephard & Maloney (2023) afirmaram que a  
 344 troca de calor por convecção depende da BST do animal, da área superficial de contato e da  
 345 velocidade do vento. No presente estudo, observou-se que à tarde a Tair média foi de 27,88 °C,  
 346 BST de 35,59 °C e Ws de 1,78 m.s<sup>-1</sup>, sugerindo que as condições do ambiente estavam  
 347 favoráveis para a perda de calor por convecção pelas bezerras.

348 Dentre as variáveis passíveis de descarte, observou-se que durante a manhã a variável  
 349 canônica U4 apresentou maior correlação com RT (-0,996), e no período da tarde a variável U5  
 350 apresentou maior correlação com RT (-0,878). Ou seja, U4 é representado por animais com  
 351 baixa RT durante a manhã, e U5 por animais com baixo RT à tarde. Ao considerar esses  
 352 resultados, observa-se que tanto de manhã quanto à tarde os valores médios de RT  
 353 permaneceram dentro da normalidade para a espécie, que de acordo com Costa *et al.* (2015) é

354 de 38 °C a 39,3 °C, ou seja, as bezerras foram capazes de eliminar o excesso de calor e manter  
 355 a temperatura corporal profunda constante (Silva *et al.*, 2015). Por isso, essa variável não  
 356 apresentou grande importância na avaliação do efeito do estresse por calor nas bezerras mestiças  
 357 leiteiras no presente estudo.

358 De acordo com Shephard & Maloney (2023) a evaporação é uma forma de perda de calor  
 359 latente, em que o calor é perdido do líquido na superfície do bovino e haverá o aumento da  
 360 pressão de vapor d'água no ar, sem alteração da Tair. Essa forma de perda de calor é  
 361 determinada, principalmente, pelo grau de umedecimento das superfícies, sua área e a pressão  
 362 de vapor d'água do ar (Shephard & Maloney, 2023). No presente estudo, observou-se elevada  
 363 correlação entre Pv e RH com as variáveis do ambiente térmico do componente 1 (V1), tanto  
 364 durante a manhã, quanto à tarde, o que sugere que ambientes com elevada umidade (alto Pv e  
 365 RH) podem comprometer a eficiência da perda de calor latente pelas bezerras mestiças leiteiras.  
 366 Esse é um achado importante, visto que há poucas informações sobre como a umidade afeta a  
 367 dissipação de calor em bezerras leiteiras (Bakony & Jurkovich, 2020).

368 Durante a manhã, foram observadas as maiores correlações entre V2 com Tair (-0,759) e  
 369 THI (-0,766), indicando que V2 é representado por baixos valores de Tair e THI. Nascimento  
 370 *et al.* (2019) observaram que bezerras mestiças leiteiras criadas em ambiente com temperaturas  
 371 entre 17 °C a 26,4 °C e THI < 70 estavam sob conforto térmico. No presente estudo, observou-  
 372 se que durante a manhã Tair e THI médios apresentaram valores de 20,48 °C e 63,76,  
 373 respectivamente, sugerindo que as bezerras estavam sob a situação de conforto térmico.

374 Porém, é importante ressaltar que o THI pode subestimar a carga de calor do ambiente  
 375 sobre as bezerras, pois não é levado em consideração na sua equação o efeito da Ws e da  
 376 temperatura radiante (Bakony & Jurkovich, 2020). No presente estudo os índices TCIdc, HLI  
 377 e BGHI foram os que apresentaram maior correlação com as variáveis termofisiológicas Er e  
 378 BST. E ao considerar as variáveis do ambiente que são utilizadas para o cálculo desses índices,  
 379 observa-se que BGHI leva em consideração Tg e temperatura do ponto de orvalho (Buffington  
 380 *et al.*, 1981), HLI os valores de RH, Tg e Ws (Gaughan *et al.*, 2008) e TCIdc os valores de Tair,  
 381 Tg, Pv e Ws (Tonello, 2011).

382 Buffington *et al.* (1981) afirmaram que o BGHI é um indicador mais preciso do conforto  
 383 térmico em relação ao THI nas condições de estresse por calor, principalmente quando os  
 384 animais estão expostos à radiação solar incidente. Gaughan *et al.* (2008) afirmaram que o  
 385 modelo de equação de HLI é capaz de explicar 93% da variação do escore de respiração e é um  
 386 bom preditor do status térmico em vários genótipos, enquanto que Vitali *et al.* (2020)  
 387 consideraram que HLI representa bem as condições microclimáticas às quais os bovinos são  
 388 expostos, visto que nas criações ao ar livre os animais são expostos aos efeitos da Tair, RH,  
 389 ventilação natural e radiação. Por fim, Tonello (2011) afirmou que TCIdc é um bom índice para  
 390 avaliar o efeito do estresse por calor em bovinos leiteiros por apresentar elevada correlação com  
 391 a RT, RR e nível de produção de leite tanto em vacas de alta quanto de baixa produção; isso  
 392 porque este índice expressa numericamente e de forma confiável o ambiente avaliado por  
 393 apresentar uma relação conjunta da Tair, Tg, Pv e Ws.

394

395

## 396 CONCLUSÃO

397 As variáveis termofisiológicas do grupo U e as ambientais do grupo V são fortemente  
 398 associadas. Er e BST são variáveis termofisiológicas importantes para avaliar a homeostase

399 térmica em bezerras mestiças leiteiras. Tair, RH e S são variáveis ambientais que interferem na  
 400 capacidade de troca de calor das bezerras com o ambiente térmico. E os índices THI, TCIdc,  
 401 HLI e BGHI devem ser calculados para avaliar o efeito do estresse por calor em bezerras  
 402 mestiças leiteiras criadas em ambiente tropical.

403

404

405 **AGRADECIMENTOS:** Suporte financeiro foi concedido pela Coordenação de  
 406 Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES).

407

## 408 REFERÊNCIAS

409 **Aditya S, Bahutala MB, Hibatullah DN, Pourazad P, Wahyono T, Qumar M, Penagos-**  
 410 **Tabares F, Wulansari N** (2023) Evaluation of milk yield and composition, feed intake,  
 411 chewing activities, and clinical variables in dairy cows under hot-humid climate of tropical  
 412 zone. *Journal of Thermal Biology*, **114**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103608>.

413

414 **Baêta FC** (1985) Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature,  
 415 humidity and wind velocity in the warm season. Ph. D. Thesis – University of Missouri –  
 416 Columbia, Missouri, 1-218.

417

418 **Bakony M, Jurkovich V** (2020) Heat stress in dairy calves from birth to weaning. *Journal of*  
 419 *Dairy Research*, **87** (S1), 53-59. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000618>

420

421 **Berman A, Horovitz T, Kaim M, Gacitua H** (2016) A comparison of THI indices leads to a  
 422 sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity  
 423 stress. *International Journal of Biometeorology*, **60** (10), 1453-1462.  
<https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>

425

426 **Buffington DE, Collazo-Arocho A, Canton GH, Pitt D, Thatcher WW, Collier RJ** (1981)  
 427 Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the*  
 428 *ASAE*, **24** (3), 0711-0714. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>

429

430 **Chen L, Thorup VM, Kudahl AB, Østergaard S** (2023) Impact of heat stress on feed intake,  
 431 milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: a meta-analysis. *Journal of*  
 432 *Dairy Science*, **107** (5), 3207-3218. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>.

433

434 **Costa ANL, Feitosa JV, Montezuma Jr PA, Souza PT, Araújo AA** (2016) Rectal  
 435 temperatures, respiratory rates, production and reproduction performances of crossbred  
 436 Girolando cows under heat stress in northeastern Brazil. *International Journal of*  
 437 *Biometeorology*, **59**, 1647-1653. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-4>

438

439 **Cuellar CJ, Saleem M, Jensen LM, Hansen PJ** (2023) Differences in body temperature  
 440 regulation during heat stress and seasonal depression in milk yield between Holstein, Brown  
 441 Swiss, and crossbred cows. *Journal of Dairy Science*, **106** (5), 3625-3632.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22725>

443

- 444 **Da Silva RG, Campos Maia AS** (2013) Principles of animal biometeorology.  
445 Biometeorology, vol.2, New York: Springer. 1-283. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>
- 447
- 448 **Eigenberg RA, Nienaber JA, Brown-Brandl TM** (2003) Development of a livestock safety  
449 monitor for cattle. In: [Proceedings...] of the Meeting of The American Society of  
450 Agricultural Engineers. (Baltimore, U.S.A.). Paper no. 032338.  
451 <https://doi.org/10.13031/2013.13837>
- 452
- 453 **Esmay ML** (1969) Principles of animal environment. Westport, 1-325.
- 454
- 455 **Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A** (2008) A new heat load index for feedlot cattle.  
456 *Journal of Animal Science*, **86**, 226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- 457
- 458 **Hair Junior JF, Anderson RE, Tatham RL, Black WC** (2005) Análise multivariada de  
459 dados. Porto Alegre: Bookman, 1-593.
- 460
- 461 **Köppen W** (1918) Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und  
462 Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal  
463 cycle). Petermanns Geogr. Mitt., **64**, 193-203.
- 464
- 465 **Mader TL, Johnson LJ, Gaughan JB** (2010) A comprehensive index for assessing  
466 environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*, **88**, 2153-2165.  
467 <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>
- 468
- 469 **Maggiolino A, Landi V, Bartolomeo N, Bernabucci U, Santus E, Bragaglio A, De Palo P**  
470 (2022) Effect of Heat Waves on Some Italian Brown Swiss Dairy Cows' Production Patterns.  
471 *Frontiers in Animal Science*, **2**, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.800680>
- 472
- 473 **Mingoti SA** (2005) Analyze data using multivariate statistical methods: An applied approach.  
474 Federal University of Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 1-295.
- 475
- 476 **Moran DS, Pandolf KB, Shapiro YY, Heled Y, Shani Y, Mathew WT, Gonzalez RR**  
477 (2021) An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature  
478 (WBGT). *Journal of Thermal Biology*, **26** (4), 427-431. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)
- 480
- 481 **Müller L, Manfron PA, Medeiros SLP, Rigão MH, Bandeira AH, Tonetto CJ, Dourado  
482 Neto D** (2012) Correlações de Pearson e canônica entre componentes da matéria seca da  
483 forragem e sementes de azevém. *Revista Brasileira de Sementes*, **34**, 86–93.  
484 <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000100011>.
- 485
- 486 **Nascimento FGO, Aguiar HCP, Rodrigues GM, Guimarães EC, Nascimento MRBM**  
487 (2019) What is the best temperature-humidity index equation to indicate heat stress in

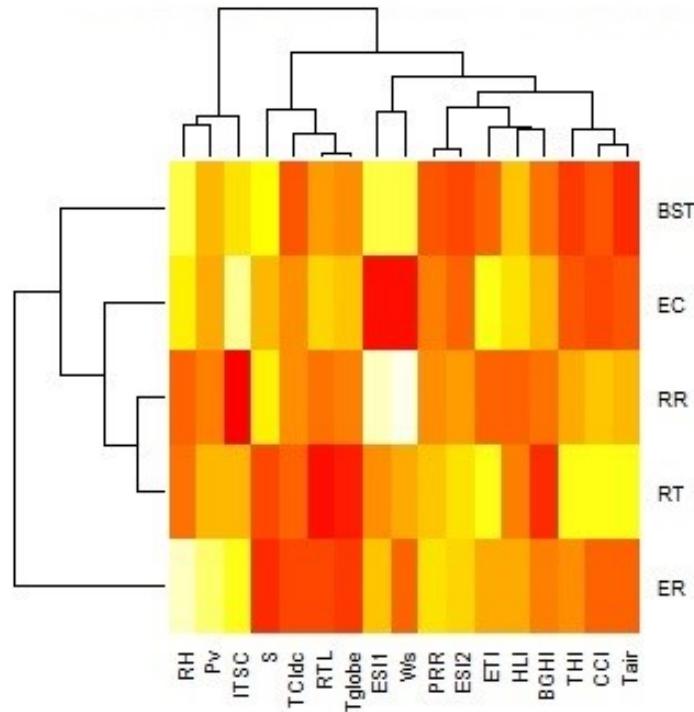
- 488 crossbred dairy calves in a tropical environment? *Ciência Rural*, **49** (1), 1-8.  
489 <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180132>
- 490
- 491 **Petrucci E** (2018) Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura,  
492 precipitação e umidade relativa. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia  
493 – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1-245.  
494 <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2018.143>
- 495
- 496 **R Core Team** (2024) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation  
497 for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 498
- 499 **Salles MSV, Silva SC, Salles FA, Roma LC, El Faro L, Mac Lean PAB, Oliveira CEL,**  
500 **Martello LS** (2016) Mapping the body surface temperature of cattle by infrared  
501 thermography. *Journal of Thermal Biology*, **62**, 63-69.  
502 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.10.003>
- 503
- 504 **Shephard RW, Maloney SK** (2023) A review of thermal stress in cattle. *Australian  
505 Veterinary Journal*, **101** (11), 417-429. <https://doi.org/10.1111/avj.13275>
- 506
- 507 **Silva RG, Morais DAEF, Guilhermino MM** (2007) Evaluation of thermal stress indexes for  
508 dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **36** (4), 1192-1198.  
509 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>
- 510
- 511 **Silva RG, Morais DAEF, Guilhermino MM, LaScala Junior N, Maia ASC** (2010a) Índices  
512 de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em regiões equatoriais secas. *Revista Científica de  
513 Produção Animal*, **12**, 125-128. <https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n2p125-128>
- 514
- 515 **Silva RG, Guilhermino MM, Morais DAEF** (2010b) Thermal radiation absorbed by dairy  
516 cows in pasture. *International Journal of Biometeorology*, **54** (1), 5-11.  
517 <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0244-1>
- 518
- 519 **Silva, RG, Maia, ASC** (2011) Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of  
520 Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **40** (5), 1143–7.  
521 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500028>
- 522
- 523 **Silva RG, Maia ASC, Macedo Costa LL, Queiroz JPAF** (2012) Latent heat loss of dairy  
524 cows in an equatorial semi-arid environment. *International Journal of Biometeorology*, **56**,  
525 927–932. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0501-y>
- 526
- 527 **Silva RG, Maia ASC, Costa LLM** (2015) Index of thermal stress for cows (ITSC) under  
528 high solar radiation in tropical environments. *International Journal of Biometeorology*, **59**,  
529 551-559. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>
- 530
- 531 **Silveira RMF, Ferreira J, Busanello M, Vasconcelos AM, Valente FLJ, Façanha DAE**  
532 (2021) Relationship between thermal environment and morphophysiological, performance and

- 533 carcass traits of Brahman bulls raised on tropical pasture: A canonical approach to a set of  
534 indicators. *Journal of Thermal Biology*, **96**, 1-10.  
535 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102814>
- 536
- 537 **Tonello CL** (2011) Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da  
538 Bovinocultura de Leite. Maringá, PR. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-  
539 graduação em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal, Universidade Estadual de  
540 Maringá, 1-140.
- 541
- 542 **Vitali A, Felici A, Lees AM, Giacinti G, Maresca C, Bernabucci U, Gaughan JB,**  
543 **Nardone A, Lacetera N** (2020) Heat load increases the risk of clinical mastitis in dairy cattle.  
544 *Journal of Dairy Science*, **103**, 8378–8387. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17748> doi:  
545 10.3168/jds.2019-17748
- 546

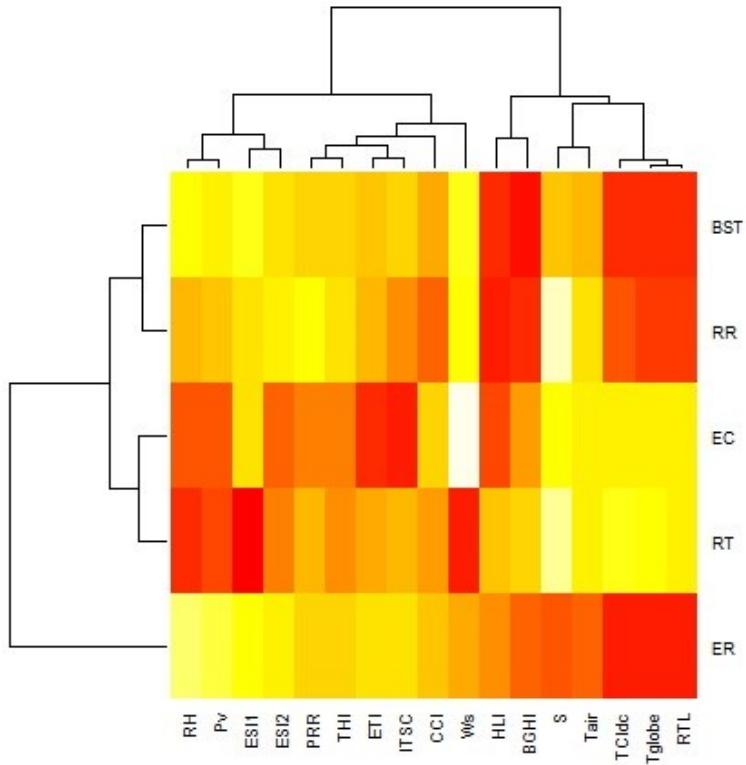
547 Tabela 1. Medianas (Md), intervalos interquartílicos (IQR), médias (Mean) e desvios padrão (SD) das variáveis termofisiológicas de bezerras mestiças  
 548 leiteiras, variáveis meteorológicas e índices de estresse térmico, pela manhã e tarde, em região tropical.

Variáveis	Manhã					Tarde					p-value
	n	Md	IQR	Mean	SD	n	Md	IQR	Mean	SD	
Frequência respiratória (RR, mov.min <sup>-1</sup> )	128	36,00	8,50	37,98	8,39	113	58,00	14,00	58,84	12,85	<0,0001
Temperatura retal (RT) (°C)	128	38,30	0,50	38,40	0,34	113	39,10	0,60	39,22	0,40	<0,0001
Temperatura corporal superficial (BST) (°C)	128	27,98	3,83	28,28	3,13	113	35,90	2,77	35,59	2,53	<0,0001
Evaporação cutânea (Ec) (W.m <sup>-2</sup> )	128	32,54	2,21	36,10	18,08	113	70,02	50,48	88,38	60,59	<0,0001
Evaporação respiratória (Er) (W.m <sup>-2</sup> )	128	19,82	4,91	21,29	4,57	113	35,17	10,78	37,53	8,10	<0,0001
Temperatura do ar (Tair) (°C)	128	20,00	2,93	20,48	1,85	113	27,70	1,10	27,88	1,81	<0,0001
Pressão parcial de vapor (Pv) (kPa)	128	1,74	0,77	1,69	0,43	113	1,87	0,85	1,70	0,55	0,762
Umidade relativa (RH) (%)	128	74,42	23,35	69,87	15,32	113	52,57	26,65	45,80	15,24	<0,0001
Velocidade do vento (Ws) (m.s <sup>-1</sup> )	128	1,85	2,22	2,32	1,70	113	1,60	1,50	1,78	1,38	0,008
Temperatura do globo (°C)	128	27,40	6,30	28,67	4,05	113	40,20	6,00	38,97	4,50	<0,0001
Radiação solar (S) (W.m <sup>-2</sup> )	128	598,80	222,48	541,98	122,17	113	931,07	233,83	877,13	123,48	<0,0001
Índice de Temperatura e Umidade (THI)	128	62,89	5,28	63,76	4,09	113	75,44	4,41	76,01	3,47	<0,0001
Índice de Temperatura Equivalente (ETI), °C	128	20,91	3,09	21,12	2,50	113	27,48	3,16	27,47	2,51	<0,0001
Índice de Globo Negro e Umidade (BGHI)	128	74,94	3,89	76,13	4,10	113	86,94	3,92	86,33	3,59	<0,0001
Índice de Carga Térmica (HLI)	128	84,44	12,51	83,14	13,47	113	94,59	8,33	94,79	6,23	<0,0001
Índice de Conforto Térmico de Bovinos de Leite (TCIdc)	128	31,02	3,94	31,93	3,23	113	43,38	3,90	43,13	3,09	<0,0001
Índice de Frequência Respiratória (PRR)	128	48,49	20,92	51,74	12,22	113	85,69	10,63	86,15	9,86	<0,0001
Índice de Estresse Ambiental (ESI1)	128	30,47	0,73	30,74	0,86	113	29,61	1,42	29,61	0,99	<0,0001
Índice Climático Compreensível (CCI)	128	29,08	3,80	29,40	2,79	113	35,07	7,27	35,29	3,77	<0,0001
Índice de Estresse Térmico para Vacas (ITSC)	128	171,71	110,62	164,77	70,09	113	188,67	81,33	186,75	63,27	0,012
Carga Térmica Radiante (RTL) (W.m <sup>-2</sup> )	128	471,07	47,56	479,55	29,68	113	560,70	53,14	551,12	36,18	<0,0001
Índice de Especificação Ambiental (ESI2)	128	19,14	3,20	19,60	2,16	113	35,07	7,27	24,79	1,92	<0,0001

549 \*p-value based in a Wilcoxon test.



550  
551 **Figura 1:** Correlação das variáveis fisiológicas, eixo X, e do ambiente térmico, eixo Y, pela  
552 manhã.  
553 Legenda: BST: temperatura corporal superficial; Ec: evaporação cutânea; RR: frequência  
554 respiratória; RT: temperatura retal; Er: evaporação respiratória. RH: umidade relativa; Pv: pressão  
555 parcial de vapor; ITSC: Índice de Estresse Térmico para Vacas; S: radiação solar; TCIdc: Índice  
556 de Conforto Térmico para Bovinos de Leite; RTL: Carga Térmica Radiante; Tg: temperatura do  
557 globo; ESI1: Índice de Estresse Ambiental; Ws: velocidade do vento; PRR: Índice de Frequência  
558 Respiratória; ESI2: Índice de Especificação Ambiental; ETI: Índice de Temperatura Equivalente;  
559 HLI: Índice de Carga Térmica; BGHI: Índice de Globo Negro e Umidade; THI: Índice de  
560 Temperatura e Umidade; CCI: Índice Climático Compreensível; Tair: temperatura do ar.  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576



577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588

**Figura 2:** Correlação das variáveis fisiológicas, eixo X, e do ambiente térmico, eixo Y, pela tarde. Legenda: BST: temperatura corporal superficial; Ec: evaporação cutânea; RR: frequência respiratória; RT: temperatura retal; Er: evaporação respiratória. RH: umidade relativa; Pv: pressão parcial de vapor; ITSC: Índice de Estresse Térmico para Vacas; S: radiação solar; TCIdc: Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite; RTL: Carga Térmica Radiante; Tg: temperatura do globo; ESI1: Índice de Estresse Ambiental; Ws: velocidade do vento; PRR: Índice de Frequência Respiratória; ESI2: Índice de Especificação Ambiental; ETI: Índice de Temperatura Equivalente; HLI: Índice de Carga Térmica; BGHI: Índice de Globo Negro e Umidade; THI: Índice de Temperatura e Umidade; CCI: Índice Climático Compreensível; Tair: temperatura do ar.

## **CAPÍTULO 3**

(Redigido de acordo com as normas da Revista Livestock Science, ISSN Eletrônico: 1871-1413)

## Análise factorial exploratória de variáveis termofisiológicas e meteorológicas e ajuste do THI para bezerros leiteiros mestiços em ambiente tropical

**Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento<sup>1\*</sup>, Patrícia Kelly de Moraes Brettas<sup>1</sup>, João Paulo Rodrigues Bueno<sup>2</sup>, Ednaldo Carvalho Guimarães<sup>3</sup>, Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil, <sup>2</sup>Centro Universitário do Triângulo (UNITRI), Uberlândia, MG, Brazil & <sup>3</sup>Faculdade de Matemática da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

\*CORRESPONDÊNCIA: F. G. O. Nascimento [fgattion@hotmail.com]. Faculdade de Medicina Veterinária, UFU, Av. Pará, n. 1720. Bloco 2T. Umuarama. CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

## Resumo

O estresse por calor pode influenciar a fisiologia e a eficiência de conversão alimentar dos bezerros e comprometer sua vida produtiva futura. Portanto, compreender quais variáveis do ambiente térmico mais influenciará na sua termorregulação e desenvolver um THI específico para estes animais auxiliará o profissional e o pecuarista no manejo ambiental. Assim, objetivou-se identificar as variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico e os índices de estresse térmico que apresentam maior contribuição na avaliação do efeito do estresse por calor em bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical e, também, propor um ajuste na equação de THI para essa categoria animal. Foram avaliados bezerros leiteiros mestiços (Holandês x Gir Leiteiro), criados em ambiente tropical, entre 15 a 60 dias de idade durante os períodos da manhã e tarde. Antes do aleitamento foram quantificadas a frequência respiratória (RR), temperatura retal (RT) e a temperatura corporal superficial (SBT). Também foram medidas as temperaturas de bulbo seco (Tair), bulbo úmido (Twb), do globo negro (Tglobe), a velocidade do vento (Ws) e os principais índices de estresse térmico foram calculados. Para a análise multivariada utilizou-se o procedimento de análise de componentes principais (PCA), enquanto que a análise de regressão linear múltipla foi aplicada com base no método dos mínimos quadrados. Na PCA verificou-se que as variáveis termofisiológicas que exibiram as maiores cargas fatoriais no componente principal (CP1) foram, em ordem decrescente: SBT (0,719), RR (0,697) e RT (0,679). Já as variáveis do

32 ambiente térmico foram, em ordem descrescente: Tair (0,914), índice de temperatura e umidade  
33 (THI) (0,837), índice de frequência respiratória (0,804), índice de conforto térmico para bovinos  
34 de leite (0,789) e radiação solar (0,784) e, como todas essas cargas foram positivas, tem-se que  
35 essas variáveis têm relação direta com o CP1. Na análise de regressão linear múltipla para ajuste  
36 do THI para bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical, observou-se que a Tair e  
37 umidade relativa (RH) foram altamente significativos e que a nova equação apresentou  $R^2$  de 0,98.  
38 Conclui-se que as variáveis termofisiológicas têm forte relação com a Tair e o THI. O THI ajustado  
39 é indicado para avaliar o efeito do estresse por calor em bezerros leiteiros mestiços criados em  
40 ambiente tropical.

41

42 **Palavras-chave:** gado, temperatura ambiente, análise multivariada, índice térmico.

43

44

## Introdução

45 O estresse por calor é causado por fatores do ambiente térmico que colocam em tensão um  
46 sistema biológico (Collier et al., 2017). O efeito da elevação da temperatura do ar, que pode ser  
47 intensificado pelo aumento da umidade, radiação solar e baixa velocidade do vento irão fazer com  
48 que os bovinos tenham gasto de energia para reduzir o impacto do estresse, pois será necessário  
49 dissipar o excedente de calor para manter a homeotermia (Collier et al., 2017; Jeelani et al., 2019).  
50 Quando os animais estão em conforto térmico, as variáveis termofisiológicas encontram-se dentro  
51 do intervalo de referência para a espécie (Silva et al., 2015). Porém, quando eles estão sob efeito  
52 do estresse por calor, são ativados mecanismos compensatórios e adaptativos para manter a  
53 temperatura corporal profunda constante (Indu; Pareek, 2015). Dentre as alterações que podem ser  
54 percebidas estão o aumento da ingestão de água, redução no consumo de alimento, alterações na  
55 eficiência produtiva e reprodutiva e elevação da frequência respiratória (Rashamol et al., 2018).

56 Em bovinos leiteiros o efeito do estresse por calor pode ser avaliado por vários índices de  
57 estresse térmico (Jeelani et al., 2019). O índice de temperatura e umidade (THI) considera em sua  
58 equação os efeitos da temperatura e umidade do ar, sendo amplamente utilizado para avaliar as  
59 condições ambientais que podem caracterizar o estresse por calor (Polsky; Von Keyserlingk, 2017).  
60 Porém, os limites críticos de THI para bezerros mestiços criados em ambiente tropical permanecem  
61 desconhecidos devido a quantidade limitada de informações relacionando o THI com o estresse  
62 por calor, sendo necessário mais estudos para auxiliar na sua quantificação para os bezerros

63 leiteiros (Wang et al., 2020). Além disso, os valores do THI que indicam o nível de estresse térmico  
64 podem ser influenciados pela localização geográfica e tipo de animal, portanto, o THI existente  
65 deve ser reajustado para diferentes regiões climáticas para uma avaliação precisa do estresse  
66 térmico (Jeelani et al., 2019).

67 Apesar do THI ser amplamente utilizado, não é levado em consideração em sua equação os  
68 valores de radiação solar e velocidade do vento, que são variáveis consideradas importantes para  
69 as regiões tropicais (Da Silva et al., 2015). Com isso, outros índices de estresse térmico foram  
70 propostos considerando outras variáveis do ambiente térmico, como por exemplo a radiação solar  
71 e velocidade do vento (Da Silva; Campos Maia, 2013). A avaliação desses índices se baseia na  
72 definição de valores críticos, que devem ser específicos para as condições meteorológicas de cada  
73 região, para cada categoria animal, bem como para cada raça a fim de propiciar uma interpretação  
74 mais precisa da situação de estresse por calor ou de conforto. Assim, se faz necessário avaliar a  
75 efetividade desses índices em indicar o impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase  
76 térmica de bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical.

77 A análise multivariada é uma ferramenta que contribui para uma melhor compreensão das  
78 respostas termofisiológicas dos animais por levar em consideração todas as variáveis analisadas  
79 simultaneamente (Façanha et al., 2019). Os métodos da análise multivariada se baseiam nas  
80 correlações entre as variáveis, tornando possível avaliar a interrelação entre elas, reduzindo o  
81 conjunto original de dados para um menor número de fatores independentes, facilitando a  
82 interpretação (Vasconcelos et al., 2019).

83 Assim, objetivou-se identificar por análise multivariada as variáveis termofisiológicas, do  
84 ambiente térmico e os índices de estresse térmico que apresentam maior contribuição na avaliação  
85 do efeito do estresse por calor em bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical e,  
86 também, propor um ajuste na equação de THI para essa categoria animal.

## 87

### 88 Material e Métodos

89 O projeto de pesquisa possui aprovação no Comitê de Ética na Utilização de Animais da  
90 Universidade Federal de Uberlândia, conforme os protocolos de registro CEUA/UFU nº 031/16 e  
91 CEUA/UFU nº 035/21.

92 *Local:* A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental do campus Glória, da  
93 Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia, no estado de Minas

94 Gerais, Brasil ( $18^{\circ}57'38''$  de latitude Sul e  $48^{\circ}12'16,8''$  de longitude Oeste de Greenwich, a uma  
95 altitude de 925 metros acima do nível do mar). A temperatura média anual varia de  $19^{\circ}\text{C}$  a  $27^{\circ}\text{C}$   
96 e seu clima é do tipo Aw, conforme classificação de Köppen, apresenta verão quente com elevada  
97 intensidade pluviométrica, enquanto que o inverno é seco, frio e com baixa ocorrência de chuvas  
98 (Silva; Assunção, 2004).

99 *Instalações:* Bezerreiro tropical, individual, ao ar livre, em que o animal fica com uma coleira  
100 conectada a um fio de 1,5 m de comprimento e este movimenta em um cabo de aço de 8 m de  
101 comprimento que fica próximo ao chão (Figura 1). Em uma das extremidades do cabo de aço existe  
102 um suporte para o balde em que é oferecido o leite e a água, e na outra extremidade há um  
103 comedouro para fornecimento de concentrado comercial. A sombra é com polietileno de 80% de  
104 interceptação luminosa no sentido norte-sul.

105 *Animais:* Bezerros leiteiros mestiços, machos e fêmeas, com idade entre 15 a 60 dias, foram  
106 selecionados para as avaliações. Estes bezerros são provenientes de cruzamentos entre as raças  
107 Holandês e Gir Leiteiro, cuja composição genética variou de  $\frac{1}{2}$  Holandês  $\frac{1}{2}$  Gir a  $\frac{31}{32}$  Holandês e  
108  $\frac{1}{32}$  Gir.

109 *Manejo dos animais:* Após o nascimento, os bezerros foram separados das mães para a  
110 realização da colostragem, identificação individual com brincos e antisepsia do umbigo com  
111 solução de iodo. Depois, eles foram alojados no bezerreiro tropical onde permaneceram até 75 a  
112 90 dias de vida. Após o período de colostragem, o aleitamento foi feito exclusivamente com  
113 sucedâneo. A redução do sucedâneo foi gradativa, sendo fornecido seis litros/dia/animal no início  
114 e um litro/animal/dia no final do desaleitamento. Água e o concentrado comercial (milho moído,  
115 farelo de soja, farelo de trigo, farelo germe de milho, farelo de milho, calcário calcítico, cloreto de  
116 sódio, premix vitamínico e mineral, com nível de garantia em gramas de: 14,0 de proteína bruta;  
117 2,0 de extrato etéreo; 12,0 de matéria mineral; 1,5 de cálcio; 0,5 de fósforo e 12,0 de fibra bruta)  
118 foram oferecidos *ad libitum*.

119 *Avaliações dos animais:* As avaliações ocorreram durante os meses com menores (maio,  
120 agosto e setembro) e maiores (novembro, dezembro e janeiro) temperaturas médias na região.  
121 Assim, quinze bezerros foram avaliados durante sete dias em maio, vinte quatro durante quatro  
122 dias em agosto e setembro, treze durante quatro dias em novembro e dezembro e onze durante  
123 cinco dias em janeiro. Totalizaram-se 616 observações, porém houve a necessidade de descartar as  
124 avaliações realizadas em um dos bezerros que se apresentou apático e com diarreia. Ao final foram

125 obtidas 614 avaliações, sendo 307 pela manhã (07h30min a 08h30min) e 307 pela tarde (13h30min  
126 a 14h30min).

127 Antes do aleitamento diário foram quantificadas a frequência respiratória (RR) pela  
128 contagem do número de movimentos do flanco direito por minuto, temperatura retal (RT) medida  
129 por termômetro clínico digital (TH-150 modelo G-Tech) inserido no reto a cinco centímetros  
130 durante dois minutos e a temperatura corporal superficial (SBT) da fronte, escápula e virilha, por  
131 um termômetro digital de infravermelho (Instrutherm TI-550), e posteriormente calculou-se o valor  
132 médio.

133 *Avaliações do ambiente térmico:* Todas as mensurações do ambiente térmico foram  
134 realizadas concomitantemente com as medidas termofisiológicas de cada bezerro avaliado. As  
135 temperaturas de bulbo seco (Tair) e bulbo úmido (Twb) foram medidas com o termohigrômetro  
136 analógico (Incoterm®). A temperatura do globo negro (Tglobe) foi medida com o termômetro de  
137 globo digital (TGM-200) e a velocidade do vento (Ws) pelo anemômetro (Instrutherm AD-250).  
138 Posteriormente, a pressão de saturação em função da temperatura do ar (Ps(Tair)), pressão parcial  
139 de vapor (Pv), umidade relativa (RH), temperatura do ponto de orvalho (Tdp), radiação solar (S),  
140 temperatura radiante média (MRT), carga térmica radiante (RTL) e carga térmica de radiação  
141 efetiva (ERHL) foram calculados conforme Da Silva e Campos Maia (2013). Os principais índices  
142 de estresse térmico foram selecionados da literatura para avaliação (Tabela 1).

143 *Análise Estatística:* Na análise multivariada utilizou-se o procedimento de análise de  
144 componentes principais com a finalidade de verificar as variáveis que apresentaram as maiores  
145 interdependências entre elas em cada componente. As análises seguiram os procedimentos  
146 indicados em Hair Junior et al. (2005) e que consistiu na extração dos componentes principais e  
147 análises gráficas. A adequação dos dados à análise de componentes principais foi verificada pelo  
148 teste de esfericidade de Bartlett, considerando p-valor < 0,05 e por meio da estatística KMO em  
149 que foi considerada adequada se a estatística de KMO apresentasse valor global superior a 0,60.

150 Foi realizada correlação de Pearson entre o Índice de Temperatura e Umidade (THI) proposto  
151 por Berman et al. (2016) com Tair e RH. Na sequência, considerou-se o THI de Berman et al.  
152 (2016) para proceder a análise de regressão linear múltipla, com base no método dos mínimos  
153 quadrados, que foi aplicada aos dados para obter o modelo que explicasse o THI em função das  
154 variáveis independentes Tair e RH. Os modelos ajustados foram considerados significativos se p-  
155 valor < 0,05.

156 Os valores obtidos da nova equação de THI foram agrupados em classes, considerando THI  
157 de 56,0 a 70,0 como conforto, de 70,1 a 74,0 estado de alerta, e a partir de 74,1 foi considerado  
158 estresse por calor, sendo que de 74,1 a 76,0 leve, de 76,1 a 79,0 moderado e de 79,1 a 90,2 grave.  
159 Posteriormente foi verificado a normalidade dos resíduos para modelo matemático de delineamento  
160 aleatório (teste de Anderson-Darling) e a homoscedasticidade das variâncias para os tratamentos  
161 (teste de Levene). As diferenças entre as classes de THI para cada variável termofisiológica e do  
162 ambiente térmico foram avaliadas pela ANOVA e teste de Tukey, considerando o nível de 5% de  
163 significância. Todos os procedimentos de análise estatística foram feitos no programa  
164 computacional de livre acesso R (R Core Team, 2022).

165

## 166 Resultados

167 A análise de componentes principais foi utilizada para identificar as variáveis que apresentam  
168 maior contribuição na avaliação do efeito do estresse por calor nos bezerros leiteiros mestiços.  
169 Verificou-se que os componentes principais 1 e 2 explicaram 0,78 da variância total, enquanto que  
170 cada um dos demais componentes explicaram menos de 0,10 da variância (Figura 2).

171 As variáveis termofisiológicas (RR, RT e SBT), as meteorológicas, Tair e S, e os índices  
172 THI, índice de frequência respiratória (RRI), índice de conforto térmico para bovinos de leite  
173 (TCIdc), índice de estresse ambiental (ESI), índice de temperatura equivalente (ETI) e índice  
174 climático comprehensível (CCI) se correlacionaram positivamente com o componente principal 1  
175 (CP1). Enquanto que as variáveis relacionadas com a umidade do ar (Pv, Tdp, Twb e RH) e o  
176 índice de estresse térmico para vacas (ITSC) se correlacionaram positivamente com o componente  
177 principal 2 (CP2) (Figura 3).

178 Observa-se que no CP1 encontram-se as variáveis termofisiológicas associadas a  
179 homeotermia nos bezerros leiteiros mestiços (Figura 4). Estas variáveis apresentaram cargas  
180 fatoriais positiva e, em conjunto, explicam a maioria da variação observada (0,51). As variáveis  
181 termofisiológicas que apresentaram as maiores cargas fatoriais com o CP1, foram em ordem  
182 decrescente: SBT (0,719), RR (0,697) e RT (0,679). As variáveis meteorológicas Tair (0,914) e S  
183 (0,784) também apresentaram cargas fatoriais positivas com o CP1. Enquanto que os índices com  
184 as maiores cargas fatoriais foram: THI (0,837), RRI (0,804), TCIdc (0,789), ESI (0,755), ETI  
185 (0,705) e CCI (0,668).

O CP2, que explicou 0,26 da variância total, indica um arranjo diferente das variáveis analisadas (Figura 4). As variáveis que mais contribuíram para esse componente foram as meteorológicas relacionadas com a umidade do ar, tais como Pv (0,987), Tdp (0,984), Twb (0,896) e RH (0,736) e o ITSC (0,781), que leva em consideração em sua equação o valor da Pv.

A correlação de THI proposto por Berman et al. (2016) com a Tair foi alta e positiva (0,95) e com RH foi negativa e baixa (-0,23). E com base no THI proposto por Berman et al. (2016), procedeu-se com a análise de regressão linear múltipla para criação de uma equação específica de THI para bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical. Observou-se que Tair e RH foram altamente significativos ( $p < 0,01$ ), ou seja, são variáveis que podem ser utilizadas para compor a equação de THI para bezerros. A nova equação apresentou  $R^2$  de 0,98, indicando que 98% da variação do THI para bezerros pode ser explicada pela variação da Tair e da RH (Figura 5).

THI para bezerros mestiços:

$$\text{THIajustado} = 2,025(\text{Tair}) + 0,1231(\text{RH}) + 13,8911$$

Ao se comparar os valores médios das variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico em relação às diferentes classes do THI para bezerros, observou-se os menores valores de RR, RT, SBT, Tair e S na situação de conforto ( $\text{THI} < 70,0$ ), porém, para a classe de estresse grave ( $\text{THI} > 79,1$ ) foram observados os maiores valores de RR, RT, SBT, Tair e S (Tabela 2).

## Discussão

Vasconcelos et al. (2020) avaliaram diferentes variáveis que atuam no perfil adaptativo e nas respostas termorregulatórias de vacas leiteiras Girolando em condições tropicais, usando a análise multivariada. Os autores observaram que em situações climáticas adversas, as vacas Girolando priorizaram um maior número de respostas fisiológicas, indicando que elas ativaram os mecanismos latentes de perda de calor, como a evaporação respiratória para auxiliar na dissipação de calor. No presente estudo, foi observado que as variáveis termofisiológicas analisadas (RR, RT e SBT) para os bezerros leiteiros mestiços apresentaram elevada correlação com o CP1, corroborando com os achados de Vasconcelos et al. (2020).

Dos índices de estresse térmico analisados, o THI, RRI, TCIdc, ESI, ETI e CCI apresentaram relação com o CP1. Destes o THI apresentou a maior correlação (0,837), que

216 possivelmente ocorreu pela forte correlação da Tair com o CP1 (0,914), visto que esta é uma  
217 variável importante que compõe a equação de THI.

218 O THI foi desenvolvido por Thom (1959), e desde então várias equações foram propostas  
219 com o objetivo de avaliar o estresse por calor nos animais de produção (NRC, 1971; Yousef, 1985;  
220 Mader et al., 2006; Berman et al., 2016). Nascimento et al. (2019) compararam nove equações de  
221 THI para avaliar a que melhor representa os efeitos das condições meteorológicas sobre o equilíbrio  
222 térmico de bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical. Os autores observaram que a  
223 equação de THI proposta por Berman et al. (2016) foi a que melhor identificou os efeitos negativos  
224 do estresse por calor sobre o equilíbrio térmico de bezerros leiteiros mestiços.

225 Equações que envolvem muitas variáveis meteorológicas são mais complexas de serem  
226 avaliadas pelos pecuaristas interessados em garantir o conforto térmico e melhorar o grau de bem-  
227 estar dos animais (Da Silva; Campos Maia, 2013; Nascimento et al., 2019). As variáveis  
228 necessárias para o cálculo do THI, tais como temperatura do ar e umidade do ar, podem ser  
229 facilmente obtidas na propriedade rural (Souza et al., 2010), por meio da avaliação termo-  
230 higrômetro ou *datalogger*. Outra opção considerada mais fácil e barata é obtenção pela plataforma  
231 da National Aeronautics and Space Administration/Prediction of Worldwide Energy Resources  
232 (NASA/POWER) (<http://power.larc.nasa.gov>) (Aparecido et al., 2022) ou ainda obter os dados  
233 publicados de uma estação meteorológica oficial próxima (Bohmanova et al., 2007; Shock et al.,  
234 2016). Com isso, o técnico e o pecuarista são capazes de realizar a avaliação do momento em que  
235 o ambiente térmico afeta negativamente a homeostase térmica dos bezerros.

236 É importante ressaltar que dados obtidos de estações meteorológicas oficiais podem  
237 subestimar o estresse por calor nos bovinos criados a pasto. Portanto, o pecuarista deverá optar por  
238 realizar as medidas do ambiente térmico, sempre que possível, na propriedade rural, pois será  
239 obtida uma melhor representação da condição térmica a que os bovinos estão submetidos (Brettas  
240 et al., 2019).

241 A partir da equação de THI proposta por Berman et al. (2016), foi gerada uma nova equação  
242 para ser utilizada para bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical, levando em  
243 consideração o efeito da Tair e RH. Com base nos resultados da nova equação proposta para os  
244 bezerros leiteiros mestiços foram determinadas classes de THI para auxiliar o pecuarista na  
245 interpretação do momento em que os efeitos negativos do estresse por calor podem afetar  
246 negativamente a homeostase dos bezerros. Assim, considerou-se que THI menor que 70 indica

247 conforto térmico, de 70 a 74 estado de alerta, de 74 a 76 é estresse leve, de 76 a 79 estresse  
248 moderado e acima de 79 estresse grave. Ao avaliar o efeito do estresse por calor em bezerros  
249 leiteiros mestiços, Nascimento et al. (2019) observaram que valores de THI superiores a 74  
250 caracterizaram a situação de desconforto térmico para esses animais.

251 No presente estudo observou-se o aumento da RR na situação de estresse grave ( $\text{THI} >$   
252 79,1), mas com a manutenção dos valores de RT dentro da normalidade para a espécie. Isso pode  
253 ser explicado pelo fato de que em bovinos expostos a ambientes com variações na temperatura do  
254 ar, o aumento da frequência respiratória ocorrerá em resposta ao estresse por calor, e precederá o  
255 aumento da temperatura retal (Brown-Brandl et al., 2003; Berman et al., 2005). Santos et al. (2017)  
256 observaram que vacas mestiças Holandesas apresentaram RR de aproximadamente  $69 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$ ,  
257 quando a Tair apresentou valores superiores a  $30,2^\circ\text{C}$ , no período da tarde. Os autores justificaram  
258 que esse resultado só não foi superior devido às condições físicas do ambiente, visto que a maioria  
259 dos animais estavam em áreas com sombreamento arbóreo durante os momentos de altas  
260 temperaturas e radiação solar. No presente estudo, observou-se que o aumento da RR foi superior  
261 a  $81 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$  quando a Tair foi de  $32^\circ\text{C}$ . Já a RT se manteve dentro do intervalo de referência  
262 para a espécie, que conforme Costa et al. (2015) varia de  $38^\circ\text{C}$  a  $39,3^\circ\text{C}$ .

263 Para a classe de THI de estresse grave ( $> 79,1$ ) também foi observado o valor médio de  
264 SBT de  $38,9^\circ\text{C}$ . Este valor foi superior ao da temperatura do ar média ( $32,0^\circ\text{C}$ ), o que indica que  
265 os bezerros conseguiram aumentar do fluxo sanguíneo periférico após a dilatação dos capilares  
266 superficiais, o que culminou na elevação da SBT, favorecendo a perda de calor para o ambiente  
267 (Da Silva; Campos Maia, 2013).

268 Spain e Spiers (1996) indicaram que a temperatura crítica superior ( $T_{uc}$ ) para bezerros da  
269 raça Holandesa é de  $26^\circ\text{C}$ , e acima deste valor já é possível observar o aumento da frequência  
270 respiratória. Hahn et al. (1997) afirmaram que em bovinos saudáveis uma RR inferior a  $60$   
271  $\text{mov}.\text{min}^{-1}$  é indicativa de ausência ou um estresse por calor discreto. No presente estudo, observou-  
272 se o aumento da frequência respiratória acima de  $60 \text{ mov}.\text{min}^{-1}$  quando a temperatura do ar foi  
273 superior a  $29^\circ\text{C}$ , o que sugere que esta é a temperatura crítica superior para os bezerros leiteiros  
274 mestiços criados em ambiente tropical.

275 Os resultados do presente estudo auxiliarão os pecuaristas a identificar o momento em que  
276 bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical, com condições meteorológicas

277 semelhantes, estejam sob o efeito do estresse por calor. Com isso, eles terão a autonomia de tomar  
278 melhores decisões a fim de garantir o conforto térmico e o bem-estar dos bezerros.

279

## Conclusão

Existe forte relação das variáveis termofisiológicas (RR, RT e SBT) com a Tair e o THI, sendo que essas variáveis podem ser escolhidas para estudos futuros da influência do ambiente térmico sobre a termorregulação de bezerros leiteiros mestiços criados em ambiente tropical. O THI<sub>ajustado</sub> = 2,25(Tair) + 0,1231(RH) + 13,8911, para bezerros leiteiros mestiços é uma equação indicada de ser utilizada para avaliar o efeito do estresse por calor em bezerros mestiços criados em regiões onde a Tair exerce forte efeito sobre a homeostase térmica dos animais.

287

288 **Agradecimentos:** O apoio financeiro foi concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de  
289 Pessoal do Nível Superior (CAPES).

290

**291 Cumprimento dos Padrões Éticos:** Todos os procedimentos envolvendo animais foram aprovados  
292 pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Uberlândia, sob os protocolos  
293 CEUA/UFU nº 031/16 e CEUA/UFU nº 035/21.

294

**295 Declaração de interesse:** Os autores declaram não haver conflitos de interesse. Os autores são os  
296 únicos responsáveis pelo conteúdo e pela redação do artigo.

297

## REFERÊNCIAS

299

300 Aparecido, L.E.d.O., Lorençone, J.A., Lorençone, P.A., Torsoni, G.B., de Moraes, J.R.d.S.C. and  
301 de Meneses, K.C. (2022), Bioclimatic zoning for dairy cows in Brazil by statistical modeling.  
302 Journal of the Science of Food and Agriculture, 102, 3847-3857.

303 <https://doi.org/10.1002/jsfa.11734>

304

305 Baeta, F.C.; Meador, N.F.; Shanklin, M.D.; Johnson, H.D. 1987. Equivalent temperature index at  
306 temperatures above the thermoneutral for lactating cows In: Proceedings of the Meeting of the  
307 American Society of Agricultural Engineers. Baltimore, U.S.A. 1-21. ISSN/ISBN: 0149-9890

- 308  
309 Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal*  
310 *Science*, 83, 1377-1384. <https://doi.org/10.2527/2005.8361377x>
- 311  
312 Berman, A.; Horovitz, T.; Kaim, M.; Gacitua, H. 2016. A comparison of THI indices leads to a  
313 sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress.  
314 *International Journal of Biometeorology*, 60, 1453-1462. [https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9](https://doi.org/10.1007/s00484-016-<br/>315 1136-9)
- 316  
317 Bohmanova, J.; Misztal, I.; Cole, J. B. 2007. Temperature-humidity índices as indicators of milk  
318 production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90, 1947-1956.  
319 <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
- 320  
321 Brettas, P.K.M.; Guimarães, E.C.; Nascimento, M.R.B.M. 2019. Dados de estação meteorológica  
322 oficial subestimam o estresse por calor em bovinos leiteiros criados em ambiente tropical.  
323 Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 71, 967-976.  
324 <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10432>
- 325  
326 Brown-Brandl, T.M.; Nienaber, J.A.; Eigenberg, R.A.; Hahn, G.L.; Freetly, H. 2003.  
327 Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*, 28, 149–157.  
328 [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00052-9)
- 329  
330 Buffington, D.E.; Collasso-Arocho, A.; Canton, G.H.; Pitt, D.; Thatcher, W.W. Collier, R. J.  
331 1981. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trasactions of the*  
332 *ASAE*, 24, 711-714. <https://doi.org/10.13031/2013-34325>
- 333  
334 Collier, R.J.; Renquist, B.J.; Xiao, Y. 2017. A 100-year review: Stress physiology including heat  
335 stress. *Journal of Dairy Science*, 100, 10367-10380. <https://doi.org/10.3168/jds.2017>
- 336  
337 Costa, A.N.L.; Feitosa, J.V.; Montezuma Jr, P.A.; Souza, P.T.; Araújo, A.A. 2015. Rectal  
338 temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred

- 339 Girolando cows under heat stress in northeastern Brazil. International Journal of Biometeorology,  
340 59, 1647-1653. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-4>
- 341
- 342 Da Silva, R.G.; Campos Maia, A.S. 2013. Principles of animal biometeorology. *Biometeorology*,  
343 vol.2, New York: Springer. 283p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>
- 344
- 345 Da Silva, R.G., Maia, A.S.C.; de Macedo Costa, L.L. 2015. Index of thermal stress for cows  
346 (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. International Journal of  
347 Biometeorology, 59, 551–559. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>
- 348
- 349 Eigenberg, R.A.; Nienaber, J.A.; Brown-Brandl, T.M. 2003. Development of a livestock safety  
350 monitor for cattle. Las Vegas, NV, 27-30. <https://doi.org/10.13031/2013.13837J>
- 351
- 352 Façanha, D.A.E.; Ferreira, J.B.; Leite, J.H.G.M.; de Sousa, J.E.R.; Guilhermino, M.M.; Costa,  
353 W.P.; Asensio, L.A.B.; Vasconcelos, A.M.; Silveira, R.M.F. 2019. The dynamic adaptation of  
354 Brazilian Brahman bulls. *Journal of Thermal Biology*, 81, 128–136.  
355 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.02.016>
- 356
- 357 Gaughan, J.B.; Mader, T.L.; Holt, S.M.; Lisle, A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle.  
358 *Journal of Animal Science*, 86, 226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- 359
- 360 Hair Junior, F.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L.; Black, W.C. 2005. Análise Multivariada de Dados.  
361 5ed. Porto Alegre: Bookman. 593p. ISBN: 85-363-0482-0
- 362
- 363 Hahn, G.L.; Parkhurrst, A.M.; Gaughan, J.B. 1997. Cattle respiration rate as a function of  
364 ambient temperature. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*, 40, 97-121.
- 365
- 366 Indu, S.; Pareek, A. 2015. A review: Growth and physiological adaptability of sheep to heat  
367 stress under semi-arid environment. *International Journal of Emerging Trends in Science and*  
368 *Technology*, 2, 3188-3198. <https://doi.org/10.18535/ijest/v2i9.09>
- 369

- 370 Jeelani, R.; Konwar, D.; Khan, A.; Kumar, D.; Chakraborty, D.; Brahma, B. 2019. Reassessment  
371 of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical  
372 region. *Journal of Thermal Biology*, 82, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
- 373
- 374 Mader, T.L.; Davis, M.S.; Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factor influencing heat stress  
375 in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84, 712-719. <https://doi.org/10.30969/acsa.v1i2>
- 376
- 377 Mader, T.L.; Johson, L.J.; Gaughan, J.B. 2010. A comprehensive index for assessing  
378 environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*, 88, 2153-2165.  
379 <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>
- 380
- 381 Moran, D.S.; Pandolf, K.B.; Shapiro, Y.; Heled, Y.; Shani, Y.; Mathew, W.T.; Gonzalez, R.R.  
382 2001. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature  
383 (WBGT). *Journal of Thermal Biology*, 26, 427-431. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)
- 384
- 385
- 386 Nascimento, F.G.O.; Aguiar, H.C.P.; Rodrigues, G.M.; Guimarães, E.C.; Nascimento, M.R.B.M.  
387 2019. What is the best temperature-humidity index equation to indicate heat stress in crossbred  
388 dairy calves in a tropical environment? *Ciência Rural*, 49, 1-8. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180132>
- 389
- 390
- 391 National Research Council - NRC. 1971. A guide to environmental research on animals. National  
392 Academy of Sciences, Washington, DC. 374p. ISBN: 0309018692
- 393
- 394 Polksky, L.; Von Keyserlingk, M.A.G. 2017. Invited Review: Effects of heat stress on dairy cattle  
395 welfare. *Journal of Dairy Science*, 100, 8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- 396
- 397 R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for  
398 Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 399

- 400 Rashamol, V.P.; Sejan, V.; Bagath, M.; Krishnan, G.; Archana, P.R.; Bhatta, R. 2018.  
401 Physiological adaptability of livestock to heat stress: an update review. *Journal of Animal*  
402 *Behaviour and Biometeorology*, 6, 62-71. <https://doi.org/10.31893/2319-1265jab.v6n3p62-71>
- 403
- 404 Shock, D.A.; LeBlanc, S.J.; Leslie, K.E.; Hand, K.; Godkin, M.A.; Coe, J.B.; Kelton, D.F. 2016.  
405 Studying the relationship between on-farm environmental conditions and local meteorological  
406 station data during the summer. *Journal of Dairy Science*, 99, 2169-2179.  
407 <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9795>
- 408
- 409 Silva, E.M.; Assunção, W.L. 2004. O clima na cidade de Uberlândia – MG. *Sociedade &*  
410 *Natureza*, 16, 91-107. <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/9181>.
- 411
- 412 Silva, R.G.; Morais, D.A.E.F.; Guilhermino, M. M.; LaScala Junior, N.; Maia, A. S. C. 2010.  
413 Índices de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em regiões equatoriais secas. *Revista Científica*  
414 *de Produção Animal*, 12, 125-128. <https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n2p125-128>
- 415
- 416 Silva, J.A.R.; Araújo, A.A.; Júnior, J.B.L.; Santos, N.F.A.; Garcia, A.R.; Oliveira, R.P. 2015.  
417 Thermal comfort indices off female Murrah buffaloes reared in the Eastern Amazon.  
418 *International Journal of Biometeorology*, 59, 1261-1267. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0937-y>
- 420
- 421 Souza, R.; Santos, G.T.; Valloto, A.A.; Santos, A.L.; Gasparino, E.; Silva, D.C.; Santos, W.B.R.  
422 2010. Produção e qualidade do leite de vacas da raça Holandesa em função da estação do ano e  
423 ordem de parto. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11, 484-495. ISSN 1519 9940  
424 <https://periodicos.ufba.br/index.php/rbspaindex.php/rbspa/article/view/1494/984>
- 425
- 426 Spain, J.N.; Spiers, D.E. 1996. Effects of supplemental shade on thermoregulatory response of  
427 calves to heat challenge in a hutch environment. *Journal of Dairy Science*, 79, 639–646.  
428 [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76409-3)
- 429

- 430 Stevens D.C. 1981. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. Trans ASAE 24,  
431 151–153. <https://doi.org/10.13031/2013.34215>
- 432
- 433 Thom, E.C. 1959. The discomfort index. Weatherwise, 12, 57-61.  
434 <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- 435
- 436 Tonello, C.I. 2011. Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da  
437 Bovinocultura de Leite. 140f. Maringá, PR. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-  
438 graduação em Zootecnia – Área de Concentração Produção Animal, Universidade Estadual de  
439 Maringá. <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/1643>
- 440
- 441 Vasconcelos, A.M.; Osterno, J.J.; Rogério, M.C.P.; Façanha, D.A.E.; Pinheiro, A.A.; Vieira,  
442 A.L.; Silveira, R.M.F.; Ferreira, J.B. 2019. Adaptive profile of Saanen goats in tropical  
443 conditions. Biological Rhythm Research, 50, 1–11.  
444 <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603691>
- 445
- 446 Vasconcelos, A.M.; Albuquerque, C.C.; Carvalho, J.F.; Façanha, D.A.E.; Lima, F.R.G.; Silveira,  
447 R.M.F.; Ferreira, J. 2020. Adaptive profile of dairy cows in a tropical region. International  
448 Journal of Biometeorology, 64, 105-113. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01797-9>
- 449
- 450 Wang, J.; LI, J.; Wang, F.; Xiao, J. Wang, Y.; Yang, H.; Li, S.; Cao, Z. 2020. Heat Stress on  
451 calves and heifers: a review. Journal of Animal Science and Biotechnology, 11, 1-8.  
452 <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00485-8>
- 453
- 454 Yousef, M.K. 1985. Stress physiology in livestock. Vol.1. Basic principles. (CRC Press: Boca  
455 Raton, FL.), 217p. <https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>
- 456
- 457
- 458
- 459

460 Figura 1: Instalações experimentais do bezerreiro tropical individual ao ar livre da fazenda  
461 Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas  
462 Gerais, Brasil ( $18^{\circ}57'38''$  S;  $48^{\circ}12'16,8''$  W).



463

464 Fonte: Os autores

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480 Tabela 1. Equações dos principais índices de estresse térmico propostos entre 1981 a 2016  
 481 publicados em periódicos americanos e europeus

Índices	Equações	Referência
Índice de Temperatura e Umidade (THI)	$THI = 3,43 + 1,058 \times Tair - 0,293 \times RH + 0,0164 \times Tair \times RH + 35,7$	Berman et al. (2016)
Índice de Temperatura Equivalente (ETI)	$ETI = 27,88 - 0,456Tair + 0,0107547 \times Tair^2 - 0,4905 \times RH + 0,0008 \times RH^2 + 1,1507 \times Ws - 0,126447 \times Ws^2 + 0,019876 \times Tair \times RH - 0,046313 \times Tair \times Ws$	Baêta (1985)
Índice de Globo Negro e Umidade (BGHI)	$BGHI = Tglobe + 0,36 \times Tdp + 41,5$	Buffington et al. (1981)
Índice de Carga Térmica (HLI)	$HLI_{tglobe>25} = 8,62 + (0,38 \times RH) + (1,55 \times Tglobe) - (0,5 \times Ws) + [e^{2,4 \times Ws}]$ $HLI_{tglobe<25} = 10,66 + (0,228 \times RH) + (1,3 \times Tglobe) - Ws$	Gaughan et al. (2008)
Índice de Especificação Ambiental (TCI)	$TCI = 30,114 - 0,1448 \times Tair + 0,52855 \times Ws + 1,067 \times Pv + 0,0198 \times Tglobe$	Silva et al. (2010)
Índice de Conforto Térmico para bovinos de leite (TCIdc)	$TCIdc = 0,6354 \times Tair + 0,6312 \times Tglobe + 0,4438 \times Pv + 0,0310 \times Ws$	Tonello (2011)
Índice de Estresse Ambiental (ESI)	$ESI = 0,63 \times Tair - 0,03 \times RH + 0,002 \times S + 0,0054 (Tair \times RH) - 0,073 (0,1 \times S)^{-1}$	Moran et al. (2001)
Índice de Frequência Respiratória (RRI)	$RRI = 5,4 \times Tair + 0,58 \times RH - 0,63 \times Ws + 0,024 \times S - 110,9$	Eigenberg et al. (2003)
Índice de Estresse Térmico para Vacas (ITSC)	$ITSC = 77,1747 + 4,8327 \times Tair - 34,8189 \times Ws + 1,111 \times Ws^2 + 118,6981 \times Pv - 14,7956 \times Pv^2 - 0,1509 \times ERHL$	Da Silva et al. (2015)

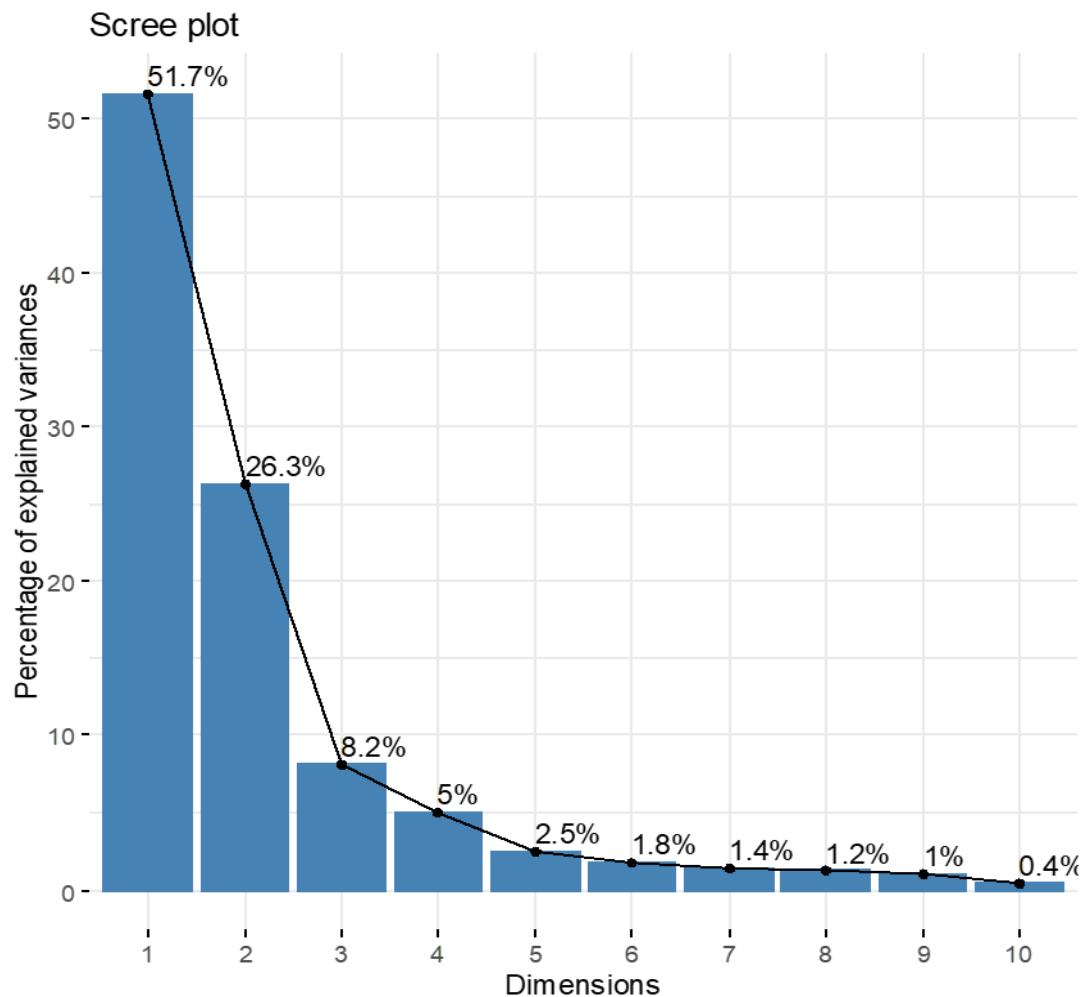
---

Continuação da Tabela 1:

Índice	Climático	$CCI = Tair + [e^{0,00182 \times RH + 1,8 \times 10^{-5} \times Tair \times RH} \times Mader et al. (2010)]$
Compreensível (CCI)		$(0,000054 \times Tair^2 + 0,00192 + Tair - 0,0246) \times (RH - 30)] + [-6,56 \div e^{(1 \div (2,26 \times Ws + 0,23))^{(0,45 \times (2,9 + 1,14 \times 10^{-6}) \times Ws^{2,5} - \log_{0,6}(2,26 \times Ws^{+0,66})^2)}]} - 0,00566 \times Ws^2 + 3,33] + [0,0076 \times S - 0,00002 \times S \times Tair + 0,00005 \times Tair^2 \times \sqrt{S} + 0,1 \times Tair - 2]$

482 Tair: temperatura de bulbo seco, °C; RH: umidade relativa, %; Tdp: temperatura do ponto de  
 483 orvalho, °C; Pv: pressão parcial de vapor, kPa; Tglobe: temperatura do globo, °C; Ws: velocidade  
 484 do vento, m.s<sup>-1</sup>; S: radiação solar, W.m<sup>-2</sup>; ERHL: carga térmica de radiação efetiva

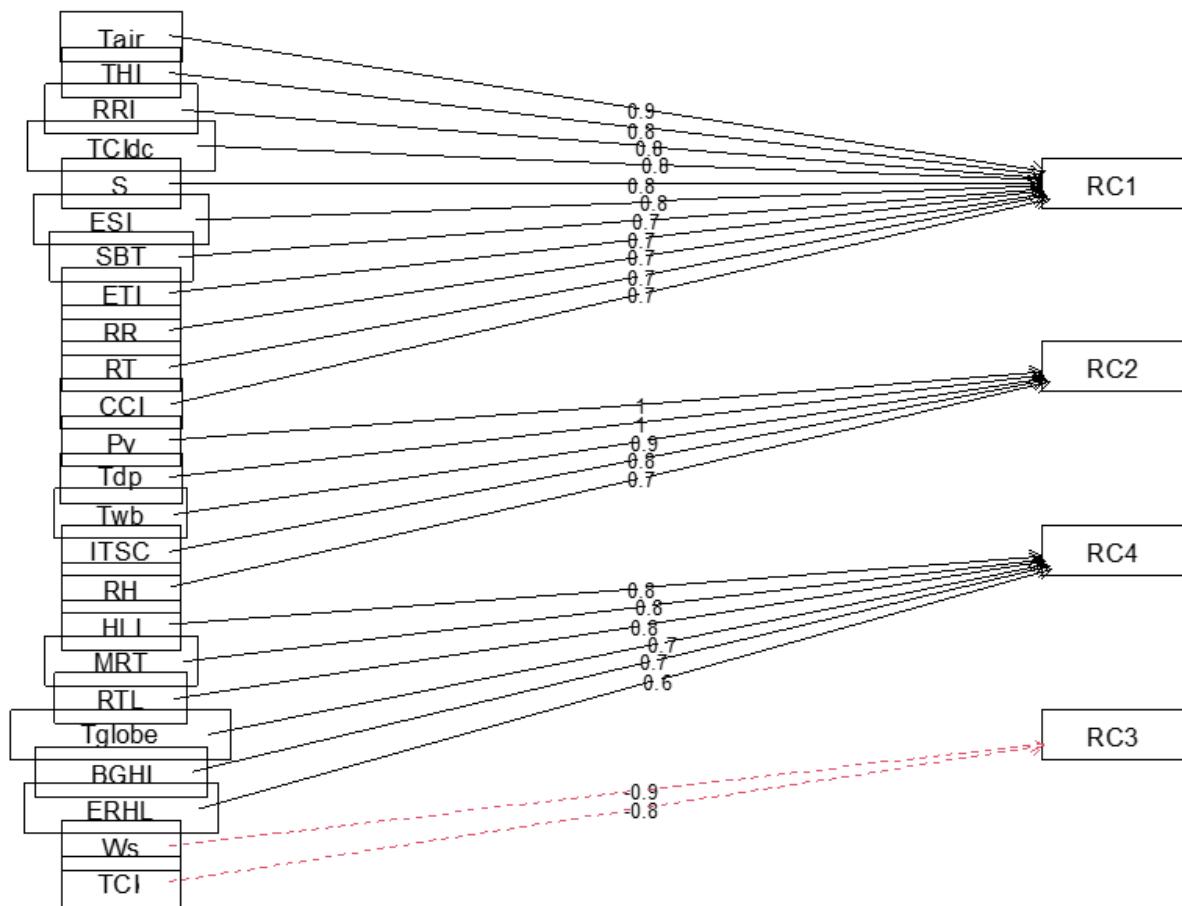
485



486

487 Figura 2. Percentagem de variações explicadas pelos componentes principais da análise  
488 multivariada.

### Components Analysis

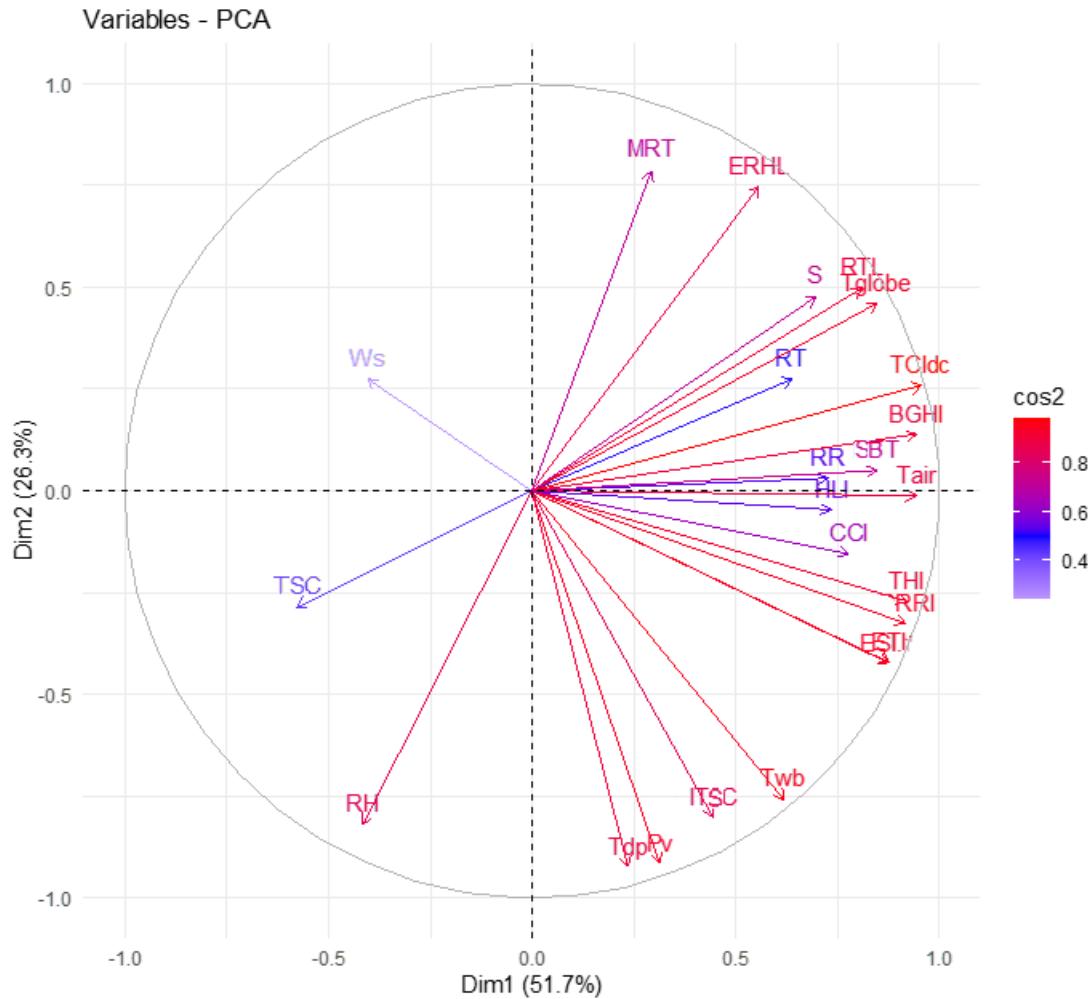


489

490 Figura 3. Variáveis mais associadas em cada componente da análise multivariada.

491

492



493  
 494 Figura 4. Análise dos componentes principais das variáveis em estudo para bezerros mestiços  
 495 leiteiros criados em ambiente tropical. Dim 1: componente principal 1 (51,7%); Dim 2:  
 496 componente principal 2 (26,3%)

497

498

499

500

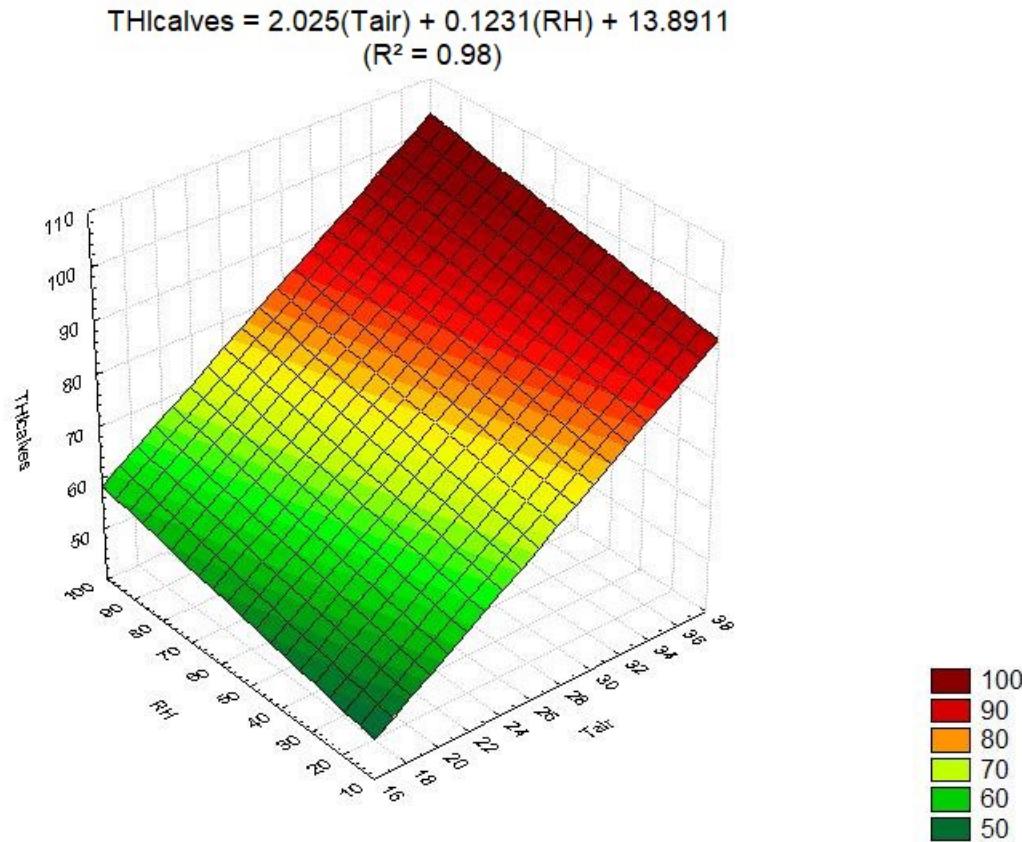
501

502

503

504

505



506

507 Figura 5. Representação gráfica da relação do THI para bezerros mestiços leiteiros com as variáveis  
508 Tair e RH.

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522 Tabela 2. Média e desvio-padrão para variáveis termofisiológicas e do ambiente térmico, e a sua  
 523 relação com as classes de THI para bezerros mestiços leiteiros criados em ambiente tropical

		THI				
		56,0 – 70,0	70,1 – 74,0	74,1 – 76,0	76,1 – 79,0	79,1 – 90,2
		Conforto	Alerta	Estresse Leve	Estresse	Estresse
RR	38,5c±8,0	57,5b±17,7	55,8b±15,2	57,7b±14,2	81,2a±24,4	
RT	38,3b±0,3	39,0a±0,6	39,0a±0,5	39,1a±0,5	39,1a±0,4	
SBT	27,9c±3,2	35,6b±4,0	36,3b±3,4	35,4b±3,7	38,9a±3,3	
Tair	20,2d±1,6	26,4c±1,9	26,7c±1,5	27,7b±1,4	32,0a±1,6	
Tdp	15,5d±4,6	10,7e±8,0	17,8c±6,5	20,5b±3,5	25,4a±1,4	
RH	67,2a±16,0	40,1c±25,7	54,6b±20,4	56,6b±14,3	56,5b±7,2	
Ws	2,4a±1,6	1,3bc±0,7	1,5b±1,5	1,8b±1,6	0,7c±0,8	
S	559,5c±119,5	806,2ab±242,3	844,9ab±165,4	788,0b±178,6	876,1a±129,6	

524 (a,b,c,d,e) Em cada linha, médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey  
 525 ( $p<0.05$ ).

526 RR: frequência respiratória; RT: temperatura retal; SBT: temperatura corporal superficial; Tair:  
 527 temperatura de bulbo seco; Tdp: temperatura do ponto de orvalho; RH: umidade relativa; Ws:  
 528 velocidade do vento; S: radiação solar.

529

530

531

532

533

534

535

536

537

## ANEXOS A – PROTOCOLOS DE REGISTRO NO CEUA-UFU



Universidade Federal de Uberlândia

– Comissão de Ética na Utilização de Animais –



### CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado “Influência das estações do ano no desempenho, parâmetros de termoregulação, perfil bioquímico, hematológico e dos hormônios tireoidianos de bezerros mestiços leiteiros.”, protocolo nº 031/16, sob a responsabilidade de **Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento** – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata, para fins de pesquisa científica – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **APROVADO** pela COMISSÃO DE ÉTICA NA UTILIZAÇÃO DE ANIMAIS (CEUA) da UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, em reunião de **01 de abril de 2016**.

(We certify that the project entitled "Influência das estações do ano no desempenho, parâmetros de termoregulação, perfil bioquímico, hematológico e dos hormônios tireoidianos de bezerros mestiços leiteiros.", protocol 031/16, under the responsibility of Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento - involving the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata, for purposes of scientific research - is in accordance with the provisions of Law nº 11.794, of October 8th, 2008, of Decree nº 6.899 of July 15th, 2009, and the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA) and it was approved for ETHICS COMMISSION ON ANIMAL USE (CEUA) from FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA, in meeting of April 01st, 2016).

Vigência do Projeto	Inicio: 01/06/2016 Término: 31/12/2017
Espécie / Linhagem / Grupos Taxonômicos	Bos taurus e Bos indicus / mestiços
Número de animais	50
Peso / Idade	30-110kg / 1-90 dias
Sexo	Machos e Fêmeas
Origem / Local	Fazenda Experimental do Campus Glória
Número da Autorização SISBIO	-
Atividade(s)	-

Uberlândia, 05 de abril de 2016.

**Prof. Dr. César Augusto Garcia**  
Coordenador da CEUA/UFU



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Comissão de Ética na Utilização de Animais



## CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado “Criação de um novo índice de estresse térmico e efeito das estações do ano e da idade sobre as medidas morfométricas, variáveis termofisiológicas, hematológicas, bioquímicas e hormonais de bezerros leiteiros mestiços.”, protocolo nº 035/21, sob a responsabilidade de Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata, para fins de pesquisa científica – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi APROVADO pela COMISSÃO DE ÉTICA NA UTILIZAÇÃO DE ANIMAIS (CEUA) da UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, em reunião 29 de outubro de 2021.

(We certify that the project entitled “Criação de um novo índice de estresse térmico e efeito das estações do ano e da idade sobre as medidas morfométricas, variáveis termofisiológicas, hematológicas, bioquímicas e hormonais de bezerros leiteiros mestiços” protocol 035/21, under the responsibility of Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento - involving the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata, for purposes of scientific research - is in accordance with the provisions of Law nº 11.794, of October 8th, 2008, of Decree nº 6.899 of July 15th, 2009, and the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA) and it was approved for ETHICS COMMISSION ON ANIMAL USE (CEUA) from FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA, in meeting of october 29th, 2021).

Vigência do Projeto	Inicio: 08/11/2021 Término: 30/09/2022
Espécie / Linhagem / Grupos Taxonômicos	Bovino mestiço
Número de animais	10
Peso / Idade	45 – 110 kg/ 15 – 75 dias
Sexo	Macho e fêmea
Origem / Local	Fazenda Experimental do Campus Glória - UFU.
Local onde serão mantidos os animais:	Fazenda do Glória – UFU

Uberlândia, 02 de novembro de 2021.

**Prof. Dr. Luiz Fernando Moreira Izidoro**  
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
 Comissão de Ética na Utilização de Animais  
 Coordenador da CEUA  
 Portaria R.Nº 1114/2020

## ANEXO B – INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA JOURNAL OF DAIRY RESEARCH

CAMBRIDGE | Instructions for Contributors

### **Journal of Dairy Research**

#### **General**

The *Journal of Dairy Research* publishes original scientific research on all aspects of the biology, wellbeing and technology of lactating animals and the foods they produce. Research Papers report innovative, hypothesis-driven research that is likely to have international impact. Research Communications are shorter and intended primarily for descriptive research and research of regional or technical impact. The Journal also publishes additional categories of Research Reviews and Research Reflections, which may be short review articles, opinion papers or hypothesis-based data-less papers. It also publishes Letters to the Editor, Book Reviews and Editorials. Research Reviews and Editorials are usually by invitation only. These Instructions for Contributors give the important information that applies to all submissions. Further information specific to the additional categories of article is provided in the Annex. Material for publication should be submitted using the online submission system at [www.journalofdairyresearch.org](http://www.journalofdairyresearch.org) where you will also find further details of the *Journal's* scope, advice on preparing your manuscript and access to track your manuscript through Peer Review. If you have been directed to a dedicated submission portal (for a Special Issue, for instance) that is the one to use. Submission of a manuscript will be taken to imply that it reports original unpublished work that it is not under consideration elsewhere and that if accepted by the *Journal* it will not be published elsewhere in any language without the consent of the Editors. You will be asked to confirm that you accept these conditions. Your manuscript will be peer reviewed. If it is accepted for publication you will be asked to assign the copyright, under certain conditions, to the *Journal* to help protect your material. Although it is not a formal requirement, authors of submitted manuscripts are strongly encouraged to participate in the Peer Reviewing of other submissions.

#### **Submission of manuscripts**

Submission is online via [www.journalofdairyresearch.org](http://www.journalofdairyresearch.org). You should first consult the online guidance and these Instructions for Contributors to ensure that your manuscript is prepared in accordance with the *Journal's* requirements. You must submit the manuscript as a single Word document that incorporates all the tables and figures that are essential to the understanding of the research and its conclusions. If we subsequently require higher quality original files of figures or images we will ask you for them. When you submit the manuscript you take responsibility for all subsequent correspondence relating to the manuscript and, if deemed acceptable, the published paper, and the manuscript must identify you as Corresponding Author. You will also normally be required to submit a Supplementary File that provides the methodological detail required for repetition as well as data and other information that corroborate the conclusions without being essential to them.

#### **Journal Scope**

The *Journal's* ability to cover the entire dairy foods chain is a major strength. The remit spans from animal nutritional aspects of feed input through the biology of lactating animals and the mammary gland to milk quality, technological aspects of processed dairy products and healthy nutrition for the consumer. The focus is on dairy species, but we also welcome comparative research related to human lactation and lactation in non-dairy animal species. The *Journal* does not categorize published articles by topic. Each issue will follow the dairy foods chain, starting with feeding-related research and ending with consumer-related.

#### **Types of manuscript and general considerations**

In the original research category the *Journal* publishes submitted Research Papers and Research Communications. Research Papers report innovative hypothesis-driven research of international impact and will not normally be appropriate for research that is purely descriptive. Research Communications are shorter. In addition to international impact research, Research Communications can also report descriptive studies of regional or technical interest. Within the *Journal* there is no categorization of original research by article type, which must be briefly stated in the first line of the Abstract. Page limits apply to all types of manuscript. These are reported as Text Equivalents (TEQ) where one word is one TEQ and each figure or table is 250 TEQ. Research Papers should be no longer than around 6000 TEQ and should include only figures, tables and reference citations that are essential to the understanding of the research objectives. Research

Communications should be no longer than around 2500 TEQ and should include only one or two tables or figures and a maximum of around 10 citations. Manuscripts that exceed these recommendations will be returned for revision. The *Journal* places great emphasis on conciseness, and strongly encourages the use of a Supplementary File to ensure that the article is focused and succinct. Authors who choose not to include a Supplementary File will be asked to justify that decision.

### **Reviews and Editorials**

These are invited, and separate guidance will be provided with the invitation. The Editors are always interested to receive suggestions for topics, with or without possible authors.

### **Other Materials**

Separate information is provided in an Annex for submission of Research Reviews, Research Reflections (mini-reviews, opinion papers, hypothesis-only papers), Letters to the Editor, Book Reviews and Editorials.

### **General style of all manuscripts**

Please consult the online guidance and refer to a recent issue to familiarize yourself with *Journal* conventions and layout. Attention to these and other details will speed publication. Manuscripts should be written in UK English using the spelling of the Concise Oxford Dictionary and should as far as possible be comprehensible to the non-specialist reader. They should be concise and focused on the scientific hypothesis and objectives. Research Papers and Research Communications must be completely comprehensible without reference to any Supplementary File; what was done and what was found must be fully apparent. However, the detailed methodological descriptions or cited methodologies required to allow repetition must be given in the Supplementary File, and not in the manuscript. Similarly, data that is methodological (eg tabular description of a diet) or that is supportive of the conclusions without being essential to them must be given in the Supplementary File. Formatting should include double spaced and consecutively numbered lines, standard margins and an appropriate font of appropriate size. Do not hyphenate words at the end of a line unless a hyphen is to appear in the printed text.

### **Layout of Research Paper manuscripts**

The manuscript should generally be divided as follows:

- Cover sheet should give the title of the article, names of the authors each with one forename together with their affiliations, a shortened version of the title suitable as a heading, and the name and email of the author to whom correspondence and proofs should be sent.
- Abstract, preferably not more than 300 words, should encapsulate the whole paper, showing clearly the new knowledge acquired. The first line of the summary should identify the article as a Research Paper and present the objectives, preferably in the form of a hypothesis (eg *This Research Paper addresses the hypothesis that...*). Without using separate sections, the Abstract should briefly explain what was done, why it was done, how it was done and what was found. Results and conclusions should be clearly stated, but the Abstract should not contain individual data values unless this is essential to the conclusions.
- **Keywords:** up to 5 keywords must be supplied
- Introduction should not have a heading. It should not contain a full review of the literature, but should help the non-specialist to understand why the subject of enquiry is interesting or important, why the authors have chosen the approach described and what the likely impact of the research will be. The objectives must be clearly stated, preferably in the form of a hypothesis.
- Materials and Methods section should be sufficiently informative to allow the reader to understand what was done, but should not contain the detail needed to allow repetition (this should be given in the Supplementary File). Proper reference must be made to the Supplementary Materials and Methods.
- Results should be as concise as possible, without repetition or inclusion of irrelevant material. Tables and illustrations should be used efficiently. All data reported must directly relate to the understanding of the research objectives and conclusions. Supporting or confirmatory data that corroborate the conclusions without being essential to them should be presented separately as part of the Supplementary File. Proper reference must be made to this Supplementary Data.

- Discussion should not repeat the results but discuss their significance. Refer to existing or accepted knowledge in the present tense and the authors' work in the past tense; the difference in tense should clearly show the authors' contribution. A separate conclusion is not necessary but authors should summarize their main conclusions briefly at the end of the Discussion. A combined Results and Discussion is acceptable but not preferred.
- Acknowledgements of financial support, technical assistance and so on are given in a separate paragraph. It is the responsibility of the authors to ensure that individuals or organizations acknowledged as providing materials or otherwise are willing to be identified.
- References must be consistent and must use the style described below.
- Tables and table legends, following the style described below.
- Figure legends sufficient to allow the figure to be understood without reference to the text
- Figures should be produced using an editable software and copied into the Word document.

Please remember that the complete manuscript should be submitted as a single document.

### **Layout of submitted Research Communication manuscripts**

In general, follow the same format and layout as for a Research Paper. The introduction will typically be shorter and the results and discussion are more likely to be combined into one section. The number of citations will be less, and presentation of data should be restricted to one or two figures and tables. Use of a Supplementary File for the presentation of supporting data is normally a requirement. The Abstract should start with a sentence clearly identifying the article type and presenting the objectives (eg *This Research Communication describes....*)

### **References**

Refer to a recent issue and ensure that your reference citations comply with *Journal* style. References should be given in the text as Brown & Jones (1987) or (Schmidt, 1985; Nakamura et al. 1989); the first author with *et al.* is used for papers with three or more authors. Where necessary, papers are distinguished as Lenoir (1988a), (Litov et al. 1990a, b). When several references appear together in the text, cite them in chronological order, and alphabetically within years. The Reference list at the end of the paper, which should begin on a fresh page, is given in strict alphabetical order and uses the minimum of punctuation. Each reference should contain authors' names, with initials (in capitals), the year, the title of the paper, the name of the journal in full, the volume and the page range. Titles of articles originally published in another language should be given in English translation, and this indicated by the use of square brackets. References to books should include the town of publication and the publisher, with editor(s) and volume and edition number where appropriate. Unpublished work should be given in the text (use authors' initials and surname) and not in the Reference list. You are reminded that it is your responsibility to check all references.

### **Data presentation**

Choose the most economical form of data presentation, remembering that this could include data presented briefly in the text. All data included in the manuscript must directly relate to the hypothesis or objectives and be essential to establish the conclusions. Confirmatory or supportive data that corroborate the conclusions should not be given in the manuscript, but as part of the Supplementary File. For investigative research, avoid including in the main text large tables and figures that are comprised mainly of data that do not differ significantly between treatments. For descriptive research, use the Supplementary File for all apart from the most important observations.

### **Tables**

Tables should be numbered and carry headings enabling them to be understood without reference to the main text. Any abbreviations should be defined. Each Table should be typed separately at the end of the main text, but their approximate position should be indicated by a marginal mark (eg *Table 1 near here*). Symbols for footnotes should avoid use of \*, \*\*, etc, which should be used to indicate levels of significance. Additional Tables given in the Supplementary File should follow the same conventions and should be numbered Supplementary Table S1, S2 etc. Ensure that the manuscript includes proper reference to each Supplementary Table.

## **Figures and Illustrations**

Figures should be numbered and the combination of figure and legend should be comprehensible without reference to the main text. Figures must be prepared using an editable file format and then copied into the Word document. Data points should be indicated by clearly distinguishable symbols. Illustrations such as photographic images should be accompanied by a legend as above, with scale bars if appropriate. Additional Figures given in the Supplementary File should follow the same conventions and should be numbered Supplementary Figure S1, S2 etc. Ensure that the manuscript includes proper reference to each Supplementary Figure. Colour figures and artwork submitted to the *Journal* as part of the manuscript will be published online free of charge. If you request colour figures in the printed version, you will be contacted by CCC-Rightslink who are acting on our behalf to collect Author Charges. Please follow their instructions in order to avoid any delay in the publication of your article.

## **Colour reproduction**

To optimize the online colour reproduction, you will be given the opportunity to submit a colour graphic as either TIFF or EPS file, together with further instructions. It is your responsibility to ensure that any figures provided for colour online will reproduce well when converted to black and white for the print version.

## **Statistical treatment**

Authors should, where possible, discuss their work with a statistician at an early stage and give attention to sample size. Individual results should not normally be given. The methods of statistical analysis should be clearly described; a suitable reference is adequate. Authors should make it clear whether they are quoting SED, SEM, SD, SE and so on. Any statement that two groups of values are different should be supported by the level of significance involved. Differences should not be claimed or implied if  $P > 0.05$ .

## **Gene Sequences**

Original DNA sequences reported in the *Journal* must also be submitted to GenBank. Instructions can be found at <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/index.html>

## **Ethics of experiments**

All research published in the *Journal* must comply with the locally-applicable ethical legislation or codes for animal or human research, and there must be a clear statement detailing that compliance.

## **Units**

SI and commonly-used non-SI metric units should be used whenever possible. Solutions may be reported in terms of molarity (M) or as mol/l, providing there is consistency and no ambiguity. Give compositions based on mass or volume as (e.g.) mg/l or mg/kg and not percentage. Report as part of the Supplementary File all details of buffers etc that would be required for repetition. Normality should not be used.

## **Microorganisms**

The organism should be described unambiguously, with genus, species and subspecies (if any) in italic and strain number or source in roman. Usage should conform to current international rules. Shortened forms or synonyms may be used after the first mention if desired.

## **Chemical formulae**

These should be unambiguous. It is permissible but not required to use symbols for inorganic formulae.

## **Enzymes**

The recommendations of the International Union of Biochemistry (*Enzyme Nomenclature*, 1984, London: Academic Press) should be followed, and the EC number given where known.

## **Other nomenclature, symbols, abbreviations and conventions**

Authors should consult a current issue for guidance. Useful information on biochemical nomenclature and permitted acronyms can be found in *Biochemical Journal* 169, 11-14 and on nutrient nomenclature in the *British Journal of Nutrition*. If authors use other abbreviations or acronyms, they should be defined at first mention, and their number restricted to ensure that the text is readable. Always use Arabic numerals with units; otherwise use words for 1-10 and figures for more than 10, (e.g. 3 weeks, three cows, 34 sheep) but avoid mixed lists. Time should be given by the 24 h clock, e.g. 14.15, without h or hours.

## ANEXO C – INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA LIVESTOCK SCIENCE



### Livestock Science

Supports open access

3.6

CiteScore

1.8

Impact Factor

Submit your article

Guide for authors

Menu



Search in this journal

### Guide for authors

#### Introduction

- Types of article
- Contact details for submission
- Submission checklist

#### Before you begin

- Ethics in publishing
- Studies in humans and animals
- Declaration of interest
- Declaration of generative AI in scientific writing
- Submission declaration and verification
- Preprint posting on SSRN
- Use of inclusive language
- Reporting sex- and gender-based analyses
- Author contributions
- Changes to authorship

## Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

### Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

*Manuscript:*

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

*Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)*

*Supplemental files (where applicable)*

### Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our Support Center.

## Article structure

Manuscripts should have numbered lines, with wide margins and double spacing throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc., should be numbered. However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections. Avoid excessive usage of italics to emphasise part of the text.

Manuscripts in general should be organised in the following order:

- Title should be clear, descriptive and not too long
- Abstract
- Keywords (indexing terms)
- Introduction
- Material studied, area descriptions, methods, techniques
- Results
- Discussion
- Conclusion
- Acknowledgment and any additional information concerning research grants, and so on
- References
- Figure captions
- Figures (separate file(s))
- Tables (separate file(s))

Pdf-files for text and tables cannot be used for production purposes. You are kindly requested to upload the text pages and references as a word processor file (Word, Wordperfect, Open Office, rtf). Line numbers are mandatory for the text file. The tables can be part of this file or can be uploaded as one or more separate files. Tables can also be uploaded as separate spreadsheet files. Line numbers are not needed on pages with tables or figures.

## Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

## Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the example Highlights.

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

## **Abstract**

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

The abstract should not be longer than 400 words.

## **Graphical abstract**

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 x 1328 pixels (h x w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 x 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view Example Graphical Abstracts on our information site.

## **Keywords**

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

## **Formatting of funding sources**

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

**Funding:** This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant

number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, it is recommended to include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

#### ***Nomenclature and units***

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult

IUB: Biochemical Nomenclature and Related Documents for further information.

Authors and Editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature, the International Code of Nomenclature of Bacteria, and the International Code of Zoological Nomenclature.

All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.

#### ***Math formulae***

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

### **Reference style**

**Text:** All citations in the text should refer to:

1. **Single author:** the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. **Two authors:** both authors' names and the year of publication;
3. **Three or more authors:** first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999)....

Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

**List:** References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

**Examples:**

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith , R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-

Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK.

<http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/>  
(accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference to software:

Coon, E., Berndt, M., Jan, A., Svyatsky, D., Atchley, A., Kikinzon, E., Harp, D., Manzini, G., Shelef, E., Lipnikov, K., Garimella, R., Xu, C., Moulton, D., Karra, S., Painter, S., Jafarov, E., & Molins, S., 2020. Advanced Terrestrial Simulator (ATS) v0.88 (Version 0.88). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3727209>.