

Índices de estresse térmico para touros jovens nelore criados em ambiente tropical

Thermal Stress Indices in Young Nellore Bulls Raised in Tropical Environments

Andressa Alves Storti¹, Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento²,
Carina Ubirajara de Faria² & Natascha Almeida Marques da Silva²

ABSTRACT

Background: Thermal stress indices are important in predicting and choosing means for mitigating heat stress and defining critical environmental conditions for animal welfare and performance. The aim of this study was to determine the association between 16 thermal stress indices and thermophysiological variables in young Nellore bulls raised in a tropical pasture to determine the most effective parameter of heat stress to assist in the management of the thermal environment and animal welfare.

Materials, Methods & Results: Seventy-eight young Nellore bulls (*Bos taurus indicus*), with a mean age of 10.5 months and mean body weight of 242.09 ± 32.17 kg at first collection, and 17.92 months and body weight 335.80 ± 39.02 kg at last collection, were used. During the experimental period, rectal temperature (RT) and surface temperature at the forehead, scapula, and groin, from which the average surface temperature (AST) was calculated, were measured. The difference between the AST and air temperature (i.e., $AST - AT$) and between the RT and AST (i.e., $RT - AST$) defined the thermal gradient. For the evaluation of thermal environment, the dry bulb, wet bulb, and globe temperatures, and wind speed were measured. Relative humidity, mean radiant temperature, solar radiation, temperature humidity index (THI), black globe temperature humidity index (BGHI), equivalent temperature index (ETI), environmental stress index (ESI), respiratory rate predictor (PRR), heat load index (HLI), comprehensive climate index (CCI), and index of thermal stress for cows (ITSC) were calculated. The average and maximum air temperatures were above thermal comfort levels, while the average relative humidity was within the ideal limit for cattle. The average globe temperature was higher than the air temperature. Solar radiation presented very high values and wind speeds were very low. RT indicated normothermia in the cattle, and AST and thermal gradient (i.e., $AST - AT$) indicated thermal comfort. The 16 thermal stress indices demonstrated a significant positive and moderate correlation with AST, but were not significantly correlated with RT.

Discussion: The average (28.14°C) and maximum (31.90°C) air temperatures indicated discomfort, since the ideal temperature for cattle is $\leq 27^{\circ}\text{C}$. The high thermal load of this region can contribute to poor animal welfare, thus requiring the provision of natural or artificial shade for pasture farming. The cattle in this study were in thermal equilibrium given that they maintained RT within the normal range, and the maximum limit was higher. If RT is maintained within physiological limits, the mechanisms of thermoregulation are able to eliminate excess heat (i.e., thermolysis is equivalent to thermogenesis). The AST was 5.4°C below the RT. It is important to note that deep body temperature (i.e., RT) is more stable than the surface body temperature, which is influenced by ambient temperature. Considering that there was no correlation between thermal stress indices and RT, and that the cattle were able to maintain RT within physiological limits, the Nellore bulls in this study were adapted to the environment. The thermal stress indices evaluated in this study adequately reflected heat stress in young Nellore bulls raised in pastures in a tropical environment. Surface temperature was the physiological parameter that responded most significantly to environmental conditions.

Keywords: bovine, body surface temperature, beef cattle, thermal index.

Descritores: bovino, temperatura superficial corporal, gado de corte, índice térmico.

DOI: 10.22456/1679-9216.93605

Received: 4 March 2019

Accepted: 12 June 2019

Published: 2 July 2019

¹Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, ²Faculdade de Medicina Veterinária (FAMEV), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, Brazil. Correspondence: A.A. Storti [andressastorti_vet@hotmail.com - Tel.: +55 (34) 2512-6811]. Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias - UFU. Rodovia BR050 Km 78 . Campus Glória. CEP 38410-337 Uberlândia MG, Brazil.

INTRODUÇÃO

Os índices de estresse térmico predizem os efeitos biológicos da temperatura do ar elevada e seu consequente impacto [19], auxiliam na escolha dos meios de mitigação dos seus efeitos deletérios e determinam os períodos que essas medidas devem ser implementadas [3]. Portanto, é necessário um índice para definir condições ambientais críticas para o bem-estar e desempenho animal [3].

O índice mais utilizado é o Índice de Temperatura e Umidade (ITU). Das suas várias equações existentes a mais recente é a do ITU-calor sensível, considerado como um indicador preciso para várias condições meteorológicas [3]. Além deste, existem outros índices que consideram a radiação solar e a velocidade do vento, como o Índice Climático Compreensivo (ICC) [23] e o Índice de Carga Térmica (ICT) [18].

Bovinos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*), importados da Índia para o Brasil [11], desenvolveram características adaptativas ao ambiente natural e aos sistemas de produção específicos [10].

A adaptabilidade fisiológica foi considerada a principal resposta dos animais sob estresse térmico para auxiliar na homeotermia [30]. Dois indicadores para avaliar o estresse por calor são as temperaturas retal [41] e de superfície [29].

Assim, objetivou-se determinar a associação entre dezesseis índices de estresse térmico com as variáveis termofisiológicas de touros jovens da raça Nelore criados a pasto em ambiente tropical, com a finalidade de indicar o mais adequado em expressar o efeito do estresse por calor e auxiliar o produtor no gerenciamento do ambiente térmico e do bem-estar animal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local

O estudo foi realizado na fazenda experimental Capim Branco, da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Situada na latitude 18° 56' 38" Sul, longitude 48° 18' 39" oeste e altitude média de 865 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima local é Aw (Clima tropical, com inverno seco). Nesta região o mês com maior média de precipitação é dezembro (318,9 mm) depois é janeiro (311,6 mm) e os menores são junho e agosto (15,3 mm)

e julho (8,7 mm) [32]. Este estudo ocorreu de agosto a dezembro de 2015 e fevereiro e abril de 2016.

Animais

Foram utilizados 78 touros jovens da raça Nelore (*Bos taurus indicus*), participantes da V Prova de Desempenho Individual de Touros Nelore, UFU. Os animais eram provenientes de propriedades localizadas nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso, registrados pela Associação Brasileira dos Criadores de Zebu (ABCZ), na categoria puro de origem (PO). A idade média na primeira coleta foi de 10,5 meses, com massa corporal de $242,09 \pm 32,17$ kg e a idade na última coleta foi de 17,92 meses e massa corporal de $335,80 \pm 39,02$ kg. Durante a prova foram mantidos em uma área de 16 hectares, constituída de pastagens de *Urochloa sp syn. Brachiaria*, recebendo suplementação mineral e água ad libitum.

Avaliação das variáveis termofisiológicas

A temperatura retal (TR) foi medida com o auxílio de um termômetro clínico digital¹ (com escala até 44°C), o qual permaneceu na mucosa do reto por dois minutos, na profundidade de 5 cm. A temperatura de superfície foi medida com o termômetro de infravermelho digital portátil e emissividade de 0,95 (DT 8530)², a uma distância de 5 cm do animal, na frente, na escápula e na virilha, em seguida foi calculada a temperatura de superfície média (TSM) [16]. Calculou-se, ainda, a diferença entre a temperatura de superfície média e a do ar (TSM-TA) e a diferença entre a temperatura retal e a de superfície média (TR - TSM), constituindo os gradientes térmicos.

Avaliação das variáveis do ambiente térmico

As temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo negro foram medidas pelo termômetro de globo IBUTG (TGM-200)³ (na sombra) e a velocidade do vento pelo anemômetro⁴ (AD-250). A umidade relativa e a pressão parcial de vapor foram calculadas de acordo com Silva [31]. Em seguida calculou-se a temperatura radiante média [33] e a radiação solar [35].

Noves Índices de Temperatura e Umidade, Índice de Globo Negro e Umidade (IGNU), Índice de Temperatura Equivalente (ITE), Índice de Estresse Ambiental (IEA), Índice de Frequência Respiratória (IFR), Índice de Carga Térmica, Índice Climático Compreensivo e o Índice de Estresse Térmico para vacas foram (IETV) calculados (Tabela 1).

Tabela 1. Índices de estresse térmico calculados.

Índice	Referências
Índice de Temperatura e Umidade 1	Thom [38]
Índice de Temperatura e Umidade 2 e 3	Bianca [5]
Índice de Temperatura e Umidade 4, 5 e 6	NRC [27]
Índice de Temperatura e Umidade 7	Yousef [40]
Índice de Temperatura e Umidade 8	Mader <i>et al.</i> [22]
Índice de Temperatura e Umidade 9	Berman <i>et al.</i> [3]
Índice de Globo negro e Umidade	Buffington <i>et al.</i> [7]
Índice de Temperatura Equivalente	Baeta <i>et al.</i> [1]
Índice de Estresse Ambiental	Moran <i>et al.</i> [25]
Índice de Frequência Respiratória	Eigenberg <i>et al.</i> [13,14]
Índice de Carga Térmica 1	Gaughan [17]
Índice de Carga Térmica 2	Gaughan <i>et al.</i> [18]
Índice Climático Compreensivo	Mader <i>et al.</i> [23]
Índice de Estresse Térmico para vacas	Silva <i>et al.</i> [34]

Análise estatística

As correlações estatísticas foram feitas no programa SAEG versão 9.1. Como os dados não atenderam os pressupostos de normalidade (teste de Lilliefors), então, foi feita a análise de correlação não-paramétrica de Spearman entre as variáveis termofisiológicas e os Índices de estresse térmico. Considerou-se significância de 5%.

RESULTADOS

As temperaturas do ar média e máxima estiveram acima do conforto térmico, já a umidade relativa média esteve dentro do limite ideal para bovinos (Tabela 2). A temperatura média do globo negro esteve acima da temperatura do ar. A temperatura radiante média, ao

ser convertida para graus Celsius, apresentou um valor de 30,41°C, superior a temperatura do ar. A radiação solar apresentou valores muito altos, enquanto que a velocidade do vento muito baixos.

Os valores médios da temperatura retal indicaram normotermia para bovinos. A diferença entre as temperaturas retal média e de superfície média foi de 5,40°C (Tabela 2). A temperatura de superfície média e o gradiente térmico (TSM - Ta) indicaram situação de conforto térmico.

Os dezesseis índices de estresse térmico apresentaram correlação significativa, positiva e moderada com a temperatura superficial média, e não significativa com a temperatura retal (Tabelas 3 e 4).

Tabela 2. Valor médio, máximo e mínimo das variáveis do ambiente térmico e termofisiológicas de touros jovens Nelore em agosto e dezembro de 2015 e fevereiro e abril de 2016, Uberlândia, MG.

Variável	Média	Máximo	Mínimo
Temperatura do ar (°C)	28,14	31,90	22,90
Umidade relativa (%)	68,80	94,21	33,59
Temperatura do globo negro (°C)	29,21	33,00	23,30
Temperatura Radiante Média (K)	303,55	316,00	296,45
Radiação solar (W.m ⁻²)	804,09	1089,74	385,75
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	0,34	3,60	0,00
Temperatura retal (°C)	39,20	40,80	38,00
Temperatura de superfície média (°C)	33,80	36,47	30,00
TR - TSM (°C)	5,40	9,30	2,53
TSM - Ta (°C)	5,66	11,37	0,00

°C (graus Celsius); K (Kelvin); W.m⁻² (Watts por metro quadrado); m.s⁻¹ (metros por s); TR - TSM (gradiente (diferença) entre a temperatura retal e a temperatura de superfície média) e TSM - Ta (gradiente (diferença) entre a temperatura de superfície média e a temperatura do ar).

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Spearman entre os Índices de Temperatura e Umidade (ITUs) e a variáveis termofisiológicas de touros jovens Nelore em agosto e dezembro de 2015 e fevereiro e abril de 2016.

Variável	TR	TSM
Índice de Temperatura e Umidade 1	- 0,013 ^{ns}	0,539*
Índice de Temperatura e Umidade 2	- 0,014 ^{ns}	0,509*
Índice de Temperatura e Umidade 3	- 0,014 ^{ns}	0,527*
Índice de Temperatura e Umidade 4	- 0,013 ^{ns}	0,539*
Índice de Temperatura e Umidade 5	- 0,016 ^{ns}	0,535*
Índice de Temperatura e Umidade 6	- 0,012 ^{ns}	0,539*
Índice de Temperatura e Umidade 7	- 0,013 ^{ns}	0,540*
Índice de Temperatura e Umidade 8	- 0,016 ^{ns}	0,534*
Índice de Temperatura e Umidade 9	- 0,017 ^{ns}	0,534*

TR (temperatura retal) e TSM (temperatura de superfície média). * $P < 0,01$; ns= não significativo.

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Spearman entre índices de estresse térmico e as variáveis termofisiológicas de touros jovens Nelore em agosto e dezembro de 2015 e fevereiro e abril de 2016.

Variável	TR	TSM
Índice de Globo negro e Umidade	- 0,020 ^{ns}	0,504*
Índice de Temperatura Equivalente	- 0,009 ^{ns}	0,528*
Índice de Estresse Ambiental	- 0,035 ^{ns}	0,497*
Índice de Frequência Respiratória	- 0,048 ^{ns}	0,457*
Índice de Carga Térmica 1	- 0,084 ^{ns}	0,423*
Índice de Carga Térmica 2	- 0,034 ^{ns}	0,416*
Índice Climático Compreensivo	- 0,0079 ^{ns}	0,410*
Índice de Estresse Térmico para vacas	0,007 ^{ns}	0,466*

TR (temperatura retal) e TSM (temperatura de superfície média). * $P < 0,01$; ns= não significativo.

DISCUSSÃO

Um importante desafio que a humanidade enfrenta neste século é a mudança climática, que é definida como o desequilíbrio da temperatura, vento e chuva de uma região específica a longo prazo [4]. O ambiente térmico desfavorável pode influenciar negativamente o bem-estar e o desempenho produtivo dos bovinos.

Em clima temperado o desconforto térmico ocorre principalmente no verão, já em ambiente tropical, todos os meses do ano é caracterizado por elevadas temperaturas e intensa radiação solar. Esta condição quente e carga térmica elevada podem comprometer a dissipação de calor, e muitas vezes, poderá ocorrer ganho de energia por radiação, e portanto, comprometer o equilíbrio térmico.

As temperaturas do ar média (28,14°C) e máxima (31,90°C) indicaram situação de desconforto, pois conforme Cardoso *et al.* [8] para bovinos o conforto térmico é até 27°C. No entanto, é preciso mais estudos para determinar a temperatura crítica superior para bovinos da raça Nelore, que são bem adaptados ao ambiente quente. Dessa forma, é necessário destacar que estes bovinos sob temperatura do ar média de 27°C provavelmente mantém o equilíbrio térmico sem mudanças na produção de calor metabólico ou ativação da dissipação de calor evaporativo. Por outro lado, em ambiente tropical a carga térmica elevada pode contribuir para o pior bem-estar animal, necessitando

assim, para a criação a pasto, prover sombras naturais ou artificiais, e para animais confinados em piquetes, além da sombra, escolher materiais construtivos mais adequados, ou até mesmo verificar a necessidade de se usar algum tipo de sistema de resfriamento. A umidade relativa se manteve dentro da faixa ideal que se situa entre 50 e 70% [2].

Mesmo estando na sombra o termômetro de globo registrou valores superiores à temperatura do ar, mostrando a ação da radiação indireta. Portanto, demonstra que os animais neste ambiente podem ganhar energia por este mecanismo. A radiação solar média esteve acima de 800 W.m⁻², considerada alta [21], o que pode ter contribuído para um valor maior da temperatura radiante média. A radiação solar é o fator que mais interfere na criação de bovinos, principalmente em regiões tropicais, pois ela amplifica os efeitos negativos de ambientes com altas temperaturas [34].

A velocidade do vento é um dos fatores que auxilia na dissipação de calor corporal para o ambiente [28]. Além disso, facilita a termólise convectiva e ameniza a sensação de calor imposta por temperatura ambiente elevada [15], ou seja, melhora a sensação térmica.

Os bovinos neste estudo estavam em equilíbrio térmico uma vez que, mantiveram a temperatura média retal dentro da faixa de normalidade [17,23], já o valor máximo esteve acima. Se a temperatura retal se mantém no padrão fisiológico, isso significa que

os mecanismos de termorregulação são capazes de eliminar o excesso de calor, ou seja a termólise foi equivalente a termogênese [9].

A principal fonte de calor endógeno em bovinos é pelos processos metabólicos, que somado ao térmico (radiação solar) e mecânico (exercício físico) geram o estoque total de energia. Apesar da radiação solar ter sido elevada, os animais se mostraram bem adaptados ao ambiente de criação. Uma das adaptações importantes do gado Nelore é a superfície cutânea com pelo branco, curto e denso, coberta com pele altamente pigmentada [12]. O pelame branco reflete a radiação infravermelha que é calorífica favorecendo o equilíbrio térmico, uma vez que reduz o calor ganho do ambiente e a pele pigmentada retém a radiação ultravioleta, que em excesso pode ser cancerígena.

Neste estudo a temperatura de superfície média foi 5,4 °C abaixo da temperatura retal. A menor temperatura da superfície em comparação a retal indica que existe um fluxo de energia do interior do corpo para a superfície auxiliando na perda de calor sensível. É importante destacar que a temperatura corporal profunda, ou seja, a temperatura retal, é mais estável que a temperatura corporal superficial que sofre influência da temperatura ambiente.

A diferença entre a temperatura superficial média e temperatura do ar foi de 5,66°C, e indica maior dissipação de calor para o ambiente uma vez que quanto maior for este gradiente térmico, maior é a perda de calor por convecção [37]. Assim, a eficácia da perda de calor sensível aumenta à medida em que a temperatura ambiente diminui, isso ocorre em função do maior gradiente entre a temperatura do ar e a superfície do animal [36]. A temperatura corporal superficial é influenciada pela temperatura ambiente e é menos estável que a temperatura corporal profunda, como a temperatura retal.

Os bovinos estão expostos a diversos elementos do ambiente térmico, tais como, temperatura, umidade, radiação solar, vento e precipitação [6]. Como forma de avaliar quantitativamente o estresse térmico imposto aos animais, muitos índices térmicos relacionados foram desenvolvidos, e todos se mostraram capazes de avaliar de forma aceitável os níveis de estresse térmico [39]. Os diferentes índices de estresse térmico combinam distintos fatores ambientais [6], entretanto seu uso é limitado pela pobre

disponibilidade de dados meteorológicos. Além disso, diferenças entre raças de bovinos, métodos de pesquisa e de ênfases na investigação (para não mencionar o tipo de clima) frequentemente levarão a resultados diferentes, dependendo de qual índice específico é aplicado [42]. A temperatura ambiente é representada de forma uniforme em todas as equações dos Índices de Temperatura e Umidade, porém a representação da umidade varia entre as diferentes expressões [3], algumas utilizam a temperatura do ponto de orvalho, outras a umidade relativa ou a temperatura de bulbo úmido. O conteúdo de vapor de água é importante porque tem um impacto sobre a taxa de perda evaporativa através da pele e pulmões [6]. Sob ambiente quente, a quantidade de vapor de água no ar se torna um elemento importante na manutenção da homeotermia [6] uma vez que dificulta o mecanismo por evaporação quando sob elevada temperatura combinado com alta umidade do ar.

Muitos estudos sobre os efeitos do estresse por calor sobre a produção e reprodução dos bovinos dão ênfase principalmente na temperatura e umidade do ar [6]. Isto ocorre porque dados de radiação térmica, por exemplo, muitas vezes não estão disponíveis publicamente [6]. Por outro lado, dados de temperatura e umidade do ar podem ser facilmente medidos na fazenda ou obtidos em estações meteorológicas.

Ao considerar que não houve correlação entre os índices de estresse térmico com a temperatura retal, e ainda considerando que os bovinos foram capazes de manter sua temperatura retal dentro dos limites fisiológicos, os touros Nelore neste estudo mostraram-se adaptados ao ambiente. Outros estudos, no entanto, verificaram que com o aumento do Índice de Temperatura e Umidade há um aumento na temperatura retal [9,33] e que esse aumento indica a incapacidade do animal em manter a temperatura corporal durante o estresse térmico [24].

No presente estudo, as condições ambientais como por exemplo velocidade do vento mais baixa e alta incidência de radiação solar podem ter contribuído para uma maior correlação entre os índices ambientais e a temperatura de superfície. Além disso, como a pele é a interface entre o ambiente e os tecidos do corpo, sua temperatura reflete muito a do ambiente. Ao contrário da temperatura retal, que permanece razoavelmente constante, a temperatura da pele varia em grande escala e muda em resposta ao ambiente térmico [20].

Em bovinos uma resposta fisiológica que ocorre sob estresse por calor é o aumento da temperatura de superfície. Isto acontece com a finalidade de ajustes circulatórios que permitem a circulação do fluxo sanguíneo em vasos periféricos do corpo e assim a troca de calor entre o animal e o ambiente aumenta [26].

CONCLUSÃO

Os Índices de estresse térmico avaliados são adequados em expressar o estresse por calor em touros jovens Nelore criados a pasto em ambiente tropical e a temperatura de superfície foi o parâmetro fisiológico que respondeu sensivelmente às condições do ambiente.

MANUFACTURERS

¹Inconterm Indústria de Termômetros Ltda. São Paulo, SP, Brazil.

²Instrutemp Instrumentos de Medição Ltda. São Paulo, SP, Brazil

³Homis do Brasil Equipamentos Industriais Ltda. São Paulo, SP, Brazil.

⁴Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda. São Paulo, SP, Brazil.

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

Ethical approval. Esta pesquisa foi realizada após avaliação e aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Uberlândia, com protocolo nº 125/2015.

Declaration of interest. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

REFERENCES

- 1 **Baeta F.C., Meador N.F., Shanklin M.D. & Johnson H.D. 1987.** Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating cows. In: *Proceedings of the Meeting of the American Society of Agricultural Engineers* (Baltimore, U.S.A.). p.21.
- 2 **Baêta F.C. & Souza C.F. 2010.** *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 269p.
- 3 **Berman A., Horovitz T., Kaim M. & Gacitua H.A. 2016.** 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*. 60 (10): 1453-1462.
- 4 **Bertocchi L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A., G. Varisco G. & Bernabucci U. 2014.** Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature-humidity index relationship. *Animal*. 8(4): 667-674.
- 5 **Bianca W. 1962.** Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*. 195(4838): 251-252.
- 6 **Bohmanova J., Misztal I. & Cole J.B. 2007.** Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *Journal of Dairy Science*. 90(4): 1947-1956.
- 7 **Buffington D.E., Collaso-arocho A., Canton G.H., Pitt D., Thatcher W.W. & Collier R.J. 1981.** Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*. 24(3): 711-714.
- 8 **Cardoso C.C., Peripolli V., Amador S.A., Brandão E.G., Esteves G.I.F., Sousa C.M.Z., França M.F.M.S., Gonçalves F.G., Barbosa F.A., Montalvão T.C., Martins C.F., Fonseca Neto A.M. & McManus C. 2015.** Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science*. 182: 83-92.
- 9 **Costa A.N.L., Feitosa J.V., Montezuma P.A., Souza P.T. & Araújo A.A. 2015.** Rectal temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred Girolando cows under heat stress northeastern Brazil. *International Journal of Biometeorology*. 59(11): 1647-1653.
- 10 **Costa C.C.M., Maia A.S.C., Brown-Brandl T.M., Chiquitelli Neto M. & Fonsêca V.F.C. 2018.** Thermal equilibrium of Nelore cattle in tropical conditions: an investigation of circadian pattern. *Journal of Thermal Biology*. 74: 317-324.
- 11 **Costa C.C.M., Maia A.S.C., Nascimento S.T., Nascimento C.C.N., Chiquitelli Neto M. & Fonsêca V.F.C. 2017.** Thermal balance of Nelore cattle. *International Journal of Biometeorology*. 62(5): 723-731.
- 12 **Da Silva R.G. & Maia A.S.C. 2013.** The Environment. In: *Principles of animal biometeorology*. New York: Springer, pp.1-37.
- 13 **Eigenberg R.A., Brown-brandl T.M., Nienaber J.A. & Hahn G.L. 2002.** Dynamic response of feedlot cattle to shade and no-shade. In: *Proceedings of the Meeting of the American Society of Agricultural Engineers* (Baltimore, U.S.A.). Paper no. 024050.
- 14 **Eigenberg R.A., Nienaber J.A. & Brown-Brand T.M. 2003.** 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.

- 15 **Façanha D.A.E., Da Silva R.G., Maia A.S.C., Guilhermino M.M. & Vasconcelos A.M. 2010.** Variação anual de características morfológicas e da temperatura de superfície do pelame de vacas da raça Holandesa em ambiente semi-árido. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 38(4): 837-844.
- 16 **Ferreira F., Pires M.F.A., Martínez M.L., Coelho S.G., Carvalho A.U., Ferreira P.M., Facury Filho E.J. & Campos W.E. 2006.** Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 58(5): 732-738.
- 17 **Gaughan J., Goopy J. & Spark J. 2002.** Excessive heat load index for feedlot cattle. In: *Meat and Livestock-Australia Project Report, Flot 316*. (Sydney, Australia). pp.1-33.
- 18 **Gaughan J.B., Mader T.L., Holt S.M. & Lisle A. 2008.** A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 86(1): 226-234.
- 19 **Hahn G.L., Gaughan J.B., Mader T.L. & Eigenberg R.A. 2009.** Thermal indices and their applications for livestock environments. In: DeShazer J.A. (Ed). *Livestock energetics and thermal environmental management*. St. Joseph: ASBE, pp.113-130.
- 20 **Li S., Gebremedhin K.G., Lee C.N. & Collier R.J. 2009.** Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle. In: *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting* (Reno, USA). pp.2283-2302.
- 21 **Maia A.S.C., Silva R.G., Nascimento S.T., Nascimento C.C.N., Pedroza H.P. & Domingos H.G.T. 2015.** Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of Biometeorology*. 59(8): 1025-1033.
- 22 **Mader T.L., Davis M.S. & Brown-Brandl T. 2006.** Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84(3): 712-719.
- 23 **Mader T.L., Johnson L.J. & Gaughan J.B. 2010.** A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. 88(6): 2153-2165.
- 24 **Marai I.F., El-Darawany A.A., Fadiel A. & Abdel-Hafez M.A. 2007.** Physiological traits as affected by heat stress in sheep - a review. *Small Ruminant Research*. 71: 1-2.
- 25 **Moran D.S., Pandolf K.B., Shapiro Y., Heled Y., Shani Y., Mathew W.T. & Gonzalez R.R. 2001.** An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). *Journal of Thermal Biology*. 26: 427-431.
- 26 **Montanholi Y.R., Swanson K.C., Schenkel F.S., McBride B.W., Caldwell T.R. & Miller S.P. 2009.** On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livestock Science*. 125(1): 22-30.
- 27 **National Research Council. 1971.** A guide to environmental research on animals. *Washington: National Academic Science*. 361p.
- 28 **Oliveira C.C., Alves F.V., Almeida R.G., Gamarra E.L., Villela S.D.J. & Martins P.G.M.A. 2018.** Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agroforestry Systems*. 92(6): 1659-1672.
- 29 **Poikalainen V., Prak J., Veermäe L & Kokin E. 2012.** Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special*. 1: 187-194.
- 30 **Rashamol V.P., Sejian V., Bagath M., Krishnan G., Archana P.R. & Bhatta R. 2018.** Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behavior Biometereology*. 6: 62-71.
- 31 **Silva R.G. 2000.** *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel, 286 p.
- 32 **Silva E.M. & Assunção W.L. 2004.** *O clima na cidade de Uberlândia - MG. Sociedade & Natureza*. 12: 91-107.
- 33 **Silva R.G., Guilhermino M.M. & De Moraes D.A. 2010.** Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *International Journal of Biometeorology*. 54 (1): 5-11.
- 34 **Silva R.G., Maia A.S.C. & Costa L.L.M. 2014.** Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *International Journal of Biometeorology*. 59(5): 551-559.
- 35 **Silva R.G., Moraes D.A.E.F. & Guilhermino M.M. 2007.** Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36(4): 1192-1198.
- 36 **Souza B.B., Silva I.J.O., Mellace E.M., Santos R.F.S., Zotti C.A. & Garcia P.R. 2010.** Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 6(2): 59-60.
- 37 **Souza Junior J.B.F., Silva R.B., Domingos H.G.T. & Maia A.S.C. 2008.** Temperatura da superfície corporal e fluxo de calor convectivo em vacas holandesas expostas à radiação solar direta no Semiárido. *Revista Científica de Produção Animal*. 12(1): 6-9.

- 38 Thom E.C. 1959.** The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 7-59.
- 39 Wang W., Bjerg B.S., Choi C.Y., Chao Zong C. & Zhang G. 2018.** A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. *Journal of Thermal Biology*. 77: 24-37.
- 40 Yousef M.K. 1985.** *Stress physiology in livestock*. Boca Raton: CRC Press, 159p.
- 41 Yadav B., Singh G. & Wankar A. 2015.** Adaptive capability as indicated by redox status and endocrine responses in crossbred cattle exposed to different thermal stresses. *Journal of Animal Research*. 5(1): 67-73.