




Comparação entre métodos de termografia infravermelha ocular em equinos submetidos a treinamento para equoterapia

[Comparison between methods of ocular infrared thermography in horses undergoing training for hippotherapy]

Lara Carolynne da Silva Costa*¹ , Emmanuel Arnhold¹ , Jorge Dornelles Passamani² , Teresa Souza Alves³ , Antonio Raphael Teixeira Neto³ , Letícia Corrêa Celeste² , Kate Moura da Costa Barcelos¹ 

1 Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil 

2 Associação Nacional de Equoterapia (ANDE), Brasília, Distrito Federal, Brasil

3 Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil 

*autor correspondente: laracarolynne1@gmail.com

Recebido: 13 de outubro de 2025. Aceito: 18 de março de 2026. Publicado: 09 de abril de 2026.

Editor: Luiz Augusto B. Brito

Resumo: A avaliação do estresse em equinos demanda métodos objetivos, sensíveis e não invasivos, sendo a termografia infravermelha ocular uma ferramenta promissora nesse contexto. Objetivou-se comparar métodos distintos na aquisição de imagens térmicas da região ocular em equinos consideradas, até o presente momento, de maior sensibilidade térmica a estímulos potencialmente estressores, visando contribuir para o refinamento metodológico dessa técnica. Avaliou-se, por 6 meses, 7 cavalos machos castrados da raça Quarto de Milha em treinamento de doma para equoterapia. As termografias eram realizadas com termógrafo FLIR E40, com distâncias de 0,5m e 1,0m dos olhos dos animais, em ângulo de 90º, dos lados direito e esquerdo, nas regiões da carúncula lacrimal, canto medial e canto lateral dos olhos. Dados obtidos foram comparados ao longo do tempo utilizando ANOVA e múltipla comparação das médias pelo teste de Tukey. A distância de captura influenciou significativamente a temperatura ocular ($p < 0,001$). Entretanto, as regiões oculares e o lado dos olhos não apresentaram diferenças ($p > 0,05$). Apesar da ausência de diferenças estatísticas entre as três regiões oculares avaliadas, a carúncula lacrimal apresentou maior consistência térmica ao longo do período experimental. A distância de 0,5m proporcionou maior consistência na aquisição das imagens e menor variabilidade operacional, sendo recomendada para futuras avaliações. Embora não tenham sido observadas diferenças entre os lados oculares, recomenda-se a padronização da avaliação no olho esquerdo, em razão da maior facilidade de manejo e posicionamento do avaliador. A adoção dos parâmetros metodológicos mais estáveis identificados neste estudo contribui significativamente para aumentar a reprodutibilidade e a confiabilidade das avaliações termográficas sequenciais em equinos.

Palavras-chave: bem-estar animal; carúncula lacrimal; cavalos; fisiologia; quarto de milha.

Abstract: The assessment of stress in horses requires objective, sensitive, and non-invasive methods, with infrared ocular thermography being a promising tool in this context. This study aimed to compare different methods for acquiring thermal images of the ocular region in horses, focusing



on areas currently considered to present higher thermal sensitivity to potentially stressful stimuli, in order to contribute to the methodological refinement of this technique. Seven Quarter Horse geldings in training for hippotherapy were evaluated over six months. Thermographic evaluations were performed using a FLIR E40 thermal camera at distances of 0.5m and 1.0m from the animals' eyes, at a 90° angle, on both right and left sides, specifically targeting the lacrimal caruncle, medial canthus, and lateral canthus regions. Data collected over time were analyzed using ANOVA and Tukey's test for multiple comparison of means. Capture distance significantly influenced ocular temperature ($p < 0.001$). However, ocular regions and eye side showed no significant differences ($p > 0.05$). Despite the absence of statistical differences among the three ocular regions evaluated, the lacrimal caruncle exhibited greater thermal stability throughout the experimental period. The 0.5m distance provided greater consistency in image acquisition and lower operational variability, being recommended for future evaluations. Although no differences were observed between eye sides, standardization of the evaluation on the left eye is recommended due to easier handling and evaluator positioning. Adopting the most stable methodological parameters identified in this study significantly contributes to increasing the reproducibility and reliability of sequential thermographic evaluations in horses.

Keywords: animal welfare; lacrimal caruncle; horses; physiology; quarter horse.

1. Introdução

Na equinocultura, o bem-estar animal tem adquirido crescente relevância, especialmente em atividades esportivas, terapêuticas e de manejo, nas quais é essencial garantir saúde, desempenho, longevidade e qualidade de vida aos equinos ⁽¹⁾. Desta forma, torna-se imprescindível a adoção de métodos objetivos, sensíveis e preferencialmente não invasivos para o monitoramento das respostas dos animais a estímulos potencialmente estressantes ⁽²⁾.

A termografia infravermelha (TI) destaca-se como uma ferramenta promissora para esse fim, por permitir a avaliação da distribuição térmica superficial sem contato físico direto, reduzindo interferências associadas à contenção e à manipulação dos animais ⁽³⁾. Essa técnica possibilita a obtenção de imagens em tempo real, com ampla aplicabilidade em ambientes de treinamento, competições, transporte, manejo e na clínica veterinária ⁽⁴⁾. Diversos estudos demonstram sua utilidade na identificação de alterações musculoesqueléticas, inflamatórias e fisiológicas, bem como na investigação de respostas térmicas associadas a situações potencialmente estressoras ⁽⁵⁻⁷⁾.

Dentre as diferentes regiões corporais, a área ocular tem sido amplamente utilizada em estudos termográficos, em razão de suas características anatômicas e fisiológicas ^(4,8). A reduzida cobertura pilosa e a elevada vascularização superficial favorecem a detecção de variações térmicas, tornando essa região particularmente sensível a alterações hemodinâmicas associadas à ativação autonômica ⁽⁹⁾. Além disso, a acessibilidade anatômica da região ocular permite o posicionamento adequado da câmera termográfica, mesmo na ausência de contenção física rigorosa, minimizando interferências externas durante a aquisição das imagens ⁽¹⁰⁾.

A literatura descreve a utilização de diferentes pontos oculares para a avaliação termográfica em equinos, com destaque para a carúncula lacrimal, o canto medial e o canto lateral ^(1, 4, 11, 12, 13). Estudos prévios indicam que essas regiões apresentam comportamento térmico responsivo em contextos potencialmente estressantes, como transporte, exercício físico e competições, sugerindo seu potencial como indicadores indiretos de ativação fisiológica ^(1,9,12). Do ponto de vista oftalmológico, as regiões oculares apresentam características anatômicas e funcionais distintas que podem influenciar a resposta térmica observada, especialmente quando avaliadas por métodos de imagem que captam variações superficiais, como a termografia infravermelha ^(14,15,16).

A carúncula lacrimal é constituída por tecido conjuntivo ricamente vascularizado, contendo glândulas lacrimais acessórias e intensa inervação autonômica, o que favorece respostas térmicas rápidas frente a estímulos sistêmicos ^(15, 17, 18). Por sua vez, os cantos medial e lateral diferem quanto à espessura tecidual, densidade vascular e proximidade com estruturas palpebrais e lacrimais, fatores que podem interferir na dissipação de calor e na dinâmica térmica local ^(15,16). Estudos recentes em oftalmologia veterinária ressaltam que essas particularidades anatômicas devem ser consideradas na interpretação de exames por imagem da região ocular, especialmente em estudos comparativos entre diferentes pontos de mensuração ^(17, 16).

Apesar dos avanços observados na aplicação da TI ocular, ainda persistem lacunas metodológicas importantes relacionadas à escolha da região ocular mais adequada, à influência do lado avaliado (direito ou esquerdo) e à distância ideal para a captura das imagens termográficas. Essas variáveis operacionais exercem impacto direto sobre a qualidade das imagens, a estabilidade dos valores térmicos obtidos e a reprodutibilidade dos resultados, dificultando a comparação entre estudos e a consolidação de protocolos experimentais consistentes.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo comparar diferentes metodologias de aquisição de imagens termográficas da região ocular em equinos, avaliando o efeito da distância de captura, da região ocular analisada e do lado do olho sobre os valores de temperatura superficial. Busca-se, assim, fornecer subsídios para o refinamento e a melhor escolha metodológica dessa técnica, favorecendo sua aplicação em estudos de bem-estar animal, manejo e treinamento de equinos.

2. Material e métodos

Antes do período experimental, todos os animais passaram por uma inspeção veterinária, incluindo avaliações hematológicas e de estado físico geral, sendo considerados clinicamente saudáveis. Além disso, foi realizada avaliação oftalmológica clínica prévia, conforme descrito na literatura especializada em oftalmologia equina ^(19,20), descartando quaisquer alterações que comprometessem a participação dos animais. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Goiás (CEUA-UFG), sob o protocolo nº 011/24.

Foram utilizados neste estudo sete equinos da raça Quarto de Milha, todos com idade superior a três anos, com estatura média variando entre 1,40 m e 1,42 m ($1,38 \pm 0,04$ m), e peso corporal entre 310 e 415 Kg (354 ± 34 Kg), pelagem variando entre castanhos e alazões, todos com pele preta ao redor dos olhos, sem manchas ao redor dos olhos. Todos eram machos castrados. Os animais encontravam-se em treinamento de doma com finalidade voltada à equoterapia, sendo gentilmente disponibilizados pela Associação Nacional de Equoterapia (ANDE-BRASIL). Os animais eram mantidos trabalhando 3x/semana, na hípica sede da ANDE-BRASIL, situada em Brasília/DF, Brasil.

Neste local, os animais foram alojados em baias individuais (4 m x 4 m) contendo um comedouro de alvenaria e bebedouro automático, com acesso *ad libitum* à água. Em relação a alimentação, a oferta de matéria seca era correspondente a 2,25 % do peso corporal vivo (PV), divididos entre concentrado comercial (duas vezes ao dia) e volumoso (três vezes ao dia). Os animais passavam a noite e o momento da coleta nas baias, seguindo posteriormente para o trabalho ou soltura nos piquetes em dias alternados. Todos os animais eram trabalhados pelo mesmo treinador seguindo a mesma metodologia de treinamento. Na manhã da coleta eram alimentados com concentrado das 7h às 7h30 e logo após a alimentação, era colocado o cabresto

no cavalo e este era amarrado dentro da baía, livre de incidência de luz direta e vento, onde permaneciam sem nenhum tipo de contato próximo a região da cabeça até o início das atividades experimentais/coletas termográficas (8h30).

O período experimental teve duração de seis meses, sendo realizada uma avaliação termográfica mensal de cada olho de cada animal, totalizando seis coletas por indivíduo. As avaliações foram realizadas sempre antes do exercício físico diário, com o objetivo de minimizar possíveis interferências de alterações hemodinâmicas ou metabólicas decorrentes da atividade física sobre a temperatura superficial ocular.

As regiões de interesse (RIs) foram selecionadas segundo Soroko; Howell ⁽⁴⁾; Aragona et al. ⁽¹²⁾; Kim; Cho ⁽¹⁾; Valera et al. ⁽¹³⁾, incluindo: carúncula lacrimal, canto medial e canto lateral dos olhos (Figura 1).

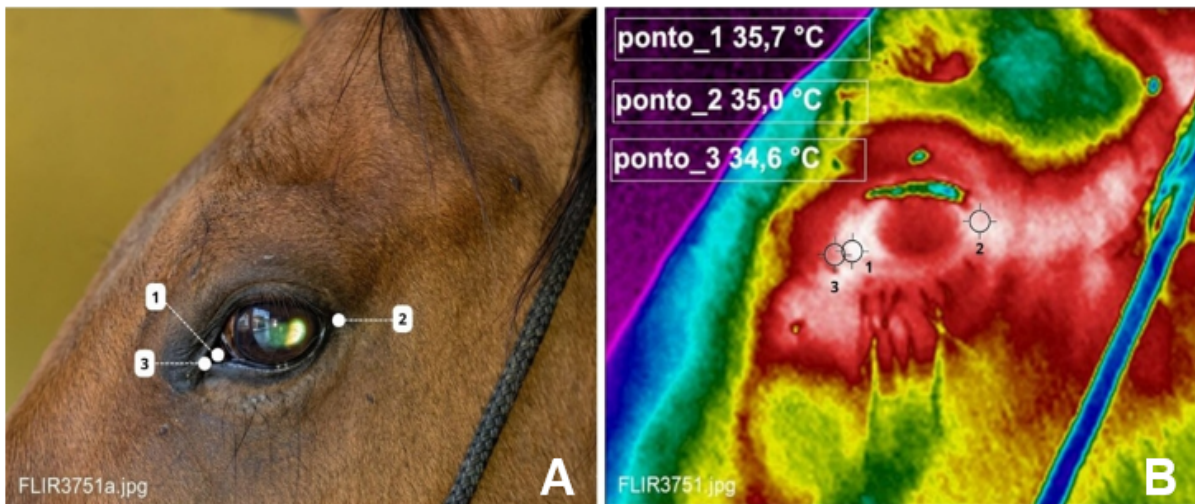


Figura 1. Regiões de interesse avaliadas: 1 – Carúncula lacrimal 2 – Canto lateral 3 – Canto medial. (A) Imagem do olho esquerdo de um cavalo; (B) Termograma do olho esquerdo de um cavalo.

Cada RI foi avaliada em duas distâncias pré-definidas de 0,5 m e 1,0 m dos olhos direito e esquerdo, com a câmera termográfica posicionada a 90° do plano sagital dos olhos dos animais para todas as capturas das imagens térmicas oculares (foco no globo ocular) (Figura 2).

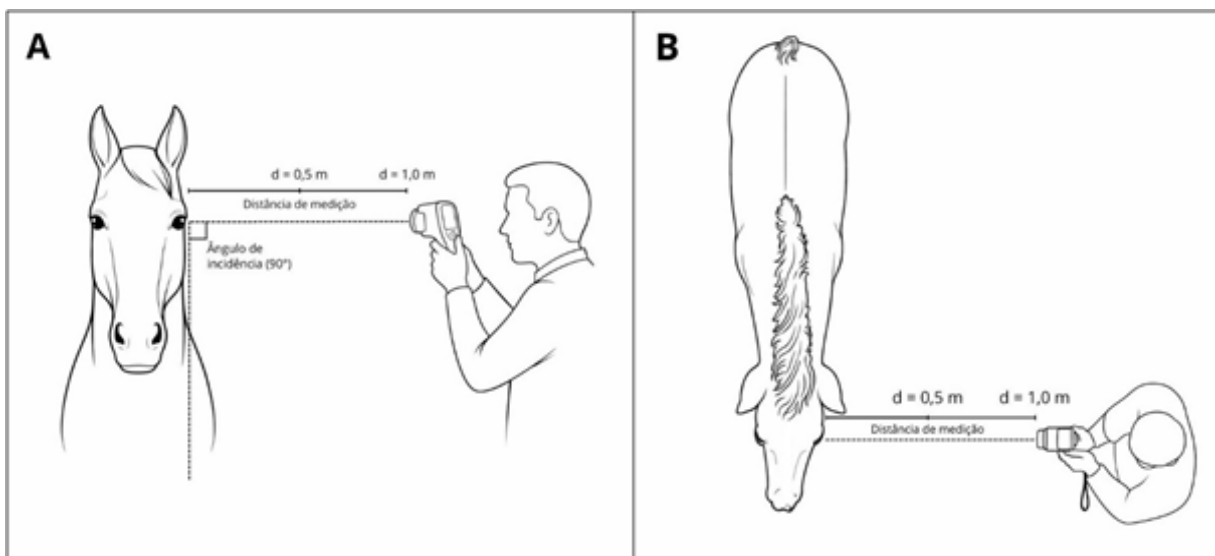


Figura 2. Esquema visual da dinâmica de posicionamento nas avaliações termográficas. (A) Vista frontal do posicionamento cavalo – termógrafo – avaliador; (B) Vista superior do posicionamento cavalo – termógrafo – avaliador. Imagem gerada com auxílio da ferramenta Gemini.

As distâncias eram medidas por Trena Laser Digital (Mileseey®) onde o marcador a laser era direcionado até a pálpebra inferior ao globo ocular. As imagens termográficas da região ocular foram capturadas com uma câmera FLIR E40, possuindo resolução de 160 x 120 pixels, operando em uma faixa de temperatura de -20°C a 650°C, o que ofereceu precisão de $\pm 2^\circ\text{C}$ ou $\pm 2\%$ nas leituras, garantindo resultados confiáveis. Com sensibilidade térmica inferior a $0,07^\circ\text{C}$ a 30°C , detectando mínimas diferenças de temperatura.

Antes da captura das imagens houve a calibração do termógrafo FLIR E40 sendo inseridas a temperatura ambiental e umidade relativa do ar com base nas informações disponibilizadas pelo aplicativo meteorológico (Apple Weather®, iOS) em todos os dias do experimento, visando a diminuição de variáveis ambientais que influenciassem o resultado da temperatura ocular (Tabela 1). Quanto a emissividade da superfície, foi ajustada para $\varepsilon = 0,98$ em todas as coletas, valor adequado para pele de mamíferos ⁽⁴⁾.

Tabela 1. Valores mensais da temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$) e da umidade relativa do ar (%) registrados no início de cada coleta realizada entre novembro de 2024 e abril de 2025. Os dados estão expressos como Média \pm Desvio padrão (DP).

| Mês/Ano | Temperatura ($^\circ\text{C}$) | Umidade Relativa (%) |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Novembro/24 | 21 | 70 |
| Dezembro/24 | 22 | 63 |
| Janeiro/25 | 20 | 89 |
| Fevereiro/25 | 24 | 64 |
| Março/25 | 22 | 78 |
| Abril/25 | 21 | 87 |
| Média \pm DP | 21,7 \pm 1,3 | 75,2 \pm 10,4 |

As coletas foram iniciadas pontualmente às 8h30. Sendo a ordem de coleta sorteada aleatoriamente. Os animais foram adequadamente posicionados dentro das cocheiras com o uso de cabresto e auxílio de uma guia, a fim de facilitar a captura das imagens termográficas. Para cada olho, foram realizadas duas capturas por distância. Caso houvesse artefatos, desfoque ou fechamento parcial do olho, novas imagens eram realizadas.

Todas as imagens foram numeradas e registradas manualmente em uma planilha contendo a data, identificação do animal, lado avaliado e distância entre a câmera e o olho. Posteriormente, as imagens foram analisadas no software IRISoft (PoliScan®, FLIR Systems Inc., Wilsonville, OR, EUA), sendo selecionadas aquelas que apresentavam a melhor qualidade técnica, possuindo foco nítido, ausência de artefatos térmicos e o olho completamente aberto. Visando garantir uniformidade na apresentação das imagens, todas foram processadas utilizando a mesma escala de cores durante a análise (*Rainbow*). Para cada animal, foi escolhida uma imagem de cada olho (esquerdo e direito) em duas distâncias (0,5 m e 1,0 m), totalizando quatro imagens por indivíduo. No software, as RIs foram delimitadas com uma ferramenta circular de seleção, posicionada manualmente sobre as regiões da carúncula lacrimal, canto medial e canto lateral do olho, fornecendo a temperatura exata de cada área.

A análise estatística foi conduzida considerando três fatores fixos em um modelo fatorial completo (Tabela 2) e a variação de temperatura entre os meses. Os meses entraram no modelo como medida repetida no tempo. Os dados obtidos foram comparados ao longo do tempo utilizando análise de variância (ANOVA), em um modelo misto, considerando o efeito de bloco (animal) aleatório. Para múltipla comparação das médias foi utilizado o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 2. Fatores experimentais (Fator 1, 2 e 3) considerados na análise estatística.

| Fator | Nome do Fator | Níveis | Descrição |
|---------|---------------|---|--|
| Fator 1 | Região ocular | Carúncula lacrimal Canto medial Canto lateral | Regiões específicas analisadas por termografia. |
| Fator 2 | Distância | 0,5 m 1,0 m | Distância entre a câmera termográfica e o olho do animal durante a coleta. |
| Fator 3 | Lado do olho | Direito Esquerdo | Olho direito ou esquerdo do cavalo, analisados separadamente. |

3. Resultados

Todas as interações não foram significativas, portanto, todos os fatores foram analisados de forma isolada. O Fator 2 (distância de captura) apresentou diferença sobre a temperatura ocular dos equinos, com $p < 0,001$ (Tabela 3), onde a média observada na distância de 1,0 m ($34,5^{\circ}\text{C}$) foi superior à registrada em 0,5 m ($34,2^{\circ}\text{C}$).

Tabela 3. Médias ajustadas e desvio padrão (DP) para a distância de captura (Fator 2).

| Distância | Média ajustada ($^{\circ}\text{C}$) \pm DP | p |
|-----------|--|--------|
| 1,0 m | $34,5 \pm 0,05^a$ | <0,001 |
| 0,5 m | $34,2 \pm 0,05^b$ | |

Letras diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto aos Fatores 1 e 3 (regiões oculares e lados dos olhos) analisados em separado, não houve diferença ($p = 0,187$ e $p = 0,112$, respectivamente), conforme apresentado nas Tabelas 4 para regiões oculares e 5 para lado do olho.

Tabela 4. Médias ajustadas para as regiões oculares (Fator 1).

| Região ocular | Média ajustada ($^{\circ}\text{C}$) \pm DP | p |
|--------------------|--|-------|
| Carúncula Lacrimal | $34,5 \pm 0,07^a$ | 0,187 |
| Canto medial | $34,4 \pm 0,07^a$ | |
| Canto lateral | $34,3 \pm 0,07^a$ | |

Letras iguais nas colunas indicam que não houve diferença significativa entre as regiões dos olhos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Tabela 5. Médias ajustadas para o lado do olho (Fator 3).

| Lado do olho | Média ajustada ($^{\circ}\text{C}$) \pm DP | p |
|--------------|--|-------|
| Direito | $34,5 \pm 0,05^a$ | 0,112 |
| Esquerdo | $34,3 \pm 0,05^a$ | |

Letras iguais nas colunas indicam que não houve diferença significativa entre os lados dos olhos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Ao comparar as médias obtidas para todas as regiões oculares (canto lateral, canto medial e carúncula lacrimal) durante os seis meses, não foi encontrada diferença significativa na média geral ($p = 0,065$). Contudo, ao serem avaliadas mensalmente de forma individual, as regiões oculares apresentaram resultados distintos e significantes (Tabelas 6, 7 e 8).

Tabela 6. Médias ajustadas da temperatura ocular (°C), desvio padrão (DP) e temperaturas mínima e máxima da região do canto lateral dos olhos ao longo dos meses.

| Mês | Média ajustada (°C) ± DP | Mínimo-Máximo (°C) | p |
|-----------|--------------------------|--------------------|-------|
| Dezembro | 35,2±0,98 ^a | 33,5 – 36,3 | 0,019 |
| Abril | 34,2±0,31 ^{ab} | 33,9 – 34,7 | |
| Fevereiro | 34,2±0,34 ^{ab} | 33,7 - 35,0 | |
| Março | 33,9±0,39 ^{ab} | 33,5 – 34,4 | |
| Novembro | 33,7±0,96 ^b | 32,2 – 35,1 | |
| Janeiro | 33,4±1,69 ^b | 30,0 – 34,9 | |

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Observamos que houve efeito significativo do mês ($p = 0,01$) sobre a temperatura ocular na região do canto lateral. A maior média foi observada em dezembro ($35,2 \pm 0,98^\circ\text{C}$), diferindo significativamente dos meses de novembro ($33,7 \pm 0,96^\circ\text{C}$) e janeiro ($33,4 \pm 1,69^\circ\text{C}$). Já nas médias registradas em abril ($34,2 \pm 0,31^\circ\text{C}$), fevereiro ($34,2 \pm 0,34^\circ\text{C}$) e março ($33,9 \pm 0,39^\circ\text{C}$) nota-se valores próximos, não diferindo dos demais meses. Seguindo para as demais regiões oculares (canto medial e carúncula lacrimal), ambas apresentaram resultados significativos (Tabelas 7 e 8).

Quanto ao canto medial ($p = 0,005$), o mês de dezembro manteve a maior média ($35,8 \pm 0,78^\circ\text{C}$) diferindo significativamente dos meses de janeiro ($33,4 \pm 1,46^\circ\text{C}$) e março ($32,7 \pm 2,09^\circ\text{C}$). Valores intermediários foram encontrados nas médias registradas em abril ($34,4 \pm 0,89^\circ\text{C}$), fevereiro ($33,7 \pm 1,64^\circ\text{C}$) e novembro ($33,7 \pm 0,66^\circ\text{C}$), sem apresentar diferença relevante quando comparadas aos demais meses (Tabela 7).

Tabela 7. Médias ajustadas da temperatura ocular (°C), desvio padrão (DP) e temperaturas mínima e máxima da região do canto medial dos olhos ao longo dos meses.

| Mês | Média ajustada (°C)± DP | Mínimo-Máximo (°C) | P |
|-----------|---------------------------|--------------------|-------|
| Dezembro | 35,8 ± 0,78 ^a | 34,9 - 37,2 | 0,005 |
| Abril | 34,4 ± 0,89 ^{ab} | 33,4 - 36,1 | |
| Fevereiro | 33,7 ± 1,64 ^{ab} | 30,1 - 34,7 | |
| Novembro | 33,7 ± 0,66 ^{ab} | 32,7 - 34,8 | |
| Janeiro | 33,4 ± 1,46 ^b | 30,8 - 34,8 | |
| Março | 32,7 ± 2,09 ^b | 28,7 – 35,0 | |

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Seguindo para a região de carúncula lacrimal, identificamos o efeito significativo do mês ($p = 0,002$) sobre a temperatura ocular, onde a maior média foi observada em dezembro ($36,1 \pm 0,64^\circ\text{C}$), diferindo dos meses de novembro ($34,4 \pm 0,60^\circ\text{C}$), janeiro ($33,9 \pm 1,34^\circ\text{C}$) e março ($33,8 \pm 1,17^\circ\text{C}$), e não apresentando diferença entre as médias dos meses de abril ($34,7 \pm 0,96^\circ\text{C}$) e fevereiro ($34,6 \pm 0,68^\circ\text{C}$).

Tabela 8. Médias ajustadas da temperatura ocular (°C), desvio padrão (DP) e temperaturas mínima e máxima da região de carúncula lacrimal dos olhos ao longo dos meses.

| Mês | Média ajustada (°C)± DP | Mínimo - Máximo (°C) | P |
|-----------|---------------------------|----------------------|-------|
| Dezembro | 36,1 ± 0,64 ^a | 35,3 – 37,0 | 0,002 |
| Abril | 34,7 ± 0,96 ^{ab} | 33,4 – 36,0 | |
| Fevereiro | 34,6 ± 0,68 ^{ab} | 33,7 - 35,5 | |
| Novembro | 34,4 ± 0,60 ^b | 33,3 – 35,0 | |
| Janeiro | 33,9 ± 1,34 ^b | 31,4 - 35,1 | |
| Março | 33,8 ± 1,17 ^b | 31,7 - 35,1 | |

Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4. Discussão

Nenhuma das interações foram significativas, portanto, todos os três fatores foram analisados de forma isolada. Pode-se observar a grande influência da distância de captura sobre os valores de temperatura ocular coletados. As imagens obtidas a 0,5 m apresentaram temperaturas médias inferiores àquelas obtidas a 1,0 m, diferença essa que pode estar associada à forma como a lente captou e interpretou a radiação térmica, sendo modificada de acordo com o enquadramento, foco e distância da área avaliada^(21,4). Johnson et al.⁽²²⁾ relatam que distâncias iguais ou superiores a 1,0 m podem aumentar a área de interesse incluída na análise, influenciando os valores médios de temperatura. Em distâncias menores, como 0,5 m, há maior focalização na região ocular específica, reduzindo a interferência de tecidos adjacentes e possíveis distorções geométricas ⁽¹⁾. Assim, a padronização rigorosa da distância de captura mostra-se essencial para garantir reprodutibilidade e comparabilidade entre estudos. Quanto as regiões oculares analisadas (carúncula lacrimal, canto medial e canto lateral), ao considerar as médias gerais, não foram observadas diferenças significativas, sugerindo comportamento térmico semelhante sob condições controladas de manejo e ambiente ⁽¹³⁾. Esse achado indica que, quando o posicionamento e a distância da câmera são mantidos constantes, as três regiões podem fornecer leituras representativas ⁽⁴⁾. Contudo, diferenças pontuais entre meses foram observadas quando as regiões foram analisadas individualmente, demonstrando que variações ambientais e fisiológicas podem impactar cada ponto de maneira distinta.

Do ponto de vista anatômico e oftalmológico, essas regiões apresentam características próprias que podem influenciar sua dinâmica térmica. A carúncula lacrimal é ricamente vascularizada, apresenta tecido conjuntivo superficial com menor interferência de cobertura pilosa e delimitação anatômica mais evidente, fatores que favorecem maior estabilidade na captação térmica ^(4,10). Kim e Cho ⁽¹⁾ sugerem o canto medial como referência por sua correlação com temperatura retal e menor variação frente a alterações externas. Já o canto lateral pode sofrer influência da cobertura palpebral superior e de variações na exposição ambiental ^(1,11,14).

Em relação ao fator lado do olho, não houve diferença significativa entre os olhos direito e esquerdo ^(23,24). Embora Farmer et al. ⁽²⁵⁾ e Krueger et al. ⁽²⁶⁾ relatem uma lateralização comportamental em equinos, com possível predominância do uso do olho esquerdo em avaliações com estímulos estressores, associadas à ativação do hemisfério direito cerebral (responsável pelas respostas autonômicas ao estresse), tal efeito não foi observado neste estudo. As avaliações foram realizadas com os animais em repouso dentro de suas respectivas baias, sob rotina habitual de manejo e treinamento, com o mesmo treinador e tratador, alojamento e alimentação semelhante, o que pode ter reduzido quaisquer estímulos capazes de desencadear respostas autonômicas diferenciadas entre os lados. Sendo assim, ambos os olhos podem ser utilizados para fins metodológicos, sendo possível optar pelo lado esquerdo por questões práticas de manejo ⁽²⁷⁾, desde que mantida consistência nas avaliações sequenciais.

As coletas realizadas ao longo de seis meses evidenciaram variações mensais significativas nas temperaturas oculares em todas as regiões avaliadas, com destaque para valores mais elevados em dezembro. Reconhece-se que variações sazonais de temperatura ambiente e umidade relativa podem influenciar a temperatura ocular superficial^(28,24). Estudos com objetivo exclusivamente metodológico poderiam concentrar as avaliações em períodos mais curtos, a fim de reduzir interferências ambientais e isolar de maneira mais controlada os efeitos da distância, da região ocular e do lado do olho avaliado. Entretanto, no presente estudo, optou-se por manter o

acompanhamento ao longo de todo o período de treinamento dos animais em processo de doma, buscando refletir condições práticas de manejo. Para minimizar a variabilidade ambiental, as coletas foram realizadas sempre no início de cada mês, no mesmo horário e antes do exercício, sob condições padronizadas de ambiente e contenção.

A variação interindividual observada ao longo do período experimental reforça a importância de delineamentos longitudinais com medidas repetidas, permitindo controle intraindividual e maior robustez analítica. Embora o número de animais tenha sido limitado, o acompanhamento mensal durante seis meses possibilitou avaliar padrões térmicos consistentes dentro de cada indivíduo, reduzindo a influência da variabilidade biológica entre animais.

Em síntese, os achados deste estudo contribuem para a melhor escolha da metodologia a ser utilizada no uso da termografia ocular em equinos, demonstrando que a distância da câmera termográfica é a variável mais crítica para a precisão dos resultados. A utilização da distância de 0,5 m mostrou-se mais estável e menos suscetível a interferências anatômicas e posicionais, sendo recomendada para futuras aplicações. Entre as regiões analisadas, a carúncula lacrimal destacou-se pela maior consistência temporal e melhor definição anatômica, podendo ser considerada a área preferencial para avaliações seriadas, desde que mantida padronização rigorosa dos parâmetros técnicos de aquisição de imagens termográficas.

Limitações do estudo: este estudo foi conduzido utilizando o termógrafo FLIR E40, equipamento pertencente a uma linha básica para estudos iniciais de termografia. Embora adequado para o propósito experimental, dispositivos com maior resolução espacial e sensibilidade térmica poderiam fornecer precisão adicional nas capturas. As avaliações foram realizadas ao longo de seis meses com variações ambientais naturais de temperatura e umidade relativa do ar. Ainda que tais variáveis tenham sido registradas e consideradas na calibração do equipamento, não foi possível eliminar completamente sua influência sobre os valores de temperatura ocular. Estudos futuros com avaliações concentradas em períodos mais curtos ou sob controle ambiental mais rigoroso poderiam permitir isolamento mais preciso dos efeitos aqui investigados. Adicionalmente, não foram utilizados parâmetros fisiológicos independentes (cortisol plasmático, frequência cardíaca ou temperatura retal) para validação concomitante das medidas termográficas. Assim, as inferências permanecem restritas ao comportamento térmico superficial e à análise metodológica da técnica. Por fim, as mensurações foram realizadas exclusivamente em condição basal, previamente às atividades de treinamento, não sendo aplicado desafio estressor controlado. Portanto, os resultados não devem ser extrapolados para contextos de estresse agudo ou exercício intenso sem investigação complementar.

5. Conclusão

O presente estudo demonstra que a distância de captura constitui a variável mais determinante na mensuração termográfica ocular em equinos. O protocolo que apresenta maior consistência na aquisição das imagens para esta população se refere a 0,5 m de distância, com posicionamento perpendicular em relação ao plano sagital do animal, por conveniência de manejo, preferencialmente no lado esquerdo, e com foco na carúncula lacrimal como região de interesse. Essa padronização melhora a sensibilidade fisiológica, reduz interferências ambientais e deve ser adotada em estudos experimentais e avaliações clínicas de bem-estar.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto completo de dados que suporta os resultados deste estudo está disponível mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceituação: Costa, L.C.S.; Celeste, L.C.; Passamani, J.D.; Barcelos, K.M.C. Curadoria de dados: Costa, L.C.S.; Arnhold, E.; Barcelos, K.M.C. Análise formal: Costa, L.C.S.; Arnhold, E.; Barcelos, K.M.C. Metodologia: Costa, L.C.S.; Celeste, L.C.; Passamani, J.D.; Barcelos, K.M.C. Gerenciamento do projeto: Costa, L.C.S.; Passamani, J.D.; Barcelos, K.M.C. Recursos: Celeste, L.C.; Alves, T. S.; Neto, A. R. T.; Passamani, J.D.; Barcelos, K.M.C. Visualização: Costa, L.C.S. Investigação: Costa, L.C.S.; Celeste, L.C.; Alves, T. S.; Neto, A. R. T.; Barcelos, K.M.C. Redação (esboço original): Costa, L.C.S.; Arnhold, E.; Celeste, L.C.; Barcelos, K.M.C. Redação (revisão e edição): Costa, L.C.S.; Celeste, L.C.; Alves, T. S.; Neto, A. R. T.; Arnhold, E.; Passamani, J.D.; Barcelos, K.M.C.

Declaração de uso de IA generativa

Durante a preparação deste manuscrito, os autores utilizaram a ferramenta Gemini para auxiliar na elaboração da Figura 2. Após a utilização desta ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo apropriadamente e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Agradecimentos

A Associação Nacional de Equoterapia (ANDE-BRASIL) e a Associação Brasileira de Criadores de Cavalos Quarto de Milha (ABQM) pelo apoio necessário a realização do projeto. O auxílio da Poliscan Brasil pela aquisição e assessoria na utilização do software IRISoft. A Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa; a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa concedida ao primeiro autor; ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (PPGZ-UFG); a Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás (EVZ-UFG) e ao Núcleo de Estudos, Extensão e Pesquisa em Equideocultura da Universidade Federal de Goiás (NEEPEq-UFG).

Referências

1. Kim SM, Cho GJ. Validation of eye temperature assessed using infrared thermography as an indicator of welfare in horses. *Appl Sci.* 2021;11(16):7186. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app11167186>
2. Travain T, Valsecchi P. Infrared thermography in the study of animals' emotional responses: a critical review. *Animals (Basel).* 2021;11(9):2510. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11092510>
3. Giannetto C, Cerutti R, Scaglione M, Fazio F, Aragona F, Arfuso F, et al. Simultaneous recording of subcutaneous temperature and total locomotor activity in *Bos taurus* and *Bos indicus* raised in a subtropical region of Argentina. *Trop Anim Health Prod.* 2022;54:371. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03365-7>
4. Soroko M, Howell K. Infrared thermography: current applications in equine medicine. *J Equine Vet Sci.* 2018;60:90-96. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.11.002>
5. Smith WM. Applications of thermography in veterinary medicine. *Ann N Y Acad Sci.* 1964;121(1):248-254. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1964.tb13700.x>
6. Lampang KN, Isawirodom A, Rungsri P. Correlation and agreement between infrared thermography and a thermometer for equine body temperature measurements. *Vet World.* 2023;16(12):2464-2470. Disponível em: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.2464-2470>
7. Rankins EM, Reega SJ, Rudd C, Peters BC. Horse behavior and training in adaptive/therapeutic riding: a survey of instructors' perceptions and knowledge in the United States. *Appl Anim Behav Sci.* 2025;282:106490. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106490>
8. Gulias-Cañizo R, Rodríguez-Malagón ME, Botello-González L, Belden-Reyes V, Amparo F, Garza-Leon M. Applications of infrared thermography in ophthalmology. *Life (Basel).* 2023;13(3):723. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/life13030723>
9. Redaelli V, Luzi F, Mazzola S, et al. The use of infrared thermography (IRT) as stress indicator in horses trained for endurance: a pilot study. *Animals (Basel).* 2019;9(3):84. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani9030084>
10. Ijichi C, Evans L, Woods H, Yarnell K. The right angle: validating a standardised protocol for the use of infra-red thermography of eye temperature as a welfare indicator. *Anim Welf.* 2020;29(2):123-131. Disponível em: <https://doi.org/10.7120/09627286.29.2.123>
11. Stewart M, Schaefer AL, Haley D, et al. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to handling procedures. *Anim Welf.* 2008;17:387-393. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0962728600027895>

12. Aragona F, Di Pietro S, Arfuso F, Fazio F, Piccione G, Giudice E, et al. Correlation between ocular and rectal temperature with intraocular pressure in horse during exercise. *Animals (Basel)*. 2022;12:1850. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12141850>
13. Valera M, Bartolomé E, Sánchez-Guerrero M, Molina-Alcalá A, Cook N, Schaefer A. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J Equine Vet Sci*. 2012;32:827-830. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2012.03.005>
14. Aragona F, Rizzo M, Arfuso F, Acri G, Fazio F, Piccione G, et al. Eye temperature measured with infrared thermography to assess stress responses to road transport in horses. *Animals (Basel)*. 2024;14(13):1877. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani14131877>
15. Carastro SM. Equine ocular anatomy and ophthalmic examination. *Vet Clin North Am Equine Pract*. 2004;20(2):285-299. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2004.04.013>
16. McMullen RJ. Advancements in equine ophthalmic imaging enhance understanding of ocular and orbital anatomy and disease in standing sedated horses. *J Am Vet Med Assoc*. 2024;262(S2):S47-S56. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/javma.24.06.0376>
17. Gelatt KN, Ben-Shlomo G, Gilger BC, Hendrix DVH, Kern TJ, Plummer CE. *Veterinary ophthalmology*. 6th ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2021. English.
18. Ollivier FJ. The precorneal tear film in horses: its importance and disorders. *Vet Clin North Am Equine Pract*. 2004;20(2):301-318. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2004.04.008>
19. Brooks DE. *Oftalmologia para veterinários de equinos*. São Paulo: Roca; 2005. Português.
20. Dwyer AE, de Linde Henriksen M. Examination techniques and treatment of the equine eye. In: Gilger BC. *Equine ophthalmology*. 4th ed. Ames: Wiley-Blackwell; 2022. p. 1-89. English. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119782285.ch1>
21. McManus C, Tanure CB, Peripolli V, Seixas L, Fischer V, Gabbi AM, et al. Infrared thermography in animal production: an overview. *Comput Electron Agric*. 2016;123:10-16. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>
22. Johnson SR, Rao S, Hussey SB, Morley PS, Traub-Dargatz JL. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *J Equine Vet Sci*. 2011;31(1):63-66. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2010.12.004>
23. Hall C, Kay R, Yarnell K. Assessing ridden horse behavior: professional judgment and physiological measures. *J Vet Behav*. 2014;9(1):22-29. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2013.09.005>
24. Jansson A, Lindgren G, Velie BD, Solé M. An investigation into factors influencing basal eye temperature in the domestic horse (*Equus caballus*) when measured using infrared thermography in field conditions. *Physiol Behav*. 2021;228:113218. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2020.113218>
25. Farmer K, Krueger K, Byrne RW. Visual laterality in the domestic horse (*Equus caballus*) interacting with humans. *Anim Cogn*. 2010;13(2):229-238. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0260-x>
26. Krueger K, Schwarz S, Marr I, Farmer K. Laterality in horse training: psychological and physical balance and coordination and strength rather than straightness. *Animals (Basel)*. 2022;12(8):1042. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12081042>
27. Baragli P, Scopa C, Felici M, Reddon AR. Horses show individual level lateralisation when inspecting an unfamiliar and unexpected stimulus. *PLoS One*. 2021;16(8):e0255688. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255688>
28. Church JS, Hegadoren PR, Paetkau MJ, Miller CC, Regev-Shoshani G, Schaefer AL, et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res Vet Sci*. 2014;96(1):220-226. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2013.11.006>