

Melhor índice de estresse térmico para novilhas leiteiras mestiças

Most Appropriate Heat Stress Index for Half-blood Dairy Heifers

Patrícia Kelly de Moraes Brettas¹, Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento²,
Ednaldo Carvalho Guimarães³ & Gabriella Pereira Souza⁴

ABSTRACT

Background: Heat stress indexes integrate several variables of the thermal environment in a single figure and predict their impact on animal welfare and performance. The correct interpretation of these indexes is of help in the choice of more adequate measures to attenuate the stress caused by the heat. Therefore, the aim of this research is to examine some of the heat stress indexes mentioned in the literature and to decide which ones best reflect the potential impact of meteorological conditions on the thermal homeostasis of half-blood dairy heifers bred in Uberlândia, Triângulo Mineiro area, Minas Gerais, Brazil.

Materials, Methods & Results: Eight half-blood dairy heifers were exposed to direct sunlight from 9 h to 13 h in the months of November and December of 2016, and also January and February of 2017, 5 days per month on average, in Uberlândia, MG, Brazil. After this challenge, the respiratory rate and the rectal temperature were measured. Simultaneously to the collection of physiological variables, the temperatures of dry bulb and wet bulb, as well as that of black globe, were quantified, as was the wind speed. Afterwards, the solar radiation, the relative humidity, the mean radiant temperature and some heat stress indexes were calculated, the latter being Temperature-Humidity Index, Black Globe-Humidity Index, Equivalent Temperature Index, Environmental Stress Index, Respiratory Rate Index, Thermal Load Index, Environmental Specification Index, Thermal Comfort Index for Dairy Cattle, Comprehensive Climate Index and Cattle Heat Stress Index. These indexes were, then, correlated with the physiological variables. The averages of room temperature, black globe temperature, solar radiation, wind speed, radiant temperature and relative humidity were, respectively, 29.96°C, 41.73°C, 831.02 W/m², 0.11 m/s⁻¹, 318.14 K and 50.51%. Rectal temperature averaged 38.8°C while respiratory rate averaged 41.97 breaths per minute⁻¹. Correlating the 10 heat stress indexes with these two physiological variables, it was verified that the highest values, with a confidence of 95%, were demonstrated by the Equivalent Temperature Index (0.200 and 0.317, respectively), followed by the Cattle Heat Stress Index (0.186 and 0.314, respectively).

Discussion: Room temperature was within the thermoneutral zone for half-blood dairy cattle. Nevertheless, the mean radiant temperature and the black globe temperature were higher, due to intense solar radiation. Wind speed was not very expressive and relative humidity was close to what was required. The average values of rectal temperature and respiratory rate were normal, which indicated the heifers are adapted to the thermal environment. Regarding the heat stress indexes, the Equivalent Temperature Index was recommended, as it presented the highest amount of meaningful correlations with the physiological variables, followed by the Cattle Heat Stress Index and the Environmental Stress Index. The average value of the Equivalent Temperature Index remained in the “caution” category, according to the literature’s two existing scales for interpretation of said index’s results, indicating the occurrence of stress by heat, albeit not severe. In conclusion, the Equivalent Temperature Index is considered the most appropriate heat stress index for evaluating a heat stress situation in half-blood dairy heifers bred in Uberlândia, Triângulo Mineiro, followed by the Cattle Heat Stress Index and the Environmental Stress Index.

Keywords: heat stress, respiratory rate, dairy cattle, rectal temperature.

Descritores: estresse por calor, frequência respiratória, gado leiteiro, temperatura retal.

INTRODUÇÃO

A temperatura ambiente elevada pode gerar perdas na produção e na reprodução animal. Porém, a radiação solar, velocidade do vento e umidade do ar, também podem influenciar o equilíbrio térmico [25]. Para integrar essas medidas em um único valor, há os índices de estresse térmico, cuja finalidade é prever o impacto do ambiente térmico no bem-estar e no desempenho animal [19]. A sua correta interpretação auxilia na escolha das medidas mais adequadas para a atenuação dos efeitos do estresse por calor [3,24].

Vários índices já foram propostos, o primeiro foi o Índice de Temperatura e Umidade [30], que é muito utilizado até hoje. Porém, ele não leva em consideração a velocidade do vento e a radiação solar, fatores importantes na avaliação do ambiente térmico em regiões tropicais e que já estão presentes em índices mais recentes, como o Índice de Estresse Térmico para Vacas [24].

Como a pecuária leiteira está presente em mais de 80% dos municípios do Brasil, com grande participação dos animais mestiços [6], e devido à extensa diversidade climática do país, são fundamentais os zoneamentos bioclimáticos com o uso desses índices [27]. Porém, a maioria desses estudos prioriza vacas em lactação, ignorando as demais categorias animais, como as novilhas [9]. Sabe-se que os efeitos negativos do estresse por calor sobre as novilhas são mais brandos, entretanto, já são suficientes para prejudicarem a lactação vindoura [31].

Assim, objetivou-se examinar dentre alguns índices de estresse térmico citados na literatura qual deles melhor reflete o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças criadas em Uberlândia, MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local

Esta pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia, Triângulo Mineiro, extremo oeste do estado de Minas Gerais (MG), Brasil, 925 m de altitude, 18° 56' 56" de latitude sul e 48° 12' 47" de longitude oeste [17]. A temperatura média anual da cidade está entre 19°C e 27°C e, segundo a classificação de Köppen, seu clima é do tipo Aw, megatérmico, com chuvas no verão e inverno seco [22].

Animais

Do lote de novilhas leiteiras, foram selecionadas oito com massas corporais próximas, cuja média inicial e final foram 487,8 kg e 560,25 kg, respectivamente. Esses animais eram mestiços, de 3/4 a 5/8 europeu com zebu, provenientes de cruzamentos entre as raças Jersey, Pardo Suíça, Holandês e Gir. Foram mantidas em um piquete com sombra natural, água *ad libitum*, pastagem composta predominantemente por *Urochloa decumbens* ("braquiariinha") e suplementadas com sal mineral.

Avaliação dos animais

O experimento foi realizado de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Em média, durante 5 dias por mês, que eram ensolarados e sem chuva, as novilhas foram expostas ao sol no curral de manejo das 09 h às 13 h, com água *ad libitum*. Após, foram conduzidas ao tronco de contenção para a quantificação da frequência respiratória e da temperatura retal, pois suas alterações são as mais utilizadas para avaliar fisiologicamente a capacidade de adaptação dos animais ao calor [5,10].

A frequência respiratória foi medida pela contagem do número de movimentos da região do flanco direito no intervalo de 30 s e multiplicado por dois. A temperatura retal foi obtida com o termômetro clínico veterinário de mercúrio¹ (com escala de 35°C a 44°C), que permaneceu na mucosa retal por 2 min, na profundidade de 5 cm.

Avaliação do ambiente térmico

Simultaneamente às medidas das variáveis fisiológicas, o ambiente foi monitorado para temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido pelo termo-higrômetro de mercúrio¹. A temperatura do globo negro foi medida pelo termômetro de globo (TGM-200)², colocado a 0,9 m de altura e exposto ao sol. A velocidade do vento foi obtida pelo anemômetro (AD-250)³.

Por equações específicas (Tabela 1), foram calculadas a radiação solar [25], a umidade relativa [23], a temperatura radiante média [23] e os principais índices de estresse térmico selecionados da literatura: Índice de Temperatura e Umidade [30], Índice de Globo Negro e Umidade [4], Índice de Temperatura Equivalente [2], Índice de Estresse Ambiental [18], Índice de Frequência Respiratória (para temperatura ambiente superior a 25°C) [7,8], Índice de Carga Térmica (para temperatura de globo negro superior a 25°C) [11], Índice de Especificação Ambiental [26], Índice Climático Compreensivo [14], Índice de Con-

forto Térmico para Bovinos de Leite [29] e o Índice de Estresse Térmico para Vacas [24].

Para garantir que cada resposta animal foi resultante de uma determinada condição ambiental, todos os índices foram calculados a partir de variáveis ambientais coletadas no momento das mensurações feitas em cada novilha.

Análise Estatística

Foi usado o programa Action® 2.9 para a realização das estatísticas descritivas das variáveis fisiológicas, ambientais e dos índices de estresse térmico. Em seguida, analisou-se a correlação linear simples de Pearson, com significância de 5%, entre os índices de estresse térmico e as variáveis fisiológicas.

Tabela 1. Equações para o cálculo da radiação solar, umidade relativa, temperatura radiante e alguns índices de estresse térmico.

Variável Ambiental e Índice de Estresse Térmico	Equações
Radiação Solar - S [25]	$S = 1372,9 \cos\theta e^{-tm}[1-n(1-c)]$
Umidade Relativa - UR [23]	$UR = 100 Pp\{T_A\} \div Ps\{T_A\}$
Temperatura Radiante Média – TRM [23]	$T_{RM} = 100\{[(2,51V^{0,5}(T_G - T_A) + (T_G \div 100)^4)]^{0,25}\}$
Índice de Temperatura e Umidade - ITU [30]	$ITU = T_A + 0,36T_{PO} + 41,5$
Índice de Globo Negro e Umidade - IGNU [4]	$IGNU = T_G + 0,36T_{PO} + 41,5$
Índice de Temperatura Equivalente - ITE [2]	$ITE = 27,88 - 0,456T_A + 0,107547T_A^2 - 0,4905UR + 0,0008UR^2 + 1,1507V - 0,126447V^2 + 0,0198767T_A UR - 0,046313T_A V$
Índice de Estresse Ambiental - IEA [18]	$IEA = 0,63T_A - 0,03UR + 0,002S + 0,0054(T_A \times UR) - 0,073(0,1S)^{-1}$
Índice de Frequência Respiratória - IFR [7,8]	$IFR = 5,4 T_A + 0,58UR - 0,63V + 0,024S - 110,9$
Índice de Carga Térmica - ICT [11]	$ICT = 8,62 + (0,38UR) + (1,55T_G) - (0,5V) + [e^{2,4+V}]$
Índice de Especificação Ambiental – IEA [26]	$IEA = 30,114 - 0,1448T_A + 0,52855V + 1,067 Pp\{T_A\} + 0,0198T_G$
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite - ICTbl [29]	$ICTbl = 0,6354T_A + 0,6312T_G + 0,4438 Pp\{T_A\} + 0,0310V$
Índice Climático Compreensivo - ICC [14]	$ICC = T_A + [Eq.1*] + [Eq.2**] + [Eq.3***]$
Índice de Estresse Térmico para Vacas - IETV [24]	$ITSC = 77,1747 + 4,8327TA - 34,8189V + 1,111V^2 + 118,6981 Pp\{T_A\} - 14,7956 Pp\{T_A\}^2 - 0,1059ERHL$

S: radiação solar; t: coeficiente de turbidez atmosférica; m: massa de ar; n: proporção de cobertura de nuvens; c: coeficiente com base no tipo de nuvem; Pp{ T_A }: pressão parcial de vapor do ar à temperatura T_A ; Ps{ T_A }: pressão de saturação à temperatura T_A ; T_A : temperatura ambiente; T_{PO} : temperatura de ponto de orvalho; T_G : temperatura de globo negro; V: velocidade do vento; e: base do logaritmo natural = 2,71828; ERHL: Carga Térmica de Radiação Efetiva. *Eq.1: Fator de Correção da UR = $e^{0,00182 \times UR + 1,8 \times 10^{-5} \times TA \times UR} \times (0,000054 \times TA^2 + 0,00192 \times TA - 0,0246) \times (UR - 30)$ **Eq.2: Fator de verificação da V $[-6,56 \div e^{1,1 \div (2,26 \times V + 0,23)}]^{0,45 \times (2,9 + 1,14 \times 10^{-6}) \times V^{2,5}} \cdot \log_{0,6} (2,26 \times V + 0,667^2)] - 0,00566 \times V^2 + 3,33$ ***Eq.3: Fator de Correção da S = $0,0076 \times S - 0,00002 \times S \times Ta + 0,00005 \times Ta^2 \times \sqrt{S} + 0,1 \times Ta - 2$

RESULTADOS

A temperatura média do globo negro foi superior à temperatura do ar média (Tabela 2). A temperatura radiante média, quando a sua unidade é convertida de Kelvin para graus Celsius, passa a ter um valor igual a 44,99°C, também bastante superior à temperatura do ar média. A velocidade do vento apresentou valores baixos, já a radiação solar e a umidade relativa apresentaram grande amplitude.

Com relação às variáveis fisiológicas, o valor médio da temperatura retal esteve dentro do padrão

fisiológico e o limite superior acima da normalidade. O valor médio da frequência respiratória também esteve dentro da normalidade, porém o maior valor da amplitude foi elevado (Tabela 2).

O Índice de Temperatura Equivalente apresentou maior correlação com a temperatura retal e frequência respiratória, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas (Tabela 3).

Os índices que apresentaram menor e maior amplitude de variação foram, respectivamente, o Índice de Especificação Ambiental e o Índice de Estresse Térmico para Vacas (Tabela 4).

Tabela 2. Valores médios, desvio padrão e variação das condições meteorológicas e fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 h de exposição ao sol em Uberlândia, MG.

Condição Meteorológica e Fisiológica	Valores Médios e Desvio-Padrão	Variação
Temperatura ambiente (°C)	29,96 ± 1,66	24,5 a 33
Temperatura do globo (°C)	41,73 ± 4,51	29 a 50,5
Temperatura Radiante Média (K)	318,14 ± 8,02	302,15 a 345,78
Radiação Solar (W.m ⁻²)	831,02 ± 131,22	517,50 a 1027,88
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	0,11 ± 0,26	0 a 1,2
Umidade Relativa (%)	50,51 ± 6,74	39,22 a 80,61
Temperatura Retal (°C)	38,85 ± 0,39	38 a 40,2
Frequência Respiratória (mov.min ⁻¹)	41,97 ± 11,29	20 a 76

°C: graus Celsius; K: Kelvin; W.m⁻²: Watts por metro quadrado; m.s⁻¹: metros por segundo; mov.min⁻¹: movimentos por minuto.

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre os índices de estresse térmico e as variáveis fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 h de exposição ao sol em Uberlândia, MG.

Índice	Temperatura Retal	Frequência Respiratória
Índice de Temperatura e Umidade	0,136ns	0,265*
Índice de Globo Negro e Umidade	0,009ns	0,278*
Índice de Temperatura Equivalente	0,200*	0,317*
Índice de Estresse Ambiental	0,178*	0,289*
Índice de Frequência Respiratória	0,139ns	0,257*
Índice de Carga Térmica	0,029ns	0,313*
Índice de Especificação Ambiental	0,112ns	0,005ns
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite	0,001ns	0,249*
Índice Climático Compreensivo	0,070ns	0,244*
Índice de Estresse Térmico para Vacas	0,186*	0,314*

*P < 0,05; ns= não significativo.

Tabela 4. Valores médios, desvio padrão e variação dos índices estresse térmico calculados a partir de variáveis ambientais coletadas durante o período experimental em Uberlândia-MG.

Índice	Valores Médios e Desvio-Padrão	Variação
Índice de Temperatura e Umidade	79,10 ± 1,85	74,67 a 83,58
Índice de Globo Negro e Umidade	90,86 ± 4,61	77,67 a 100,59
Índice de Temperatura Equivalente	31,31 ± 1,54	28,34 a 35,61
Índice de Estresse Ambiental	27,16 ± 1,18	24,56 a 30,41
Índice de Frequência Respiratória	100,09 ± 7,61	81,11 a 120,00
Índice de Carga Térmica	103,34 ± 6,06	84,95 a 117,73
Índice de Especificação Ambiental	28,93 ± 0,29	28,33 a 30,13
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite	46,33 ± 3,75	35,93 a 53,29
Índice Climático Compreensivo	66,60 ± 6,78	41,27 a 75,10
Índice de Estresse Térmico para Vacas	297,09 ± 21,10	230,45 a 336,23

DISCUSSÃO

A temperatura ambiente, mesmo se for considerado o seu valor máximo, esteve dentro da zona termoneutra para animais mestiços, compreendida entre 7 e 35°C [23]. Porém, observou-se o quão mais elevada foi a temperatura radiante média, quando convertida para graus Celsius. Isso se deve à elevada radiação solar média obtida no estudo, uma vez que valores acima de 800 W.m⁻² são considerados altos [15]. Tal observação é característica de regiões tropicais, onde o principal elemento climático que interfere na criação de bovinos é a radiação solar [24]. Além disso, a temperatura ambiente, embora geralmente elevada, não varia tanto ao longo do ano para ser a grande responsável pelas alterações fisiológicas e metabólicas que são observadas nos animais em função do ambiente térmico [16]. Portanto, ao avaliar o equilíbrio térmico de um bovino é importante não somente considerar o calor produzido pelo mesmo, mas também o calor ganho do microambiente.

Com relação à temperatura de globo negro, sabe-se que na sombra ela é próxima da temperatura ambiente, pois não sofre a ação da radiação de onda curta direta [9]. No presente estudo, o globo negro foi colocado exposto ao sol e, portanto, o seu valor médio foi bem superior ao da temperatura ambiente média, demonstrando novamente a intensidade da radiação sobre os animais no período mais quente do dia no município de Uberlândia. Já em uma pesquisa similar feita no sul do Brasil, cujas condições ambientais são mais amenas, foi encontrada uma temperatura de globo negro média bem inferior: 36,11°C [29].

Os valores da velocidade do vento foram muito baixos e, portanto, distantes do valor ótimo para vacas lactantes, que é 2,2 m.s⁻¹ [12]. Em um estudo similar em três municípios do nordeste do Brasil, por exemplo, os valores médios foram superiores a 1,66 m.s⁻¹ [25].

Na análise da umidade relativa, ao considerar o intervalo ideal para bovinos leiteiros de 50 a 70% [1,28], percebe-se que ela esteve próxima da normalidade. Deve ser enfatizado que de novembro a fevereiro, ocorre uma maior concentração de chuvas na região (primavera e verão), o que explica a umidade um pouco mais elevada.

O valor médio da temperatura retal encontrado no estudo foi dentro do limiar fisiológico para vacas

leiteiras, o qual está entre 38 e 39,3°C [5]. Esse dado é importante para indicar a adaptação das novilhas ao ambiente térmico, pois, quando a temperatura retal não se eleva acima do padrão de normalidade, indica que os mecanismos de termorregulação foram capazes de eliminar o excesso de calor, mantendo o equilíbrio térmico [5].

Uma frequência respiratória para vacas leiteiras entre 18 e 60 mov.min⁻¹ indica ausência de estresse por calor [13] e o valor médio obtido no presente estudo esteve dentro desse intervalo. Outra classificação é a seguinte: ausência de estresse (23 mov.min⁻¹); há estresse, mas está sob controle (45 a 65 mov.min⁻¹); início do estresse térmico (70 a 75 mov.min⁻¹); estresse acentuado (90 mov.min⁻¹); estresse severo com grandes perdas (100 a 120 mov.min⁻¹); estresse mortal, em que os animais não conseguem se alimentar ou beber água (acima de 120 mov.min⁻¹) [21]. Assim, no presente estudo, a amplitude de variação da frequência respiratória, esteve próxima da faixa de apenas início do estresse térmico.

Esses resultados reforçam a hipótese de que as novilhas leiteiras mestiças eram adaptadas às condições meteorológicas da região de Uberlândia, principalmente se for considerado que as variáveis fisiológicas foram obtidas após 4 h de exposição ao sol. É importante ressaltar que, por serem mestiças, já se esperava uma adaptação desses animais às condições mais quentes. Além disso, eram novilhas, cujo metabolismo é inferior ao das vacas e, portanto, tendem a sofrer menos com o calor [31].

Em pesquisa similar, os valores médios da frequência respiratória e da temperatura retal foram, respectivamente, 79,6 mov.min⁻¹ e 39,53°C [25], superiores aos do presente estudo. Porém, essa pesquisa foi desenvolvida com vacas Holandesas e Jersey no nordeste do Brasil, região com temperatura elevada e intensa radiação solar.

Referente aos índices de estresse térmico, aquele que apresentou as maiores correlações com a temperatura retal e frequência respiratória foi o Índice de Temperatura Equivalente, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas e pelo Índice de Estresse Ambiental. A intensidade dessa correlação indica a eficiência do índice em avaliar o estresse térmico a que os animais estão expostos [25].

Em um estudo feito com vacas Holandesas e Jersey no Ceará e no Rio Grande do Norte, o Índice

de Temperatura Equivalente, juntamente com o Índice de Carga Térmica, também foi considerado um dos índices de estresse térmico mais eficientes, com uma correlação de 0,293 com a temperatura retal e de 0,520 com a frequência respiratória [25].

Já em outra pesquisa, o Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite foi o índice mais confiável para a avaliação do bem-estar térmico de vacas de alta produção, pois apresentou os maiores valores de correlação com essas mesmas variáveis fisiológicas (0,294 e 0,364, respectivamente) [29]. Porém, os animais avaliados não eram mestiços, mas sim da raça Holandesa e, além disso, eram criados nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, cujas condições ambientais são bem distintas das do Triângulo Mineiro.

Portanto, para a região estudada, o Índice de Temperatura Equivalente foi o mais apropriado para auxiliar os produtores a avaliarem o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças e, assim, optarem pelas medidas corretivas mais adequadas.

Compreender os fatores envolvidos no surgimento do estresse por calor e as consequentes alterações no bem-estar e no desempenho dos bovinos é essencial na escolha, planejamento e manutenção das melhores medidas atenuadoras desses fatores [20]. Por exemplo, sistemas de climatização para criação confinada e sombreamento natural ou artificial para criação a pasto [1]. Pode-se ainda, no planejamento de um projeto para criação de bovinos leiteiros, considerar o movimento do ar, bem como as obstruções do vento, disponibilidade de água para beber, dentre outros [20].

Assim, o uso do Índice de Temperatura Equivalente é recomendado por apresentar uma confiabilidade e pelo seu cálculo ser simples, pois requer apenas os dados da temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do vento [25]. O Índice de Estresse Térmico para Vacas e o Índice de Estresse Ambiental também são confiáveis, mas requerem informações sobre a radiação solar, cuja medição direta necessita de um piranômetro, equipamento de alto custo [24].

Na pesquisa de desenvolvimento do Índice de Temperatura Equivalente, que se baseou nas respostas de vacas Holandesas de alta produção em

câmara climática, foi elaborada a seguinte escala de risco: ausência de problemas (18 a 27), cautela (27 a 32), cautela extrema (32 a 38), perigo (38 a 44) e perigo extremo (> 44) [2]. Entretanto, para vacas Holandesas já bem adaptadas ao calor, as categorias podem ser estabelecidas como: seguro (< 30), cautela (30 a 34), cautela extrema (34 a 38) e perigo (>38) [25].

Não há uma escala específica para animais mestiços. Portanto, de acordo com as duas pesquisas supracitadas e com o valor máximo do Índice de Temperatura Equivalente encontrado no presente estudo, o estágio “perigo” não foi atingido, apenas o estágio “cautela extrema”. Referente ao seu valor médio, este permaneceu na categoria “cautela” nas duas escalas, indicando a ocorrência de um estresse por calor, o qual, porém, não foi tão severo.

Por fim, os resultados também confirmaram que o Índice de Temperatura e Umidade, o mais comum e mais amplamente empregado, não correlacionou com a temperatura retal, assim como ocorreu em outro estudo [25], indicando que seu uso deve ser evitado. O principal motivo é o fato deste índice ter sido desenvolvido em zonas temperadas e com base nas respostas de animais adaptados às mesmas, cujas condições climáticas diferem muito das regiões tropicais [25].

CONCLUSÕES

Dentre os dez índices de estresse térmico avaliados, o Índice de Temperatura Equivalente é considerado o melhor para avaliar uma situação de estresse por calor para novilhas leiteiras mestiças criadas no município de Uberlândia, Triângulo Mineiro, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas e pelo Índice de Estresse Ambiental.

MANUFACTURERS

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

²Homis do Brasil Equipamentos Industriais Ltda. São Paulo, SP, Brazil.

³Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda. São Paulo, SP, Brazil.

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 118/2016.

Declaration of interest. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are 402 responsible for the content and writing of the paper.

REFERENCES

- 1 Almeida Neto L.A., Pandorfi H., Almeida G.L. & Guiselini C. 2014. Climatização na pré-ordenha de vacas Girolando no inverno do semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*. 18: 1072-1078.
- 2 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.
- 3 Berman A., Horovitz T., Kaim M. & Gacitua H. 2016. 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*. 60: 1453-1462.
- 4 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: 711-714.
- 5 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 in northeastern Brazil. *International Journal of Biometeorology*. 59: 1647-1653.
- 6 Costa M.D., Ruas J.R.M., Rodriguez M.A.P., Nogueira T.M. & Venturini R.P. 2016. Análise da relação benefício-custo em sistema de produção de leite com animais mestiços no Norte de Minas Gerais. *Boletim de Indústria Animal*. 73: 244-251.
- 7 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.
- 8 Eigenberg R.A., Nienaber J.A. & Brown-Brandl T.M. 2004. 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.
- 9 Fonsêca V.D.F.C., Cândido E.P., Gonzaga Neto S., Saraiva E.P., Furtado D.A., Gama J.F.P., Nascimento G.V., Saraiva C.A.S. & Almeida G.H.O. 2016. Thermoregulatory responses of sindhi and guzerat heifers under shade in a tropical environment. *Semina: Ciências Agrárias*. 37: 4327-4338.
- 10 Gaughan J.B., Holt S.M., Hahn G.L., Mader T.L. & Eigenberg R. 2000. Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 13: 329- 332.
- 11 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: 226-234.
- 12 Hahn G.L. 1985. Management and housing of farm animals in hot environments. In: *Stress physiology in livestock*. Boca Raton: CRC Press, pp.151-174.
- 13 Hahn G.L., Parkhurst A.M. & Gaughan J.B. 1997. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*. 40: 97-121.
- 14 Mader T.L., Johnson L.J. & Gaughan J.B. 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. 88: 2153-2165.
- 15 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: 1025-1033.
- 16 Martello L.S., Savastano Júnior H., Silva S.L.D.A. & Titto E.A.L. 2004. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33: 181-191.
- 17 Maywald P.G. & Marçal Júnior O. 2013. Estrutura de Áreas protegidas dos assentamentos de reforma agrária no município de Uberlândia-MG, Brasil: um estudo de ecologia de paisagem. *Revista Sociedade & Natureza*. 25: 75-90.
- 18 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.
- 19 Nascimento G.V.D., Cardoso E.D.A., Batista N.L., Souza B.B.D. & Cambuí G.B. 2013. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 9: 28-36.
- 20 Nienaber J.A., Hahn G.L. & Eigenberg R.A. 2004. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: *Proceedings, International Symposium of The CIGR* (Evora, Portugal). pp.1-18.
- 21 Pires M.F.A. & Campos A.T. 2004. Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite. *Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico*. 42:1-6.

- 22 **Silva E.M. & Aassunção W.L. 2004.** O Clima na cidade de Uberlândia. *Revista Sociedade e Natureza*. 16: 91-107.
- 23 **Silva R. G. 2000.** *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel, 286p.
- 24 **Silva R.G., Maia A.S.C. & Costa L.L.M. 2015.** Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. *International Journal of Biometeorology*. 59: 551-559.
- 25 **Silva R.G., Morais D.A.E.F. & Guilhermino M.M. 2007.** Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36: 1192-1198.
- 26 **Silva R.G., Morais D.A.E.F., Guilhermino M.M., LaScala Junior N. & Maia A.S.C. 2010.** Índices de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em Regiões Equatoriais Secas. *Revista Científica de Produção Animal*. 12: 125-128.
- 27 **Souza B.D., 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: 59-65.
- 28 **Takahashi L.S., Biller J.D., Takahashi K.M. 2009.** *Bioclimatologia zootécnica*. 2.ed. Jaboticabal: Funep, 91p.
- 29 **Tonello C.L. 2011.** Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da Bovinocultura de Leite. 140f. Maringá, PR. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal, Universidade Estadual de Maringá.
- 30 **Thom E.C. 1959.** The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57- 59.
- 31 **West J.W. 2003.** Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 86: 2131-2134.