

Nuances na temperatura corporal de búfalas a partir da termografia infravermelha

Nuances in the Body Temperature of Buffaloes Using Infrared Thermography

¹Kécia Martins Bastos, ²Jardel Perrud Barcelos, ³Ana Carolina Horta, ⁴Guilherme Felipe Orioli, ⁵Henrique Leal Perez, ⁶Sheila Tavares Nascimento.

¹Doutoranda – Universidade Estadual de Maringá (kecia.bastos@gmail.com)

²Doutorando – Universidade Estadual de Maringá (jardelp.barcelos@gmail.com)

³Mestranda – Universidade Estadual de Maringá (ana-ach@hotmail.com)

⁴Mestrando – Universidade Estadual de Maringá (oguilhermefelipe@gmail.com)

⁵Professor Adjunto do Departamento de Zootecnia – Universidade Estadual de Maringá (hlperez2@uem.br)

⁶Professora Adjunta do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Universidade Estadual de Maringá (stnascimento@uem.br)

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo aplicar a técnica de como uma ferramenta auxiliar para a avaliação do bem-estar e estresse térmico em bubalinos. Foram utilizadas 5 búfalas submetidas a ambiente com lagoa artificial com sombra e sem sombra. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental de Iguatemi. A frequência respiratória (FR) foi monitorada a cada 30 minutos como parâmetro fisiológico. A temperatura, umidade relativa e radiação solar, foram registradas a cada 10 minutos. Utilizando uma câmera infravermelha, foram capturadas imagens das regiões corporais: dorso, olhos, focinho e barbela. A análise de variância dos dados meteorológicos e FR foi realizada pelo método dos quadrados mínimos, com desdobramento das médias pelo teste de Tukey-Kramer. Foi realizada a correlação de Pearson entre a média das temperaturas superficiais e as variáveis meteorológicas para avaliar a janela térmica dos animais. A temperatura do ar variou entre 30,2°C e 41°C, com 63% de umidade, e a radiação solar entre 770 W.m⁻² e 1106 W.m⁻². A FR variou entre 19 e 29 resp min⁻¹. A correlação entre a temperatura do focinho e a TBS ao sol foi de $r = 0.87$ e com a UR foi de $r = -0.83$; para a temperatura do olho, TBS ao sol foi de $r = 0.76$ e UR $r = -0.70$; para a barbela, TBS ao sol $r = 0.68$ e UR $r = -0.69$; TBS à sombra da barbela $r = 0.64$. A termografia foi eficaz em capturar a resposta térmica dos animais ao ambiente, validando sua utilidade na avaliação do bem-estar.

Palavras Chave: frequência respiratória, imagem termográfica, termorregulação bubalina.

ABSTRACT: This study aimed to apply thermography as an auxiliary tool for assessing thermal stress and well-being in buffaloes. Five buffaloes were used in an environment with an artificial pond providing shaded and unshaded areas. The research was conducted at the Iguatemi Experimental Farm. Respiratory rate (RR) was monitored every 30 minutes as a physiological parameter. Temperature, relative humidity, and solar radiation were recorded every 10 minutes. Using an infrared camera, images were captured of the following body regions: back, eyes, muzzle, and dewlap. Analysis of variance (ANOVA) for meteorological data and RR was conducted using the least squares method, with mean separation performed by the Tukey-Kramer test. Pearson correlation was calculated between the mean surface temperatures and meteorological variables to assess the animals' thermal window. Air temperature ranged from 30.2°C to 41°C with 63% humidity, and solar radiation ranged from 770 W.m⁻² to 1106 W.m⁻². RR varied from 19 to 29 breaths per minute. The correlation between muzzle temperature, and dry-bulb temperature (DBT) in sunlight was $r = 0.87$, and with relative humidity (RH) was $r = -0.83$; for eye temperature, DBT in sunlight was $r = 0.76$, and RH was $r = -0.70$; for dewlap temperature, DBT in sunlight was $r = 0.68$, and RH was $r = -0.69$; DBT in shaded areas was $r = 0.64$ for dewlap. Thermography effectively captured the animals' thermal response to the environment, validating its utility in well-being assessment.

Keywords: Buffalo thermoregulation, respiratory rate, thermographic image.

1. INTRODUÇÃO

Termografia é uma técnica não invasiva que utiliza sensores de infravermelho para aferir a temperatura de diferentes superfícies, detectando variações de calor emitido pelos corpos (STEWART *et al.*, 2005). Todo corpo emite radiação infravermelha, cuja intensidade

está diretamente relacionada à sua temperatura. Quanto maior a temperatura de um corpo, maior a quantidade de radiação infravermelha emitida, o que permite identificar mudanças térmicas com precisão. A análise da temperatura corporal em bubalinos é pouco explorada comparada aos bovinos, evidenciando a importância de avaliar como essa espécie realiza a transferência de calor e se essa resposta pode ser medida por meio da termografia infravermelha. A análise da temperatura da superfície corporal é considerada um método rápido e menos complexo em comparação a alguns métodos tradicionais utilizados para medir a temperatura e o acúmulo de calor, como a temperatura retal e vaginal, que podem causar alterações e estresse aos animais devido ao manuseio dos animais (CHURCH *et al.*, 2014; ROBERTO e DE SOUZA, 2014; MARTELLO *et al.*, 2016).

Os bubalinos são animais homeotérmicos, capazes de manter a temperatura corpórea em uma faixa térmica específica, ocorrendo alterações fisiológicas, metabólicas, bem como a diminuição de respostas produtivas e reprodutivas quando estão fora do equilíbrio térmico. A temperatura do ar de conforto para o crescimento e reprodução de búfalos varia entre 13 e 18°C, com umidade relativa entre 55 e 65% e um nível médio de radiação solar entre 600 e 700 Wm⁻² (EL DEBAKY *et al.*, 2019; DA SILVA *et al.*, 2013). Desta forma, quando em situação de estresse térmico os animais utilizam ajustes fisiológicos e comportamentais para realizar sua termorregulação (SEVEGNANI *et al.*, 2016). Além disso, a combinação de elevadas temperaturas e elevados níveis de radiação solar, característico da maior parte do território brasileiro, podem predispor os bubalinos ao estresse térmico (PANTOJA *et al.*, 2018).

Os bubalinos são mais adaptados a climas quentes e úmidos e solo lamacento devido a suas características morfológicas (pele espessa e escura, menor densidade de pelos), anatômicas (maior quantidade de glândulas sebáceas) e comportamentais (comportamento de submersão). Quando expostos ao calor, utilizam mecanismos como a chafurdação ou a procura por sombra para dissipar o excesso de calor (EL DEBAKY *et al.*, 2019).

Em ambientes com elevadas temperaturas, os animais tendem a intensificar a dissipação de calor, que pode ocorrer de maneira sensível ou latente. A transferência de calor sensível envolve os mecanismos de condução, convecção e radiação, processos que dependem da diferença de temperatura entre o animal e o ambiente, podendo ocorrer tanto para perda quanto para ganho de calor. Já os mecanismos latentes são utilizados para dissipação de calor e ocorrem por evaporação respiratória ou cutânea (COLLIER E GEBREMEDHIN, 2015).

As análises de parâmetros fisiológicos e metabólicos, como temperatura retal, frequência respiratória e coletas de sangue, requerem métodos invasivos de verificação, o que pode comprometer a confiabilidade dos resultados devido ao manuseio dos animais (MCMANUS *et al.*, 2016).

A termografia é uma técnica não invasiva que utiliza o infravermelho para medir variações de temperatura e diferentes níveis de produção de calor. Os raios infravermelhos são frequências eletromagnéticas irradiadas por um corpo, com intensidade que depende da temperatura analisada. Dessa forma, ao observar imagens capturadas por um equipamento termográfico, é possível identificar regiões quentes e frias em faixas de temperatura que variam de -40 a 1500 °C (ROBERTO e DE SOUZA *et al.*, 2014).

Atualmente, um dos fatores mais relevantes para a introdução da termografia infravermelha no campo zootécnico é sua capacidade de avaliar o estado real dos animais por meio de indicadores não invasivos. Esse método fornece dados que não interferem diretamente nos organismos, evitando reações de estresse (MCMANUS *et al.*, 2016).

Como benefícios do conforto térmico proporcionado aos animais, destaca-se a otimização da produtividade, com maiores produções de leite e carne. Em sistemas que combinam essas condições com a presença de água ou lama para imersão ou banho, é possível favorecer a manutenção da termorregulação, o bem-estar e o conforto dos animais em climas

tropicais adversos (DAS *et al.*, 2016). Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a termografia como uma ferramenta eficaz na avaliação do bem-estar e estresse em bubalinos, buscando aprimorar as práticas de manejo e monitoramento de seu estado de saúde e conforto térmico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em novembro de 2023 no setor de Ovinocultura da Fazenda Experimental de Iguatemi, pertencente à Universidade Estadual de Maringá – UEM, município de Maringá – PR (23° 55' S, 52°07' O) e altitude de 338 m, no tipo climático Cfa (Köppen-Geiger) classificado como subtropical úmido (ALVARES *et al.*, 2013).

Foram utilizadas 5 búfalas das raças Murrah e Jafarabadi adultas. Os animais foram mantidos em uma área experimental composta por um sistema silvipastoril, com árvores de grande porte, com sombreamento parcial nas pastagens e um lago para banho. A área de pastagem consistia em 5 hectares (ha), dividida em cinco piquetes de 1 ha cada para pastejo rotacionado intensivo, centro de manejo com cocho coberto para mineralização e bebedouro, além de lago artificial para banho dos animais.

Foram coletadas variáveis meteorológicas como a temperatura do bulbo seco (TBS, °C), a temperatura do bulbo úmido (TBU, °C), a temperatura do globo negro (Tgn), a umidade relativa (UR, %) e a radiação de ondas curtas (RS, W.m⁻²), instalados a uma altura de 1,40 m do solo, em intervalos de 10 minutos, entre às 10h30min e 16h.

A radiação de ondas curtas (RS, W.m⁻²) foi mensurada com o auxílio de um sensor de Radiação Solar Global (modelo S-LIB-M003, OnsetComp HOBO®) conectado a um registrador automático (HOBO Data Logger H21-USB), que registrava os dados em intervalos de dez minutos.

As variáveis fisiológicas avaliadas foram: a temperatura superficial (imagens termográficas), e a frequência respiratória (FR, respirações minuto⁻¹).

A variável fisiológica frequência respiratória (FR, respirações por minuto) foi aferida pela contagem da movimentação do flanco das búfalas durante o período de 30 segundos e multiplicado por 2 para obter os dados por minuto (RASHAMOL *et al.*, 2018) entre 11h e 16h.

As imagens termográficas foram coletadas utilizando uma câmera Fluke Termográfica Ti400 em intervalos de 30 minutos, entre 10h:30min e 16h, a uma distância de 4 metros dos animais, com angulação entre 60 e 90°, enquanto eles estavam soltos no piquete. A distância de 4 metros foi estabelecida para minimizar a interferência no comportamento dos animais e está de acordo com as recomendações do fabricante para garantir a precisão da captura de imagens térmicas (Fluke Corporation, 2010). Foram mensuradas as regiões do dorso, olhos, focinho e peito, pois essas áreas são consideradas janelas térmicas que refletem mudanças na temperatura corporal associadas ao estresse térmico e bem-estar dos animais (PAIM *et al.* (2018).

As coletas foram feitas entre às 10h30min e às 16h, período escolhido por abranger as horas mais quentes do dia, nas quais os animais estão mais suscetíveis ao estresse térmico. Nesse dia, as condições sinópticas indicaram a influência de uma onda de calor, proporcionando um cenário ideal para avaliar a resposta térmica dos animais e o impacto ambiental sobre seu bem-estar.

Para padronizar os procedimentos utilizados na coleta das imagens, foi utilizado o valor de 0,98 para emissividade, de acordo com a recomendação do fabricante da câmera para tecidos biológicos (Fluke Corporation, 2010).

As coletas das imagens de infravermelho iniciaram após a aclimação dos animais com a presença dos observadores, permitindo minimizar as respostas ao estresse, dentre outros fatores que possam interferir na temperatura dos animais e na interpretação dos dados.

A normalidade dos erros experimentais e a homogeneidade de variâncias entre os ambientes e os horários ao longo do dia foram avaliadas previamente utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk. A análise de variância dos dados da FR e parâmetros meteorológicos foram realizadas pelo método dos quadrados mínimos com auxílio do software RStudio e o desdobramento das médias de frequência respiratória pelo teste de Tukey - kramer, com significância de 5%.

Os dados da temperatura superficial foram submetidos a uma análise descritiva. As imagens térmicas, editadas e analisadas com o software que acompanha o equipamento (Fluke Corporation, 2010), permitiram determinar as temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) de acordo com a paleta de cores (Hot/Cold), obtendo-se a temperatura máxima, mínima e média da área selecionada.

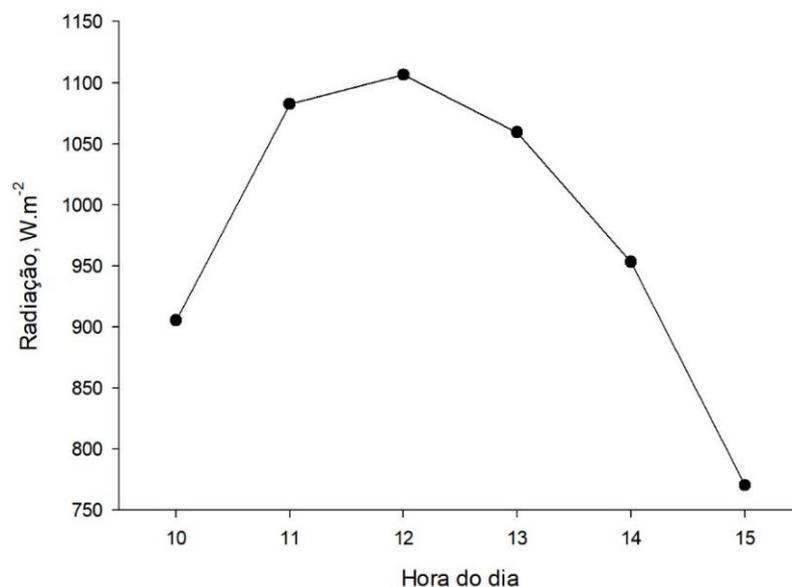
Para delimitar uma área constante de avaliação nas imagens, cada região – dorso, cabeça, globo ocular, focinho e barbel – foi analisada utilizando uma forma específica, determinando uma subárea fixa. As ferramentas linha, circular, retangular e polígono foram utilizadas para obter as temperaturas médias do nariz, peito, cabeça, dorso e circunferência ocular.

A análise de correlação de Pearson foi realizada para avaliar a relação entre as temperaturas superficiais das regiões corporais (focinho, dorso, olhos, barbel) e as variáveis meteorológicas (Temperatura do Bulbo Seco – TBS, Temperatura de Globo Negro – TGN e Umidade Relativa – UR) tanto em condições de sol quanto de sombra. As correlações foram calculadas utilizando o software RStudio.

3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

As temperaturas do ar variaram entre $30,2^{\circ}\text{C}$ e 41°C , com umidade relativa média de 63%. A radiação de ondas curtas ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) variou durante as horas do dia, com valores médios iguais a 1088, 1103 e $763 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ às 11:30h, 12:30h e às 15:30, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 – Variação de radiação solar ao longo do dia na Fazenda Experimental de Iguatemi.



Devido à maior incidência da radiação solar no período experimental, a frequência respiratória (Tabela 1) variou entre 19 e 29 $\text{resp}\cdot\text{min}^{-1}$ sendo menor às 12h30min, e atingindo

seu máximo às 15 horas. Não houve diferença significativa para a frequência respiratória (FR) ao longo dos horários estudados, exceto entre 11:30h (28 resp.min⁻¹) e 12:30h (19 resp.min⁻¹) (P<0,05). Contudo, no horário de maior radiação solar (1106 Wm⁻²), os animais apresentaram a menor FR. Isso pode ser explicado pelo acesso a recursos como água e sombra, que permitiram aos animais diminuir a exposição ao estresse térmico, mesmo sob intensa radiação. Esses recursos facilitaram a dissipação de calor, possibilitando que os bubalinos mantivessem o equilíbrio térmico sem a necessidade de aumentar a FR, normalmente associada ao estresse térmico.

Tabela 1 – Frequência Respiratória (FR, resp.min⁻¹) de búfalas adultas ao longo do dia.

Horário	Frequência Respiratória
11h30min	28 A
12h	24 AB
12h30min	19 B
14h30min	26 AB
15h	24 AB
15h30min	29 AB

Médias seguidas de letras distintas na linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05).

O sombreamento natural fornecido pelas árvores influenciou, de modo similar, a frequência respiratória das búfalas que utilizavam água para banho (Tabela 2). Com base nos resultados, comprova-se a eficiência do fornecimento de sombra na redução da FR aos animais em pastejo, conforme menciona Barbosa *et al.* (2004), que observaram diferença na FR, no período da tarde, para bovinos, com média de 95 ± 30 (resp.min⁻¹ ao sol) e 68 ± 18 (resp.min⁻¹ à sombra).

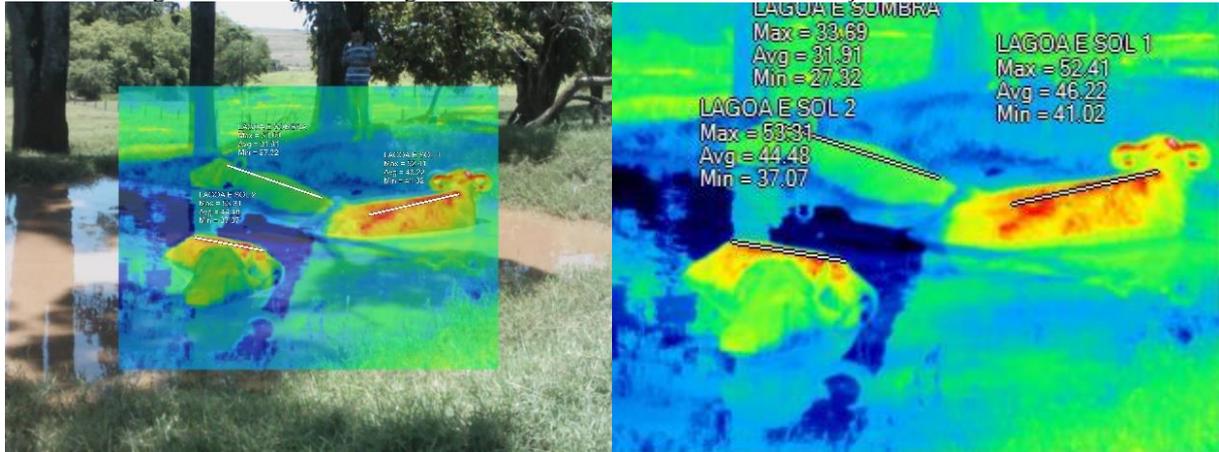
Tabela 2 – Frequência Respiratória (FR, resp.min⁻¹) de búfalas adultas em diferentes ambientes.

Ambiente	Frequência Respiratória
Lagoa e Sombra	21 B
Lagoa e Sol	23 AB
Sol	31 A

Médias seguidas de letras distintas na linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer (P<0,05).

A maior absorção de raios infravermelhos pela pele escura dos bubalinos (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1991) sugere um aumento na temperatura da pele após 12 horas. Em contraste, a presença de sombreamento natural e de um lago artificial para banho proporcionou aos animais a busca por uma combinação de recursos adequados para manter a temperatura corporal próxima dos níveis normais (38,0°C a 39,5°C) para a espécie. O animal que permaneceu na água e na sombra apresentou média de temperatura da região dorsal de 31,91°C. Em comparação, aqueles que permaneceram na água sob o sol registraram temperaturas de 44,48°C e 46,22°C (Figura 2).

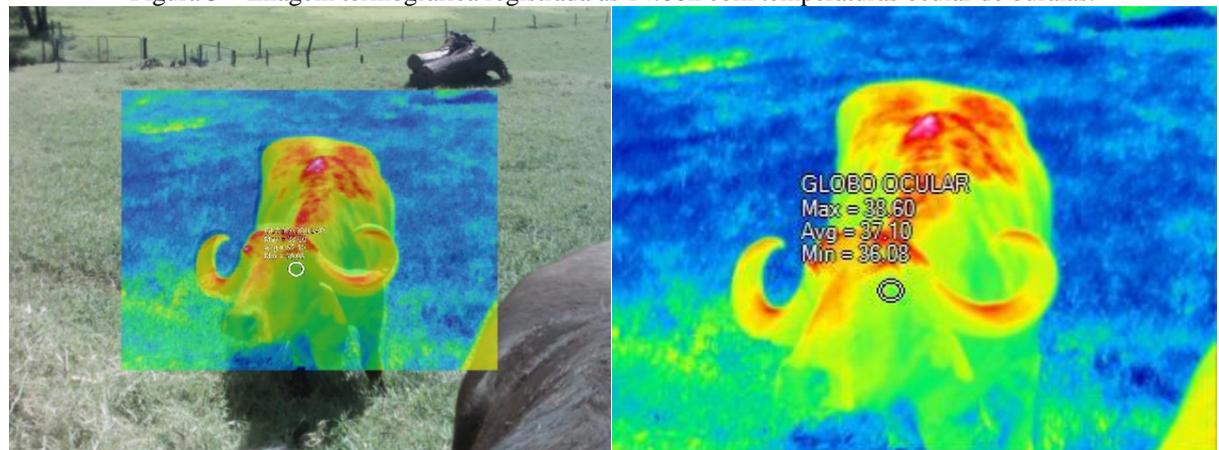
Figura 2 – Imagem termográficas do dorso de búfalas em chafurdação na sombra e ao sol.



A pele mais espessa e as altas concentrações de melanina nos bubalinos contribuem para aumentos na temperatura corporal quando expostos diretamente à radiação solar, resultando em menor eficiência na dissipação do calor latente. A estrutura, densidade, diâmetro, espessura e coloração dos pelos e da pele também desempenham um papel significativo nas trocas térmicas, influenciando a emissão e incidência de calor (SALLES *et al.*, 2017). Além disso, a chafurdação, prática comum entre os bubalinos, tem um efeito importante na regulação térmica. Ao se banharem em lama, os animais reduzem a temperatura corporal e a frequência respiratória (FR), pois aumenta a eficiência na transferência de calor para o ambiente. A lama promove a evaporação de água, ajudando a baixar a temperatura da superfície do corpo e melhorar o conforto térmico dos animais.

Em estudos conduzidos com termografia infravermelha, foi observado que a temperatura do olho, especialmente na borda posterior da pálpebra inferior e no orifício lacrimal, reflete a temperatura corporal média dos animais (DUNBAR *et al.*, 2009). A temperatura média ocular dos bubalinos foi registrada em 37,10°C (Figura 3), permanecendo abaixo dos valores considerados normais para a espécie (38,0°C a 39,5°C) (RADOSTITS *et al.*, 2000). A análise termográfica indicou que durante os períodos de maior desafio de irradiância ao longo do dia, os animais apresentaram temperaturas de superfície mais baixas, sem aumento da frequência respiratória para manter a termorregulação.

Figura 3 – Imagem termográfica registrada às 14:00h com temperaturas ocular de búfalas.

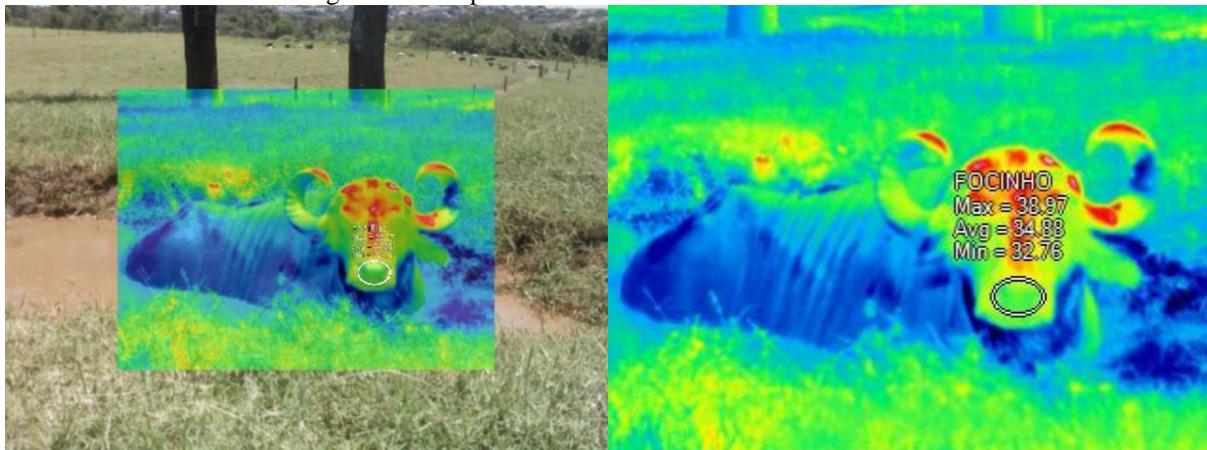


Em pesquisa realizada por Paim *et al.* (2018), verificou-se que a temperatura analisada na região do nariz (Figura 4) é um dos principais pontos afetados pelas variáveis ambientais, como umidade do ar, temperatura do globo negro e índice de temperatura. Isso sugere que, a

temperatura infravermelha do focinho é mais influenciada pelas condições ambientais do que pela fisiologia do próprio animal. Isso ocorre pela presença de janelas térmicas, áreas do corpo onde a transferência de calor com o ambiente é mais evidente.

Nessas regiões, como o focinho e os olhos, a pele é mais fina e a vasculatura mais próxima da superfície, facilitando a dissipação ou absorção de calor de acordo com as condições externas, tornando-as mais suscetíveis às variações climáticas. Mesmo durante um dia de onda de calor, com temperatura ambiente de 41°C e um índice elevado de radiação solar (1106 W.m⁻²), a temperatura do focinho registrada pela termografia foi em média 34,88°C, abaixo dos níveis normais citados na literatura (38,0°C a 39,5°C). Esse resultado contrasta com as condições climáticas desafiadoras, indicando que os animais, ao utilizar os recursos disponíveis como água e sombra, conseguiram contornar os efeitos adversos do ambiente e mantiveram suas respostas fisiológicas dentro de valores considerados como termoneutralidade.

Figura 4 – Temperaturas do focinho de búfala às 12:00h.

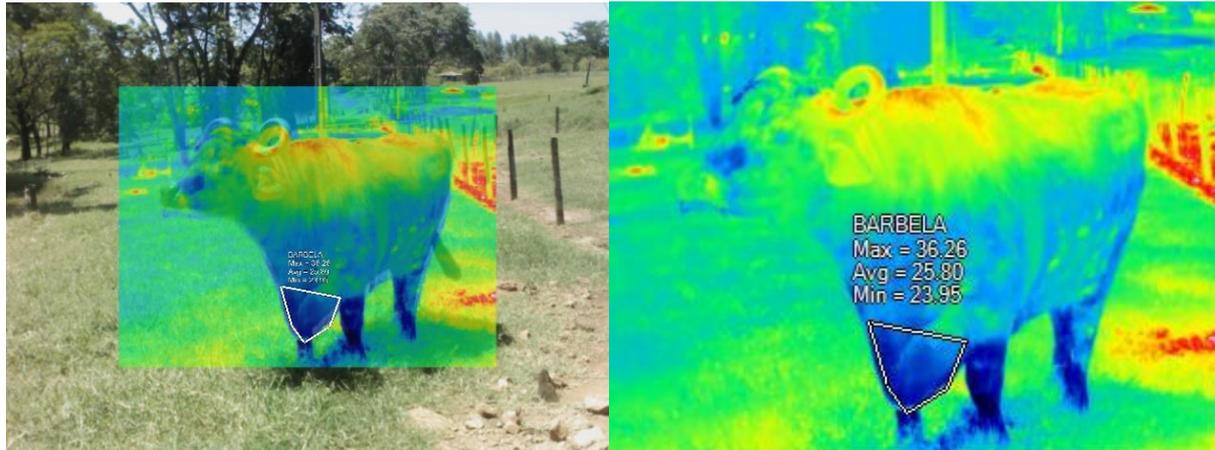


Em bovinos, a barbela é conhecida como um importante órgão na troca de calor (CARDOSO *et al.*, 2016; BRO-JØRGENSEN, 2016), de modo que animais expostos a temperatura ambiente superior a 30°C, realizam transferência de calor principalmente por evaporação cutânea (COSTA *et al.*, 2018). Apesar de os bubalinos serem menos eficientes na evaporação cutânea em comparação aos bovinos, devido à pele mais espessa e à maior concentração de melanina, que reduzem a dissipação e aumentam a absorção de calor por suor, eles ainda utilizam esse mecanismo em menor grau.

O peito pode ser considerado uma região diferenciada em bubalinos (Figura 5) devido à proeminente deposição de gordura. Sugere-se que as temperaturas mais baixas encontradas em animais adultos estejam relacionadas a uma fase da curva de crescimento, na qual há menor deposição de proteína e maior acúmulo de gordura (MOTA-ROJAS *et al.*, 2021).

À medida que os animais envelhecem, a deposição de gordura aumenta, o que pode influenciar a transferência de calor, uma vez que o tecido adiposo atua como isolante térmico. Esse acúmulo de gordura pode reduzir a eficiência na transferência de calor, tornando os bubalinos mais dependentes de estratégias comportamentais, como a busca por sombra e água, para manter o equilíbrio térmico em condições de calor intenso. Apesar disso, por ser uma região inferior e, frequentemente em contato com água e lama durante a chafurdção, o peito tende a apresentar uma temperatura média mais amena, contribuindo para o resfriamento do animal.

Figura 5 – Temperaturas da barbela de búfala às 14:30h.



Os resultados obtidos das correlações de Pearson entre as temperaturas corporais de diferentes regiões dos búfalos e as variáveis meteorológicas (Temperatura do Bulbo Seco – TBS, Temperatura de Globo Negro – TGN e Umidade Relativa – UR) (Tabela 3) fornecem importantes resultados sobre como essas regiões respondem às condições climáticas em ambientes com e sem sombra.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as temperaturas corporais de diferentes regiões e as variáveis meteorológicas em condições de sol e sombra.

Variáveis Meteorológicas	Região Corporal Bubalinos			
	Focinho	Dorso	Olhos	Barbela
Sol				
Temperatura do Bulbo Seco (TBS)	0.87*	0.26	0.76*	0.68*
Temperatura do Globo Negro (TGN)	0.49	0.18	0.29	0.29
Umidade Relativa (UR)	-0.83*	-0.30	-0.70*	-0.69*
Sombra				
Temperatura do Bulbo Seco (TBS)	0.33	-0.30	0.37	0.64*
Temperatura do Globo Negro (TGN)	0.39	-0.31	0.41	0.56
Umidade Relativa (UR)	-0.28	0.18	-0.22	-0.31

Correlação de Pearson: valores positivos indicam correlação direta, enquanto valores negativos indicam correlação inversa. Números seguidos por * indicam diferença significativa à 5% de probabilidade.

A alta correlação positiva entre a temperatura do focinho e a TBS ($r = 0.87$ p-valor = 0.0001) indica que essa região é fortemente influenciada pela temperatura ambiente, atuando como uma "janela térmica" de troca de calor com o meio. Essa região tem alta exposição e, portanto, tende a refletir diretamente as variações da temperatura ambiental. A correlação negativa com a UR ($r = -0.83$ p-valor = 0.0004) indica que à medida que a umidade relativa aumenta, a temperatura do focinho diminui, o que é semelhante ao observado por Cardoso *et al.* (2015).

A região dos olhos apresenta correlações significativas com a TBS ($r = 0.76$ p-valor = 0.0027) e a UR ($r = -0.70$ p-valor = 0.0071), indicando que os olhos são sensíveis às condições térmicas e de umidade do ambiente. A barbela apresentou uma correlação moderada a forte com a TBS ao sol ($r = 0.68$ p-valor = 0.0156) e uma correlação negativa com a UR ($r = -0.69$ p-valor = 0.0134), semelhante ao observado em outras regiões expostas, como o focinho. A barbela, com maior exposição ao ar, apresenta ser fortemente influenciada pelas condições ambientais. A barbela é conhecida como um importante órgão corporal para troca de calor (BRO-JØRGENSEN, 2016) e foi previamente identificada como um importante ponto corporal de temperatura infravermelha.

Em condições de sombra, a correlação entre a temperatura do focinho e a TBS diminui ($r = 0.33$ p-valor=0.27), o que indica que a sombra reduz o impacto direto da temperatura do ar nessa região. A correlação com a UR também é reduzida ($r = -0.28$ p-valor=0.35). A correlação com a TGN ($r = 0.39$ p-valor=0.19) é maior em comparação a outras regiões, sugerindo que o focinho ainda sofre alguma influência da radiação térmica do ambiente mesmo na sombra. Na sombra, a correlação da temperatura dos olhos com a TBS ($r = 0.37$ p-valor=0.21) e a UR ($r = -0.22$ p-valor=0.46) diminui em relação ao sol, mas ainda indica uma sensibilidade moderada dessa região às mudanças de tempo atmosférico. Esses resultados apoiam os olhos, a barbela e focinho como relacionados à resposta animal ao ambiente (termorregulação) e o focinho como um descritor ambiental (CARDOSO *et al.*, 2015; MCMANUS *et al.*, 2016).

Mesmo na sombra, a barbela mantém uma forte correlação com a TBS ($r = 0.64$ p-valor=0.0232) e uma correlação moderada com a TGN ($r = 0.56$ p-valor=0.06). Isso sugere que, mesmo em ambientes sombreados, essa região ainda participa ativamente das trocas térmicas com o meio, possivelmente devido à sua exposição ao ar e à grande superfície disponível para dissipação de calor (BRO-JØRGENSEN, 2016).

A análise da temperatura superficial utilizando termografia infravermelha oferece a capacidade de obter valores médios de temperatura para diferentes pontos anatômicos. Além disso, essa técnica permite identificar áreas que podem ser facilmente influenciadas por variáveis externas, como a temperatura, umidade e a radiação do ambiente. Fatores físicos e fisiológicos, incluindo variações na cor e densidade dos pelos, também podem afetar essas medições.

A ausência de comparação direta com métodos invasivos, como a medição da temperatura retal, constitui uma limitação do estudo. A escolha da termografia e da frequência respiratória foi intencional, visando minimizar o estresse induzido pela contenção dos animais. Estudos futuros podem incorporar métodos tradicionais de aferição para validar ainda mais os dados obtidos, contribuindo para uma avaliação mais abrangente do bem-estar animal.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a termografia infravermelha foi eficaz na avaliação do bem-estar dos bubalinos, capturando com precisão suas respostas térmicas ao ambiente. Mesmo durante uma onda de calor, os animais mantiveram temperaturas corporais próximas à termoneutralidade e uma frequência respiratória adequada, indicando conforto térmico. As correlações significativas entre as temperaturas corporais (focinho, olho e barbela) e variáveis meteorológicas (TBS e UR) reforçam a utilidade da termografia para monitorar e adequar práticas de manejo, minimizando o estresse térmico e garantindo melhores condições de bem-estar.

Em especial, as altas correlações observadas entre a temperatura do focinho e o TBS ao sol ($r = 0,87$) e a UR ($r = -0,83$) apontam para uma sensibilidade dessa região corporal aos fatores climáticos, destacando a importância dessas áreas como "janelas térmicas" na avaliação do bem-estar animal. Embora a ausência de comparação direta com métodos invasivos, como a medição de temperatura retal, constitua uma limitação do estudo, a escolha da termografia e da frequência respiratória visou minimizar o estresse induzido pela contenção dos animais, mantendo o foco em uma metodologia não invasiva. Estudos futuros podem integrar métodos tradicionais de aferição, como a temperatura retal, para corroborar os dados obtidos, ampliando a precisão e confiabilidade da avaliação do bem-estar animal com o uso da termografia.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BRO-JØRGENSEN, J. Evolution of the ungulate dewlap: thermoregulation rather than sexual selection or predator deterrence. ***Frontiers in Zoology***, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2016.

CARDOSO, C.; LIMA, F.; FIORAVANTI, M.; *et al.* Heat Tolerance in Curraleiro PeDuro, Pantaneiro and Nelore Cattle Using Thermographic Images. ***Animals***, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

CARDOSO, C. C.; PERIPOLLI, V. S. A.; AMADOR, E. G.; *et al.* Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science*, v. 182, p. 83–92, 2015. doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.022.

CHURCH, J. S.; HEGADOREN, P. R.; PAETKAU, M. J. *et al.* Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Research in Veterinary Science*. v. 96, n.1, p. 220-226, 2014.

COSTA, C. C. M.; MAIA, A. S. C.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N. *et al.* Thermal balance of Nelore cattle. ***International Journal of Biometeorology***, v. 62, n. 5, p. 723-731, 2018.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. **Thermal biology of domestic animals**. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 3, n. 1, p. 513-532, 2015.

DA SILVA RG, MAIA ASC. **Principles of Animal Biometeorology**, New York: Springer. 2013.

DAS, R.; SAILO, L.; VERMA, N.; BHARTI, P.; SAIKIA, J.; IMTIWATI. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary World*, v. 9, n. 3, p. 260–268, 2016. doi: 10.14202/vetworld.2016.260-268.

DUNBAR, M. R.; JOHNSON, S. R.; RHYAN, J. C.; *et al.* Use of Infrared Thermography to Detect Thermographic Changes in Mule Deer (*Odocoileus hemionus*) Experimentally Infected with Foot-and-Mouth Disease. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. v. 40, n. 2, p. 296–301, 2009.

EL DEBAKY, H. A.; KUTCHY, N. A.; UL-HUSNA, A.; INDRIASTUTI, R.; AKHTER, S.; PURWANTARA, B.; MEMILI, E. **Review: Potential of water buffalo in world agriculture: Challenges and opportunities**. *Applied Animal Science*, v. 35, n. 2, p. 255–268, 2019.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Climate change and food security: risks and responses. Rome: FAO, 110 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i5188e/I5188E.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2024.

FLUKE CORPORATION. *Fluke Connect: Wireless Test Tools and Software*. Everett: Fluke Corporation, 2010. Manual técnico.

MARTELLO, L. S.; LUZ E SILVA, S.; COSTA GOMES, R.; *et al.* Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 173-181, 2016.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; *et al.* Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 123, p. 10–16, 2016. doi: 10.1016/j.compag.2016.01.027.

MOTA-ROJAS, D.; PEREIRA, A. M.; WANG, D.; MARTÍNEZ-BURNES, J.; GHEZZI, M.; HERNÁNDEZ-AVALOS, I.; *et al.* Clinical applications and factors involved in validating thermal windows used in infrared thermography in cattle and river buffalo to assess health and productivity. *Animals*, v. 11, p. 2247, 2021. doi: 10.3390/ani11082247.

PAIM, T. P.; GOULARD, R. O.; SILVA, D. A. L.; *et al.* Relationship of weight gain with infrared temperatures in Nelore and F1 (Nelore x Angus) heifers reared in two forage production systems. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE, 2018, Vancouver. Anais... Champaign, IL: American Society of Animal Science, 2018.

PANTOJA, M. H. A.; SILVA, J. A. R.; DELGADO, M. L.; *et al.* Respostas fisiológicas e adaptabilidade de bubalinos ao clima equatorial amazônico. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, v. 16, 2018.

RADOSTITS, O.; HOUSTON, D.; MAYHEW, I. **Veterinary Clinical Examination and Diagnosis**. Philadelphia, PA, USA: W.B. Saunders, 2000.

ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, p. 73-84, 2014.

SALLES, M. S. V.; SILVA, S. C.; ROMA, L. C.; *et al.* Detection of heat produced during roughage digestion in ruminants by using infrared thermography. *Animal Production Science*, v. 57, n. 5, p. 1040–1046, 2017. doi: 10.1071/AN15655.

SEVEGNANI, K. B.; FERNANDES, D. P. B.; MODENESE-GORLA DA SILVA, S. H. **Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography**. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, v. 36, n. 1, p. 1-12, 2016.

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

