ASPECTOS GERAIS, FÍSICOS E APLICABILIDADES MÉDICA VETERINÁRIA DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHO

Saulo Humberto de Ávila Filho¹, Thais Poltronieri dos Santos², Luiz Antônio Franco da Silva³

¹ Doutorando em Ciência Animal na Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás (EVZ/UFG), Goiânia - GO Brasil.

E-mail: saulohumberto@gmail.com

² Pós-graduanda na Universidade de São Paulo (FMVZ/USP), São Paulo - SP, Brasil

³ Professor Doutor da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás (EVZ/UFG), Goiânia-GO, Brasil

Recebido em: 15/11/2020 – Aprovado em: 15/12/2020 – Publicado em: 30/12/2020
DOI: 10.18677/EnciBio_2020D5

RESUMO

A termografia infravermelho é um método dedicado à aquisição e processamento de informação térmica que se utiliza de um dispositivo de mensuração sem contato com o objeto a ser estudado. Atualmente, com a evolução dos aparelhos termográficos, a realização dessa técnica deve ser cada vez mais alavancada e utilizada como ferramenta para a detecção das enfermidades que produzem alterações na temperatura da superfície corporal. Objetivou-se fazer uma revisão de literatura a respeito dos conceitos gerais, princípios físicos, equipamentos, vantagens e desvantagens e metodologias de avaliação, além de abranger as principais aplicabilidades Médicas Veterinária da técnica de termografia infravermelho. Para tanto fez-se buscas nas bases do *PubMed*, *ScienceDirect* e *Scopus*, a fim de subsidiar conhecimento de maneira condensada e crítica do objeto deste estudo. Conclui-se que o método de termografia infravermelho é amplamente empregado na Medicina Veterinária, tanto em áreas clínicas como em pesquisas, tendo sua utilização aplicada em variadas espécies. Apesar de seu frequente uso, é de extrema importância enaltecer a imperatividade dos cuidados e observações quanto as calibrações obrigatórias como temperatura refletida, temperatura e umidade atmosférica, distância até objeto e emissividade do objeto, bem como ter em mente às variadas interferências na temperatura aferida advinda dos fatores ambientais e do objeto, tais como umidade e temperatura ambiental, velocidade do vento, ou ainda presença de pelo, sujidade ou aplicação de loções cremosas na área a ser estudada.

PALAVRAS-CHAVE: radiação infravermelho, termograma, temperatura

GENERAL, PHYSICAL ASPECTS AND VETERINARY APPLICATIONS OF INFRARED THERMOGRAPHY

ABSTRACT

Infrared thermography is a method dedicated to the acquisition and processing of thermal information using a measurement device without contact with the study object. Currently, with the evolution of thermographic devices, the performance of this technique must be increasingly leveraged and used as a tool for the detection of diseases that produce changes in body surface temperature. The objective was to conduct a literature review regarding general concepts, physical principles, equipment, advantages and disadvantages and evaluation methodologies, in addition to covering the main Veterinary Medical applicability of the infrared thermography technique. To this end, searches were carried out on the bases of *PubMed*, *ScienceDirect* and *Scopus*, in order to subsidize knowledge in a condensed and critical manner of the object of this study. It is concluded that the infrared thermography method is widely used in Veterinary Medicine, both for clinical or research use, and applied in several species. Despite its frequent use, it is extremely important to highlight the care with mandatory calibrations, such as reflected temperature, temperature and atmospheric humidity, distance to the object and the emissivity of the object, as well as keeping in mind the various interferences in the measured temperature arising environmental factors and the object, such as humidity and environmental temperature, wind speed, or the presence of hair, dirt or application of creamy lotions in the area to be studied.

KEYWORDS: infrared radiation, temperature, thermogram

INTRODUÇÃO

A termografia é uma técnica que consiste na captação das ondas infravermelhas, por uma câmera termográfica. As ondas infravermelhas são invisíveis ao olho nu e são emitidas pela superfície corporal. A imagem gerada pelo aparelho é um reflexo da temperatura da superfície corporal, produzida por uma combinação de fatores internos e ambientais capazes de produzir calor (NG, 2009). É um exame não invasivo, de rápida execução, relativamente barato e totalmente indolor. Desta forma, pode ser utilizada nas observações de fatores locais e sistêmicos, incluindo hiperemia fisiológica, inflamação, infecção ou trauma capazes de alterar o fluxo sanguíneo de uma determinada região anatômica (OKADA et al., 2013).

A técnica de avaliação termográfica por método infravermelho tem sua utilização na área da saúde desde a década de 50 e se espalha na detecção de câncer de mama (NG, 2009), trombos vasculares e lesões musculares (BANDEIRA et al., 2014). Na Medicina Veterinária, essa tecnologia é utilizada com maior frequência em equinos na avaliação do medo (DAÍ et al., 2015) e da laminite (DOUTHIT et al., 2014). Nos bovinos, tem-se estudos no auxílio ao diagnóstico precoce das principais doenças infecciosas tais como: mastites (COLAK et al., 2008), Febre Aftosa (RAINWATER-LOVETT, 2009), Diarreia Viral Bovina (SCHAEFER et al., 2004), e doenças do complexo respiratório bovino (SCHAEFER et al., 2007). Foi utilizada também como método auxiliar para avaliar a reação tecidual após tenorrafia com variados tipos de técnicas de sutura (ARENHART et al., 2014). Com a evolução dos aparelhos termográficos, a realização dessa técnica deve ser cada vez mais

alavancada e utilizada como ferramenta para a detecção das enfermidades que produzem alterações na temperatura da superfície corporal (NG, 2009).

O presente estudo objetivou fazer uma revisão de literatura a respeito dos conceitos gerais, princípios físicos, equipamentos, vantagens e desvantagens e metodologias de avaliação, além de abranger as principais aplicabilidades médicas veterinária da técnica de termografia infravermelho.

REVISÃO DE LITERATURA

Definições, componentes e especificações

A termografia infravermelho é um método dedicado à aquisição e processamento de informação térmica, que se utiliza de um dispositivo de mensuração sem contato com o objeto a ser estudado (MALDAGUE, 2001). É baseada na captação da radiação infravermelha, que por sua vez são ondas eletromagnéticas com comprimentos de ondas maiores do que as ondas eletromagnéticas visíveis. Assim, para a captação de ondas eletromagnéticas com comprimento de ondas invisíveis ao olho humano, utiliza-se uma câmera termográfica, a qual é capaz de detectar a radiação infravermelha irradiada por qualquer corpo que tenha temperatura superior ao zero absoluto (0° Kelvin) e transformá-la em um sinal elétrico (MODEST, 2013).

A temperatura de um corpo corresponde à vibração de seus átomos em torno de um ponto de equilíbrio, gerando energia eletromagnéticas (BARREIROS et al., 2006). Após a captação da irradiação infravermelha e da transformação em sinal elétrico, a imagem invisível é processada e convertida em uma imagem visível colorida, denominada de termograma. No termograma a intensidade de cores e o valor da temperatura em graus Celsius, são diretamente proporcionais, a intensidade da radiação infravermelha captada e, conseqüentemente, do sinal elétrico gerado. Para tanto, cada dispositivo termográfico tem um conjunto mínimo de equipamentos que lhes dão uma determinada capacidade e eficiência de produção de imagem (GAUSSORGUES, 1994).

Todos os aparelhos de termografia infravermelho devem conter um sensor, um sistema óptico, um indicador de temperatura e um dispositivo de ajuste de emissividade. Adicionalmente, alguns aparelhos mais modernos ainda possuem tela sensível ao toque, ajuste de foco e software integrado para controle da imagem, temperatura obtida e padrões de escala de temperatura, além de permitirem visualização em tempo real do termograma. O sensor, ou detector, tem a função de captar a radiação infravermelha emitida por um objeto e transformá-la em um sinal elétrico. Por sua vez, o sistema óptico é formado, principalmente por uma lente, focalizador e por um filtro, os quais são responsáveis respectivamente, por determinar o campo de visão, garantir o foco e selecionar o espectro de comprimento de onda sensível para o detector (ROGALSKI, 2012).

O espectro eletromagnético é dividido em diversas regiões, sendo delimitada a região infravermelha o amplo espectro de comprimentos de ondas entre 0,8 μm e 1000 μm . Entretanto, para utilização na técnica de termografia os dispositivos termográficos trabalham em um espectro de comprimento de onda menor, entre 0,8 μm e 14 μm , visto que ondas maiores sofrem grande interferência da atmosfera. Dentro dessa faixa, os dispositivos ainda são subdivididos quanto à sensibilidade a determinado comprimento de onda, sendo categorizados em: próximo ao infravermelho com espectro entre 0,8 μm e 1,7 μm ; pequeno

comprimento, com espectro entre 1 μm e 2,5 μm ; moderado comprimento, com espectro entre 2 μm e 5 μm ; e por fim, longo comprimento, com espectro entre 8 μm e 14 μm . Desses, os espectros mais utilizados são os de moderado e longo comprimento, porém deve ser levado em consideração a temperatura esperada do objeto, no qual, respeitando as leis de Wien, temperaturas esperadas bastante elevadas emitem a maior parte da radiação com comprimento de ondas pequeno, sendo melhor avaliadas por equipamentos categorizados como próximo ou pequeno comprimento de onda (USAMENTIAGA et al., 2014).

Os equipamentos termográficos ainda podem ser categorizados conforme sua especificação de resolução, quantização espacial, velocidade de aquisição e sensibilidade. A resolução é medida em quantidade de linhas x colunas, em que cada ponto formado pela intersecção entre linhas e colunas geram um ponto, uma temperatura, denominado de pixels. As câmeras termográficas possuem em geral valores entre 120x140 – 1280x1024. Quanto maior o produto, melhor é a resolução da imagem. A quantização espacial é medida em Bits, tendo como valor médio entre 14 e 64 bites, em que quanto maior os bits maior é a sensibilidade do equipamento. Finalmente, a velocidade de aquisição de imagens é medida em quadros por segundo, possuindo valores típicos entre 30 e 60Hz (USAMENTIAGA et al., 2014).

Vantagens e desvantagens

É possível avaliar a temperatura de um corpo por diversos métodos, como por exemplo, pelo contato do dorso da mão do observador, empregando termômetro de mercúrio, termômetro digital e por termômetro periférico infravermelho pontual e por câmeras infravermelhas. Assim, cada método possui suas vantagens e desvantagens, as quais interferem na velocidade, precisão, facilidade ou impedem a utilização de determinada técnica em uma ocasião específica (STEWART et al., 2005).

Especificamente, em se tratando da aferição pelo método infravermelho empregando-se câmeras termográficas em aplicações médicas, destacam-se como vantagens:

- ausência de contato com o objeto, possibilitando a mensuração da temperatura de um corpo ou região à distância, sem a interferência do contato, além de possibilitar a avaliação da temperatura em situações perigosas, como o exemplo de animais selvagens, ou ainda possibilita aferições em feridas ou soluções estéreis, sem o risco de contaminação ou sem promover estímulos dolorosos (STEWART et al., 2005; REDAELLI et al., 2014).

- avaliação da temperatura em duas dimensões, permitindo a comparação da temperatura em áreas diferentes;

- processamento em tempo real, propiciando o escaneamento térmico rápido, a avaliação da temperatura de corpos em movimentos, ou garante a detecção de oscilações repentinas de temperatura (SCHAEFER et al., 2003; GADE et al., 2014);

- é uma técnica não invasiva, não dolorosa e segura, uma vez que a radiação infravermelho não é nociva, ao contrário da radiação com raios X ou gama;

- multifocal, permitindo avaliar e identificar variações térmicas de vários corpos presentes em uma área (GADE et al., 2014);

Apoderando-se dessas vantagens, a utilização das câmeras termográficas ficou estabelecida como uma boa ferramenta para aferição de temperatura, podendo ser aplicada e interpretada em variadas formas (MEOLA,

2012a). Entretanto, deve-se destacar também as principais desvantagens da utilização ou aquisição desses dispositivos de mensuração. Um primeiro grande impasse na sua utilização, ainda é o alto custo do equipamento, principalmente quando aplicado em áreas médicas, as quais necessitam de aparelhos com resoluções espaciais (megapixels), acurácia e sensibilidade elevada. Outro fator visto como desvantagem é a necessidade de um operador treinado para calibração do aparelho, bem como para obtenção e interpretação dos resultados. Também se adiciona a dependência de um ambiente controlado, ou seja, com ciência e controle dos fatores ambientais, tais como, temperatura, umidade, velocidade do vento e distância do objeto como possíveis desvantagens das câmeras termográficas (USAMENTIAGA et al., 2014).

Princípios físicos da termografia infravermelho

Uma câmera termográfica infravermelho, não é um termômetro de maneira direta, uma vez que não afere a temperatura do corpo. Esse equipamento afere a radiação infravermelha emitida e irradiada por um corpo e então, após uma série de cálculos, baseados na física, inferem a temperatura superficial da região estudada. Deste modo é de total importância que o operador da câmera saiba os princípios físicos envolvidos na mensuração da temperatura (MEOLA, 2012b).

A radiação infravermelha é a energia irradiada da superfície de um objeto, com temperatura acima de zero graus Kelvin. Assim, quanto maior a temperatura do objeto, maior será a energia irradiada (MEOLA, 2012b). Adicionalmente, tem-se que toda a energia emitida sobre um corpo pode ser dissipada por até três métodos: absorção, reflexão e transmissão (MOLLMANN et al., 2005). Assim, o somatório das frações de cada energia dissipada por esses métodos deve totalizar um, para qualquer comprimento de onda (Figura 1). Alguns objetos têm características de dissipação da energia peculiares e são denominados de objetos opacos ou corpos negros. No caso dos objetos opacos, não ocorre transmissão, e no caso de corpos negros, além de não ocorrer a transmissão também não há reflexão da radiação infravermelho (USAMENTIAGA et al., 2014).

FIGURA 1 - Fórmula demonstrativa da dissipação da energia emitida sobre um corpo.

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

absorção reflexão transmissão

Fonte: adaptado de Usamentiaga et al. (2014).

Avaliando um corpo negro, torna-se possível calcular radiação eletromagnética emitida pelo corpo, em função de sua temperatura e do comprimento de onda da radiação irradiada (Lei de Planck). Por essa lei fica demonstrado que a energia de um objeto é irradiada em comprimento de ondas diferentes a depender de sua temperatura. Além do mais, fica demonstrado que objetos com maior temperatura emitem a maior parte da sua radiação com

comprimento de onda menor e que objetos com temperatura menor, emitem a maior parte de sua radiação com comprimento de onda maior (USAMENTIAGA et al., 2014).

Outra característica de um corpo e também um conceito físico é a emissividade, o qual pode ser definido como o produto da razão da radiação emitida por um corpo real em função da radiação emitida por um corpo negro com mesma temperatura. A emissividade de cada corpo também pode ser obtida pelo somatório da energia irradiada sobre um corpo que será absorvida e não refletida ou transmitida, mas sim emitida. Desta forma observa-se que objetos com alta refletividade, como o alumínio, tem baixa emissividade, por outro lado os corpos negros possuem emissividade máxima, igual a um. Seguindo-se, aplicando os conceitos de emissividade e corpo negro, é possível pela lei Stefan-Boltzmann de obter a radiação emitida por um corpo (USAMENTIAGA et al., 2014) (Figuras 2 e 3).

FIGURA 2 – Fórmulas físicas. Emissividade (A). Radiância, Lei de Stefan-Boltzmann (B).
Legenda: W= Radiância; W_b= Radiância do corpo negro; ε = emissividade; σ = constante; T= temperatura.

$\frac{W}{W_b} = \varepsilon$	$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$
A	B

Fonte: adaptado de Usamentiaga et al. (2014).

Ainda sobre o conceito físico, é importante o conhecimento da transmitância atmosférica para a compreensão dos mecanismos e cálculo da temperatura em função da Radiância. Por sua vez, esse fenômeno refere-se ao percentual de ondas emitidas por um corpo que consegue passar pela atmosfera sem que ocorra interação, absorção pelas partículas de água e gás carbônico e assim consiga ser captada pela câmera termográfica. Sendo este fenômeno intensamente dependente do comprimento de onda emitida, no qual quanto menor o comprimento de onda emitido menor será a transmitância atmosférica (USAMENTIAGA et al., 2014).

FIGURA 3 – Gráfico ilustrativo da Lei de Stefan- Boltzmann. Energia irradiada como produto da temperatura e emissividade

Fonte: adaptado de Usamentiaga et al. (2014).

Compreendido todos esses fatores, observa-se que a radiância total capturada pelo dispositivo infravermelho é composta pelo somatório das radiâncias emitidas pelo objeto, atmosfera, além da energia emitida por reflexão de estruturas presentes nos arredores (Figura 4). Entretanto é claro que essa energia total capturada excede a emitida pelo objeto, restando ao software a realizar um mecanismo de compensação. Mecanismo esse, responsável por excluir as energias refletidas pelas estruturas circunvizinhas, bem como a energia refletida pela atmosfera. Após captado toda a radiação e compensado pelo software, aplica-se uma nova fórmula a qual converte a radiância do objeto em temperatura em uma determinada unidade de medida (Figura 4).

FIGURA 4 – Ilustração e fórmula matemática para obtenção da temperatura de um objeto em função da captação da radiação emitida. Ilustração esquemática da captação da energia por uma câmera termográfica (A). Fórmula matemática para a obtenção da temperatura de um objeto em função de sua energia emitida (B). Legenda: W_{tot} = Radiação total; ϵ_{obj} = emissividade do objeto; σ = constante; τ_{atm} = transmitância da atmosfera; T_{obj} = temperatura do objeto; T_{atm} = temperatura atmosférica; T_{refl} = temperatura refletida.

Fonte: adaptado de Usamentiaga et al. (2014).

Características do objeto, fatores externos e calibração do aparelho de termografia

A computação dos valores de temperatura obtidos por uma câmera termográfica não é baseada apenas pela irradiação emitida pelo corpo. Também depende de outros fatores do objeto, tais como, emissividade, superfície, presença de pelos e de fatores ambientais e arredores, como temperatura atmosférica e temperatura refletida, umidade e velocidade do vento. Outros fatores como a angulação e distância da câmera em relação ao objeto e ainda de calibrações interna da câmera, como escala térmica e espectro de cores, também são importantes no processo (OKADA et al., 2013).

A emissividade de um objeto condiz com a facilidade que o mesmo apresenta de absorver e emitir a radiação armazenada, sem que haja transmissão ou reflexão. Dessa maneira, objetos com baixa emissividade, como o alumínio, emitem menor radiação do que objeto com alta emissividade, como por exemplo o corpo humano (USAMENTIAGA et al., 2014). Avaliado então objeto com baixa emissividade, tem-se que pequenos erros no ajuste da emissividade acarretaria em significativo erro na precisão da temperatura adquirida pelo termógrafo, diferentemente se o objeto estudado for animais com emissividade preconizada de

0,97-1,0 no qual erros na avaliação da emissividade não acarretaria em resultados discrepantes de temperatura (REDAELLI et al., 2014).

Adicionalmente aos fatores do objeto, especificamente em animais, deve-se atentar para a presença do pelo, manuseio, sujidade, umidade e até mesmo presença de loções cremosas, os quais são passíveis de alterar a radiação emitida pelo corpo. A presença de sujidade, umidade e loções cremosas, funcionam como uma barreira que impede a passagem da radiação infravermelha, tanto por absorção como por aumento da refletividade. Além do mais, a presença de água pode auxiliar na perda de calor superficial por evaporação, fatos que acarretam em um artefato, resultando na diminuição da temperatura aferida (BASILE, 2012). Por outro lado, o manuseio e a tricotomia da região alvo geram um artefato que acarreta o aumento da temperatura aferida, haja vista que a fricção gera calor e que a ausência do pelo aumenta a captação da radiação emitida pela pele, a qual é mais vascularizada e possui atividade metabólica mais acentuada que o pelo (OKADA et al., 2013).

Ainda sobre os fatores do objeto, observaram-se que as características da superfície, bem como a composição da pele interagem com a radiação e podem alterar a temperatura detectada. Cicatrizes e outras irregularidades cutâneas aumentam a refração da radiação e podem diminuir a temperatura detectada. Com mesmo resultado, a quantidade maior de tecido adiposo e colágeno, também reduzem a temperatura local, uma vez que possuem pouco fluxo sanguíneo e baixa atividade metabólica. Outro componente importante é a água, que pode ser encontrada tanto de maneira intra como intercelular. Quando aumentada, como por exemplo, em regiões com edema, acarreta uma maior absorção da radiação emitida, podendo reduzir a temperatura superficial da região. Áreas bastante vascularizadas, e com presença de tecido muscular podem elevar a temperatura de uma região, aumentando a temperatura detectada (THATCHER et al., 2016).

Quanto aos fatores ambientais, nota-se que a umidade atmosférica e a velocidade do vento exercem influências na temperatura aferida por método infravermelho. Nesse contexto, observou-se que, o incremento na velocidade do vento e umidade aumentaram a temperatura aferida. Fato esse que foi explicado pelo contato da corrente de ar com o objeto causando atrito e aquecimento da superfície, bem como pelo aumento da agitação das partículas de água e gás carbônico atmosféricos, com produção de calor e aumento da absorção da temperatura refletida pelos arredores do objeto (OKADA et al., 2013). De maneira óbvia, o aumento da temperatura atmosférica aumenta a radiação emitida sobre todos os corpos e atmosfera, aumentando a radiação captada pelo aparelho infravermelho. Além do mais, observa-se que efeitos de golpe de calor após exposição prolongada aos raios ultravioletas do sol e luz, geram um incremento da temperatura cutânea e assim da temperatura aferida (BASILE, 2012).

Em qualquer ambiente existem diversos corpos emitindo radiação infravermelha. Esse conjunto de radiação emitida pode ser refletida e captada pelo dispositivo infravermelho, superestimando assim a temperatura do objeto em estudo. Tal artefato pode ser excluído aplicando a calibração do dispositivo infravermelho pelo método refletor. O método consiste no posicionamento de um papel laminado, ligeiramente amassado, no local proposto para avaliação do objeto. Uma vez posicionado, o papel laminado receberá a radiação ao redor e reemitirá a radiação em direção à câmera termográfica, previamente programada para emissividade igual e distância até o objeto, igual a um. Assim, a temperatura aferida é a temperatura

refletida. Uma vez calibrado o equipamento, parte da radiação recebida de um objeto na mesma localização do papel será desconsiderada acreditando-se ser oriundas dos arredores e não do objeto (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011).

Variações da distância e da angulação entre o aparelho termográfico e o objeto também devem ser considerados para obtenção de um dado de temperatura acurado. Com relação à distância, observaram-se que quanto maior essa for, menor será a temperatura detectada do objeto. Fato que ocorre devido ao maior espaço atmosférico existente entre o objeto e a câmera, e então maior quantidade de partículas de água e gás carbônico, que associadas, garantirão maior absorção da radiação emitida pelo objeto. Entretanto, notificaram-se que esse artefato se apresenta mais relevante com distâncias maiores que dois metros (OKADA et al., 2013). Quanto à angulação, outros pesquisadores, observaram que quando o ângulo formado entre a emissão perpendicular da radiação infravermelho emitida pelo o objeto e o prolongamento do campo de visão da câmera termográfica for maior que 45°, ocorreu redução da radiação do objeto detectada. Sendo que, com angulações entre 40°- 60° e entre 70°- 80° obtiveram reduções de temperatura comparada com aferições em paralelo, zero graus, respectivamente de 0,05°C e 2°C (CHENG et al., 2012).

Além das calibrações obrigatórias como temperatura refletida, temperatura e umidade atmosférica, distância até objeto e emissividade do objeto, algumas câmeras termográficas ainda possuem opções de padrões de coloração e de escala térmica. Sendo que escalas diferentes e aspecto de cores diferentes geram termogramas com colorações diferentes, porém com a mesma temperatura aferida (OKADA et al., 2013) (Figura 5).

FIGURA 5 – Termogramas visualizado em diferentes opções de aspecto de cores. Superfície abdominal ventral de coelho com aspecto de cor arco-íris (A). Superfície abdominal ventral de coelho com aspecto de cor arco-íris de alto contraste (B). Região facial lateral de cão com aspecto de cor ferro (C).

Fonte: Arquivo pessoal, Ávila Filho (2016).

Graças às variadas interferências na temperatura aferida, os resultados dos termogramas são de difícil comparação, uma vez que apenas pode ocorrer em condições iguais. Dessa maneira a metodologia em experimentos deve ser criteriosamente avaliada, para minimizar tais alterações. Buscando a padronização, algumas sugestões são feitas por autores, tais como realização da termografia em um ambiente fechado com temperatura e umidade controladas ou conhecidas, livre de corrente de ar e de incidência da luz solar, após aclimação prévia do animal à temperatura do ambiente, e tricotomia da área a ser avaliada. Lembrar sempre de calibrar o aparelho antes da monitoração (RING ; AMMER., 2000; FERREIRA et al., 2008; RING ; AMMER., 2012; OKADA et al., 2013).

Metodologias para avaliação termográfica

Após a obtenção da imagem, os valores de temperatura ainda podem ser alterados por um software, de acordo com a técnica almejada para interpretação dos resultados. Para tanto, vem sendo utilizado em experimentos, três principais técnicas de interpretação dos termogramas: técnica com demarcação de uma região de interesse (ROI) (FERREIRA et al., 2008; LUDWIG et al., 2008; ARENHART et al., 2014; PAVELSKI et al., 2015a), técnica da temperatura global, ou região anatômica (LUDWIG et al., 2014) e técnica da temperatura máxima (ARENHART et al., 2014; LUDWIG et al., 2014) (Figura 6).

FIGURA 6 – Termogramas da parede abdominal ventral de coelhos (*Oryctolagus cuniculus*) ilustrando as metodologias de avaliação. Técnica da temperatura global, ou região anatômica (A). Técnica com demarcação da região de interesse ROI (B). Técnica da temperatura máxima (C).

Fonte: Arquivo pessoal, Ávila Filho (2016).

A técnica com demarcação da região de interesse, consiste na demarcação de um local alvo contornado por uma figura geométrica. O valor da temperatura é então obtido por uma média aritmética de todos os pixels presentes

na área selecionada. Vem sendo a mais amplamente utilizada para avaliação da temperatura de uma superfície corporal hígida, com termogramas homogêneos, devido a obtenção de valores mais similares em amostras variadas e seriadas (FERREIRA et al., 2008; LUDWIG et al., 2008; PAVELSKI et al., 2015a). Por outro lado, tem-se como desvantagem, a característica de ser operador dependente. Nesse caso, o operador é responsável por demarcar a mesma área da figura geométrica no mesmo local anatômico em variados corpos estudados. Como tentativa de reduzir a dificuldade da padronização das zonas de interesse e consequentemente melhor padronização do ROI na área anatômica, alguns pesquisadores propuseram a demarcação da pele previamente ao exame termográfico. Entretanto, alertaram que tal procedimento provocou alterações na temperatura detectada (FERREIRA et al., 2008).

Por sua vez, a técnica da temperatura global, também segue os mesmos princípios da média aritmética para obtenção da temperatura. Porém, com essa técnica, a região demarcada é toda uma região anatômica, podendo excedê-la, incluindo o espaço ao redor do corpo a ser avaliado. Com a inclusão da região espacial ao redor do corpo, facilita-se a demarcação da área anatômica com uma figura geométrica. Em um segundo momento, as temperaturas mais frias, condizentes com a temperatura espacial e não do corpo, são excluídas da avaliação (LUDWIG et al., 2014). Em comparação ao método anterior, esse é menos operador dependente, o que o torna mais rápido. Entretanto, avaliações em diferentes corpos, de diferentes tamanhos, podem gerar áreas demarcadas diferentes induzindo alterações na temperatura detectada (LUDWIG et al., 2012; LUDWIG et al., 2014).

Em estudo comparativo entre as técnicas com demarcação de ROI, seja local, ou de toda uma região anatômica, não foi observada diferença estatística entre as temperaturas avaliadas, sendo as técnicas igualmente eficazes. Adicionalmente, evidenciaram que as alterações anatômicas e as imperfeições da pele presentes em cada corpo avaliado, tais como localização e quantidade de vasos e imperfeições, como regiões de cicatrizes, poderiam interferir na temperatura da área estudada (LUDWIG et al., 2014).

Outro método utilizado é denominado de temperatura máxima e consiste na avaliação de pontos com temperaturas mais elevadas da região estudada. Após selecionar um ponto pelo operador, o software faz uma varredura e seleciona cinco outros pontos mais quentes com distância mínima de cinco pixels uns dos outros. A temperatura total da área é então, sempre representada pela média da área de 5x5 pixels ao redor do pixel de temperatura mais elevada (LUDWIG et al., 2012; FORMENTI et al., 2013). É o método mais rápido e menos dependente do operador, além do mais, evita que a inércia de tecidos não vascularizados sobreponha o sinal recebido dos tecidos mais vascularizados. Portanto, propuseram que o método de temperatura máxima seja o mais indicado em estudos que contenham regiões assimétricas, heterogêneas, ou em estudos com atividades físicas ou para avaliações de áreas com alterações patológicas (LUDWIG et al., 2014).

Aplicações Médicas Veterinárias da termografia

Alterações sistêmicas ou localizadas da temperatura são consideradas um ótimo método para avaliação clínica, visto que pequenas variações desse sinal clínico podem ser utilizadas como um indicador de uma possível doença. De maneira simplificada, um incremento local da temperatura sugere uma inflamação, a

qual por sua vez pode ser originada de um processo traumático, infeccioso, neoplásico ou neo-angiogênico. Por outro lado, a redução da temperatura local deve-se a um evento isquêmico ou necrótico, o qual comprometeu o fluxo sanguíneo da região afetada (REDAELLI et al., 2014). Quando avaliadas pela técnica de termografia infravermelho, as diferenças de temperatura cutânea ocorrem em consequência da variação do fluxo sanguíneo local, da microcirculação e sua regulação pelo sistema nervoso autônomo (KENNEDY et al., 2009). Outras explicações são contração muscular, espessura e composição tecidual, atividade metabólica, multiplicação celular e ou devido à quantidade de água, hemoglobina e gases, oxigênio, gás carbônico presentes nos tecidos superficiais (THATCHER et al., 2016).

Apropriando-se do conhecimento dos mecanismos que alteram a irradiação emitida por um tecido e dos mecanismos de termorregulação, a técnica de termografia infravermelho vem sendo aplicada na área médica, tanto veterinária quanto humana. Aplicada nas mais variadas especialidades como cirurgia, dermatologia, odontologia, oncologia, ortopedia, fisioterapia e saúde pública como ferramenta auxiliar de diagnóstico, bem como de acompanhamento de quadros clínicos e auxílio ao prognóstico (SE-WOOK et al., 2005).

Como exemplo, a termografia infravermelho foi empregada na medicina para detecção de tumores superficiais, como os tumores de mama (ZADEH et al., 2015), no diagnóstico de neuropatia diabética, desordens vasculares (RING, 2010), como método de triagem para detecção de febre em pacientes em trânsito na recepção de um hospital (NGUYEN et al., 2010), doenças de pele (VARGAS et al., 2009), para caracterização de queimadura (THATCHER et al., 2016) e no auxílio a cirurgias cardiovasculares (MANGINAS et al., 2010).

Além da rotina Médica, o método da termografia infravermelho também vem sendo empregado em experimentação animal e na rotina Médica Veterinária. Na Medicina Veterinária a área pioneira a utilizar tal método foi a clínica de grandes animais. O pioneirismo iniciou em 1984, quando pesquisadores utilizaram um dispositivo de termografia infravermelho para avaliar a temperatura da região perineal de uma vaca, correlacionando um incremento calórico da região com o estro do bovino (HURNIK et al., 1984).

Mais adiante, a técnica de aferição de temperatura, por método infravermelho, também foi empregada, graças ao incremento térmico da região afetada, no diagnóstico de afecções do casco (REDAELLI et al., 2009), laminite (NIKKHAH et al., 2005), mastite (SCOTT et al., 2000) e outras doenças infecciosas como a Febre Aftosa (RAINWATER-LOVETT et al., 2009), Diarreia Viral Bovina (SCHAEFER et al., 2004) e doenças do complexo respiratório bovino (SCHAEFER et al., 2007). Diagnósticos que foram conseguidos de maneira precoce, uma vez que o aparelho permitiu detectar uma alteração do fluxo sanguíneo, mesmo em pacientes sem sinais clínicos, evidenciando assim um processo inflamatório inicial, subclínico. A precocidade no diagnóstico foi então destacada como um dos maiores benefícios, visto a possibilidade de tratamento e ou descarte precoce, reduzindo os impactos econômicos negativos (REDAELLI et al., 2014). Além do mais a termografia infravermelho, foi utilizada como método de avaliação da temperatura corporal graças à alta correlação entre a temperatura superficial do globo ocular e a temperatura retal do bovino, aferida por termômetro de mercúrio (BARROS et al., 2016).

Dentre todas as especialidades veterinárias, a que mais emprega a termografia infravermelho é a de medicina equina, na qual destaca-se principalmente a medicina equina esportiva (HOLMES et al., 2003). Nessa espécie, estudos avaliaram a eficiência da termografia no auxílio ao diagnóstico de lombalgias (FONSECA et al., 2006), lesões toracolombares ocasionadas por pressão assimétrica de selas (ARRUDA, 2010), de laminite (ÇENTINKAYA; DEMIRUKTU, 2011), tendinite e sinovite (TURNER, 2001). Na medicina equina esportiva, a termografia vem sendo utilizada para detecção de lesões musculoesqueléticas subclínicas após exercícios intensos, bem como para estudar os mecanismos de termorregulação durante a atividade física (VAN HOOOGMOED; SNYDER, 2002). Dessa maneira, a termografia infravermelho, foi considerada uma ferramenta aliada para auxílio no diagnóstico de equinos com redução no desempenho esportivo (FIGUEIREDO et al., 2012).

Em cães, a imagem infravermelha foi empregada principalmente para avaliação de afecções musculoesqueléticas (STEISS, 2002; INFERNUSO et al., 2010), tumores mamários (PAVELSKI et al., 2015) e para avaliação da termorregulação e produção de calor (VAINIONPÄÄ et al., 2012). Em avaliações musculares em cães, a imagem termográfica permitiu a identificação de regiões musculares com lesões, devido ao aumento da temperatura da referida região (REIS et al., 2010). Em outro estudo, a termografia infravermelho permitiu a detecção da elevação da temperatura, sugerindo lesão, na região da articulação do joelho em 75-85% dos membros com ruptura do ligamento cruzado (INFERNUSO et al., 2010).

Adicionalmente, a mesma técnica foi empregada para avaliação da musculatura posterior dos membros pélvicos em cães da raça Greyhound, antes e após exercícios de corrida. Nesses, observaram o incremento de temperatura do músculo gastrocnêmio, principal responsável para a propulsão, sem que ocorressem sinais de hipertermia após corridas. Demonstraram então o potencial de geração de calor pela contração muscular e evidenciaram também a participação dos mecanismos termorregulatórios. Essa participação ficou demonstrada pela manutenção da homeotermia, evitando sinais de hipertermia, graças aos mecanismos de troca de calor, aumentando a perda por condução e convecção (VAINIONPÄÄ et al., 2012).

Em outras ocasiões, a câmera infravermelha foi utilizada na detecção e auxílio prognóstico de casos de tumores mamários em cadelas. Foram observados que a presença de neoplasia mamária resultou em um aumento médio superiores a 2°C em relação à temperatura de mamas sem neoplasias, independentemente do tamanho e localização dos tumores, tendo como principais respostas ao incremento, o aumento da atividade celular, a neovascularização e a vasodilatação originada pelo óxido nítrico e outros mediadores inflamatórios liberados pelas células neoplásicas (REIS, et al., 2010; PAVELSKI et al., 2015).

Em experimentação animal foram empregados vários modelos experimentais, destacando-se os roedores (MALAFAIA et al., 2008), os coelhos (ARENHART et al., 2014) e os suínos (RIBEIRO et al., 2009). A técnica infravermelho foi empregada para avaliar a vitalidade e viabilidade do tecido após períodos de isquemia (MALAFAIA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009), para aferição da temperatura corporal (VOGEL et al., 2015), para avaliação do processo de resfriamento de órgãos, necessária em procedimentos de transplante de órgãos

(MATIAS et al., 2010), e para acompanhamento de processos inflamatórios (CELESTE et al., 2013; MACHADO et al., 2013; ARENHART et al., 2014).

A exemplo, utilizando roedores, em um estudo para avaliação de lesões intestinais por isquemia e reperfusão, observaram que após 30 e 60 minutos de isquemia, com posterior reperfusão, ocorreram hiperemia e aumento da temperatura intestinal 1,8 e 1°C, respectivamente. Por outro lado, em procedimentos com oclusão do fluxo sanguíneo com duração de 90 e 120 minutos, mesmo após a liberação do fluxo e espera de 10 minutos para reperfusão e equilíbrio térmico do intestino com o ambiente, perceberam uma redução de um e dois graus Celsius, respectivamente, em relação à temperatura intestinal pré-oclusão (MALAFAIA et al., 2008).

Em outro estudo, utilizando o suíno, após realização de ligaduras nas artérias esplênicas caudais, observaram redução da temperatura esplênica na região afetada, quando comparado à região ainda vascularizada (RIBEIRO et al., 2009). Evidenciaram então que a técnica infravermelho possui sensibilidade para detectar a integridade da vascularização de um órgão, podendo ser utilizada como uma ferramenta de auxílio na avaliação da viabilidade intestinal, e esplênica, sendo útil na tomada de decisão do cirurgião em preservar de forma total ou parcial um determinado segmento visceral (MALAFAIA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2009).

A exemplo, em coelhos, a termografia infravermelho foi utilizada associada à avaliação histológica em um estudo para avaliação pós-operatória de diferentes técnicas de tenorrafia do ligamento calcanear comum. Observaram que a temperatura máxima da região da ferida no 15° e 30° dias de pós-operatório era superior ao da mesma região do membro contralateral, independente da técnica de sutura utilizada. Adicionalmente, ainda observaram que ao 30° dia de pós-operatório, a temperatura era inferior à temperatura aos 15° dias, ocorrência que foi creditada a resolução do processo inflamatório, fato confirmado após observação da redução da celularidade e de vasos sanguíneos no exame histopatológico com coloração de rotina (ARENHART et al., 2014).

Quando o objetivo é especificamente avaliar o processo inflamatório durante a cicatrização, a câmera termográfica se mostrou versátil, sendo utilizada em diversas regiões e espécies e com boa correlação com o método de avaliação tradicional por histologia. Nesse cenário, o equipamento infravermelho, foi utilizado em equinos (CELESTE et al., 2013; MACHADO et al., 2013), cães (INFERNUSO et al., 2010), ratos (MALAFAIA et al., 2008; CALKOSINSKI et al., 2015) e coelhos (ARENHART et al., 2014), abrangendo as regiões anatômicas da articulação do joelho (INFERNUSO et al., 2010), região do calcanhar (ARENHART et al., 2014), carpo (MACHADO et al., 2013), metacarpo (CELESTE et al., 2013), lábio inferior (CALKOSINSKI et al., 2015) e parede torácica lateral (CELESTE et al., 2013; CALKOSINSKI et al., 2015).

Por fim, outras áreas também vêm se apropriando da avaliação da temperatura superficial por método infravermelho, particularmente os estudos do estresse. Nessa modalidade de estudo, a câmera termográfica vem sendo empregada uma vez que o estresse promove uma liberação de cortisol e catecolaminas na corrente sanguínea, resultando em respostas metabólicas e vasomotoras, ocasionando aumento da temperatura corporal e vasoconstrição periférica, as quais podem ser detectadas pelo equipamento infravermelho. Portanto, aplicaram-se na avaliação do estresse de transporte e estresse térmico de bovinos,

suínos e frangos, garantindo informações para avaliar condições e momento de transporte, bem como condições de instalações (BENCH et al., 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o método de termografia infravermelho é amplamente empregado na Medicina Veterinária, tanto em áreas clínicas como em pesquisas, tendo sua utilização aplicada nas mais variadas espécies. Apesar de seu frequente uso, é de extrema importância enaltecer a imperatividade do conhecimento do operador sobre os princípios físicos envolvidos na mensuração da temperatura, bem como aos cuidados e observações quanto as calibrações obrigatórias do aparelho, como temperatura refletida, temperatura e umidade atmosférica, distância até objeto e emissividade do objeto. Acrescente-se crucial o conhecimento das variadas interferências na temperatura aferida, advinda dos fatores ambientais e do objeto, tais como umidade, temperatura ambiente, velocidade do vento, ou ainda presença de pelo, sujidade ou aplicação de loções cremosas.

REFERÊNCIAS

ARENHART, R.; SEVERO, A. L.; MAIA, P. E. C.; SILVEIRA, D. A.; LOPEZ, R. R.; BOCACCIO, D. Thermographic and histological analysis of rabbit different tennorrhaphies techniques (4 and 6 strands) after early active mobilization. **Fisioterapia em Movimento**, v. 27, n. 4, p. 611-619, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-5150.027.004.AO13>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-51502014000400611

ARRUDA, T. Z. **Avaliação termográfica de selas usadas em cavalos de salto** [Dissertação]. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria. 2010. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/10084>>.

BANDEIRA, F.; NEVES, B. E.; MOURA, M. A. M.; NOHAMA, P. A termografia no apoio ao diagnóstico de lesão muscular no esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 20, n. 1, p. 59-64, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922014000100012>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbme/v20n1/1517-8692-rbme-20-01-00059.pdf>>.

BARREIROS, A. L. B. S, DAVID, J. M. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Revista Química Nova**, v. 29, p. 113-123, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000100021>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000100021>.

BARROS, D. V.; SILVA, L. K. X.; KAHWAGE, P. R.; LOURENÇO, J. B. J. R.; SOUSA, J. S.; SILVA, A. G. M.; FRANCO, I. M.; MARTORANO, L. G.; GARCIA, A. R. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 422-430, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-8327>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352016000200422>.

BASILE, R. C. **Metodologia de avaliação e análise de termografia em equinos**. [Monografia]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/118231>>.

BENCH, C. J.; SCHAEFER, A.; FAUCITANO, L. The welfare of pigs during transport. In: Schaefer A, Faucitano L, editors. The welfare of pigs: from birth to slaughter. The Netherlands: **Wageningen Academic Publishers**, 2008.

CALKOSINSKI, I.; DOBRZYNSKI, M.; ROSINCZUK, J.; DEDEK, K.; CHRÓSZCZ, A.; FITA, K.; DYMAREK, R. The use of infrared thermography as a rapid, quantitative, and noninvasive method for evaluation of inflammation response in different anatomical regions of rats. **BioMed Research International**, p. 1-9, 2015. DOI: 10.1155/2015/972535 Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4365338/>>.

CELESTE, C.; DESCHESNE, K.; RILEY, C. B.; THEORET, C. Skin temperature during cutaneous wound healing in an equine model of cutaneous fibroproliferative disorder: kinetics and anatomic-site differences. **Veterinary Surgery**, v. 42, p. 147-153, 2013. DOI: 10.1111/j.1532-950X.2012.00966.x. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22742866>>.

ÇENTINKAYA, M. A.; DEMIRUKTU, A. Thermography in the assessment of equine lameness. **Journal Veterinary Animal Science**, v. 35, p. 1-6, 2011. DOI: 10.3906/vet-1102-791. Disponível em: <<http://dergipark.gov.tr/download/article-file/132153>>.

CHENG, T.; DENG, D.; HERMAN, C. Curvature effect quantification for in-vivo infrared Thermography. **International Mechanical Engineering Congress and Exposition**, v. 2, p. 1-16, 2012. DOI: 10.1115/IMECE2012-88105. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24380084>>.

DAÍ, F.; COGI, N. H.; HEINZL, E. U. L.; COSTA, E. D.; CANALI, E.; MIRENO, M. Validation of a fear test in Sport horses using infrared thermography. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 10, p. 128-136, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.12.001> Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1558787814002329>>.

DOUTHIT, L. T.; BORMANN, J. M.; BELLO, M. N. Assessing the association between hoof thermography and hoof Doppler ultrasonography for the diagnosis of lameness in horses. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, p. 275-280, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2013.06.005>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080613004176>>.

FERREIRA, J. J. A.; MENDONÇA, L. C. S.; NUNES, L. A. O.; ANDRADE FILHO, A. C. C.; REBELATTO, J. R.; SALVINI, T. F. Exercise associated thermographic changes in Young and elderly subjects. **Annals of Biomedical Engineering**, v. 36,

p. 1420–1427, 2008. DOI: 10.1007/s10439-008-9512-1. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18470619>>.

FIGUEIREDO, T.; DZYEKANSKI, B.; KUNZ, J.; SILVEIRA, A. B.; RAMOS, C. M. G.; MICHELOTTO JÚNIOR, P. V. A importância do exame termográfico na avaliação do aparato locomotor em equinos atletas. **Revista Científica Eletrônica**, n. 18, 2012. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/eLE4dfglj6RTrB2_2013-6-25-17-23-40.pdf>.

FONSECA, B. P. A.; ALVES, A. L. G.; NICOLETTI, J. L. M.; HUSSNI, C. A.; THOMASSIAN, A.; MIKAIL, S. Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 26, n. 11, p. 507-516, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2006.09.007>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080606004989>>.

FORMENTI, D.; LUDWIG, N.; GARGANO, M.; GONDOLA, M.; DELLERMA, N.; CAUMO, A.; ALBERTI, G. Thermal imaging of exercise-associated skin temperature changes in trained and untrained female subjects. **Annals of Biomedical Engineering**, v. 41, p. 863, 2013. DOI: 10.1007/s10439-012-0718-x. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23229282>>.

GADE, R.; MOESLUND, T. B. Thermal cameras and applications: a survey. **Machine Vision and Applications**, v. 25, p. 245–262, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00138-013-0570-5>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00138-013-0570-5>>.

GAUSSORGUES, G. **Infrared Thermography**. Berlin: Springer, 1994.

HOLMES, L. C.; GAUGHAN, E. M.; GORONDY, D. A.; HOGGE, S.; SPIRE, M. F. The effect of perineural anesthesia on infrared thermographic images of the forelimb digits of normal horses. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 44, p. 392–396, 2003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC340147/>>.

HURNIK, J. F.; DE BOER, S.; WEBSTER, A. B. Detection of health disorders in dairy cattle utilizing a thermal infrared scanning technique. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 64, p. 1071-1073, 1984. DOI: 10.4141/cjas84-124. Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/cjas84-124#.WqG_MUxFzIU>.

INFERNUSO, T.; LOUGHIN, C. A.; MARINO, D. J.; UMBACH, S. E.; SOLT, P. S. Thermal imaging of normal and cranial cruciate ligament-deficient stifles in dogs. **Veterinary Surgery**, v. 39, p. 410-417, 2010. DOI: 10.1111/j.1532-950X.2010.00677.x. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20459492>>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Condition monitoring and diagnostics of machines—Thermography— Part 1: General**

procedures, v. 18, p. 434-441, 2011. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/41648.html>>.

KENNEDY, D. A.; LEE, T.; SEELY, D. A comparative review of thermography as a breast cancer screening technique. **Integrative Cancer Therapies**, v. 8, p. 9–16, 2009. DOI: 10.1177/1534735408326171. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19223370>>.

LUDWIG, N.; FORMENTI, D.; GARGANO, M.; ALBERTI, G. Skin temperature evaluation by infrared thermography: comparison of image analysis methods. **Infrared Physics & Technology**, v. 62, p. 1–6, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.09.011>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449513001825>>.

LUDWIG, N.; GARGANO, M.; FORMENTI, D.; BRUNO, D.; ONGARO, L.; ALBERTI, G. Breathing training characterization by thermal imaging: a case study, **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, v. 14, p. 41–47, 2012. DOI: 10.5277/abb120306. Disponível em: <www.actabio.pwr.wroc.pl/Vol14No3/6.pdf>.

MACHADO, L. F. S.; DITTRICH, R. L.; PAVELSKI, M.; AFONSO, A. M. C.; DECONTO, I.; DORNBUSCH, P. T. Padronização do exame termográfico nas articulações do carpo e metacarpofalangeanas de cavalos em treinamento. **Archives of Veterinary Science**, v. 18, n. 4, p. 40-45, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v18i4.30181>. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/30181>>.

MALAFIA, O.; BRIOSCHI, M. L.; AOKI, S. M. S.; DIAS, F. G.; GUGELMIN, B. S.; AOKI, M. S.; AOKI, Y. S. Infrared imaging contribution for intestinal ischemia detection in wound healing. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 23, p. 511-519, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-86502008000600008>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-86502008000600008>.

MALDAGUE, X. **Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing**. New York: Wiley, 2001.

MANGINAS, A.; ANDREANIDES, E.; LEONTIADIS, V.; SFYRAKIS, P.; MAOUNIS, T.; DEGIANNIS, D.; ALIVIZATOS, P. A.; COKKINOS, D. V. Right ventricular endocardial thermography in transplanted and coronary artery disease patients: first human application. **Journal of Invasive Cardiology**, v. 22, p. 400–404, 2010. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20814045>>.

MATIAS, J. E. F. M.; MORAIS, F. A.; KATO, D. M. P.; KOZIAK, V.; BRIOSCHI, M. L.; TAMBARA, E. M.; AGULHAM, M. A.; COELHO, J. C. U. Prevenção de isquemia hepática normotérmica durante perfusão hepática in situ com três diferentes soluções de preservação: análise experimental através de termografia por radiação infravermelha em tempo real. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 37, n. 3, p. 211-217, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69912010000300009>.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69912010000300009&script=sci_abstract&tlng=pt>.

MEOLA, C. **Infrared Thermography: recent advances and future trends**. New York: Bentham Science, 2012(a).

MEOLA, C. Origin and Theory of Infrared Thermography. In: MEOLA C, editors. **Infrared Thermography: recent advances and future trends**. New York: Bentham Science, 2012(b).

MODEST, M. F. **Radiative Heat Transfer**. Massachusetts: Waltham Academic Press, 2013.

MOLLMANN, K.; KARSTADT, D.; PINNO, F.; VOLLMER, M. Selected critical applications for thermography: Convections in fluids, selective emitters and highly reflecting materials. In: **Proceedings of the Infrared Camera Calibration Conference**. Las Vegas, p. 161–173, 2005.

NG, Y. E. K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 48, p. 849-859, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S129007290800149X>>.

NGUYEN, A. V.; COHEN, N. J.; LIPMAN, H.; BROWN, C. M.; MOLINARI, N. A.; JACKSON, W. L.; KIRKING, H.; SZYMANOWSKI, P.; WILSON, T. W.; SALHI, B. A. Comparison of 3 infrared thermal detection systems and self-report for mass fever screening. **Emerging Infectious Diseases**, v. 16, p. 1710–1717, 2010. DOI: 10.3201/eid1611.100703. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21029528>>.

NIKKHAH, A.; PLAIZIER, J. C.; EINARSON, M. S.; BERRY, R. J.; SCOTT, S. L.; KENNEDY, A. D. Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 88, p. 2749-2753, 2005. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72954-4. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16027188>>.

OKADA, K.; TAKEMURA, K.; SATO, S. Investigation of various essential factors for optimum infrared thermography. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 75, n. 10, p. 1349-1353, 2013. DOI: 10.1292/jvms.13-0133. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3942937/>>.

PAVELSKI, M.; BASTEN, M. S.; BUSATO, E.; DORNBUSCH, P. T. Infrared thermography evaluation from the back region of healthy horses in controlled temperature room. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1274-1279, 2015(a). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140675>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000701274>.

PAVELSKI, M.; SILVA, D. M.; LEITE, N. C.; JUNIOR, D. A.; DE SOUSA, R. S.; GUERIOS, S. D.; DORNBUSCH, P. T. Infrared thermography in dogs with mammary tumors and healthy dogs. **Journal of Veterinary Internal Medicine**, v. 29, p. 1578-1583, 2015. DOI: 10.1111/jvim.13597. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26289007>>.

RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J. M.; PACKER, C.; RODRIGUEZ, L. L. Detection of foot-and-mouth diseases virus infected cattle using infrared thermography. **Veterinary Journal**, v. 180, p. 317-324, 2009. DOI: 10.1016/j.tvjl.2008.01.003. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18308596>>.

REDAELLI, V.; LUDWIG, N.; COSTA, L. N.; COSTA, L.; RIVA, J.; LUZI, F. Potential application of thermography (IRT) in animal production and for animal welfare: a case report of working dogs. **Annali dell'Istituto Superiore Di Sanità**, v. 50, n. 2, p. 147-152, 2014. DOI: 10.4415/ANN_14_02_07. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24968913>>.

REDAELLI, V.; TANZI, B.; LUZI, F.; STEFANELLO, D.; PROVERBIO, D.; CROSTA, L.; GIANCAMILLO, M. D. Use of thermographic imaging in clinical diagnosis of small animal: preliminar notes. **Annali dell'Istituto Superiore di Sanità**, v. 50, n. 2, p. 140-146, 2014. DOI: 10.4415/ANN_14_02_06. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24968912>>.

REDAELLI, V.; TARANTINO, S.; RICCI, C.; LUZI, F.; ZECCONI, A.; VERGA, M. A non invasive method to measure lameness in dairy cow. **Italian Journal of Animal Science**, v. 8, n. 2, p. 671, 2009. Disponível em: <<http://www.maniscalchibovini.it/pdf/4.pdf>>.

REIS, F. R.; BARREIRA, A. P. B.; CASTRO, V.; CASTRO, J. L. C.; SUZANO, S. M. C.; ROCHA, A. A. Índícios sobre a correlação entre diferentes métodos diagnósticos em casos de tumor de mama em cadelas. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v. 9, n. 9, p. 14-31, 2010. Disponível em: <<http://www.castelobranco.br/sistema/novo enfoque/files/09/artigos/02.pdf>>.

RIBEIRO, H. D. W.; DA SILVA, G. A. P.; BRIOSCHI, M. L.; DO NASCIMENTO, A. J.; BODO-SIMÕES, M. L. P.; MATIAS, J. E. F. Termografia infravermelha em tempo real como método de avaliação da viabilidade do baço em modelo de esplenectomia parcial em porcos. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgias**, v. 36, n. 5, p. 438-441, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69912009000500013>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69912009000500013&script=sci_abstract&tlng=pt>.

RING, E. F. J.; AMMER, K. Infrared thermal imaging in medicine. **Physiological Measurement**, v. 33, p. 33-46, 2012. DOI: 10.1088/0967-3334/33/3/R33. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22370242>>.

RING, E. F. J.; AMMER, K. The technique of infra red imaging in medicine. **Thermology international**, v. 10, p. 7–14, 2000. DOI: 10.1088/978-0-7503-1143-4ch1. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/233420887_The_Technique_of_Infra_red_Imaging_in_Medicine>.

RING, F. Thermal imaging today and its relevance to diabetes. **Journal of Diabetes Science and Technology**, v. 4, p. 857–862, 2010. DOI: 10.1177/193229681000400414. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20663449>>.

ROGALSKI, A. Progress in focal plane array technologies. **Progress in Quantum Electronics**, v. 36, p. 342–473, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2012.07.001> Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079672712000183>>.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; CHURCH, J. S.; BASARAB, J.; PERRY, B.; MILLER, C.; TONG, A. K. W. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, v. 83, p. 76-84, 2007. DOI: 10.1016/j.rvsc.2007.01.008. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17349665>>.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; TESSARO, S. V.; DEREGT, D.; DESROCHES, G.; DUBESKI, P. L.; TONG, A. K. W.; GODSON, D. L. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 84, p. 73-80, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4141/A02-104>. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/A02-104#.WqV4ukxFzIU>>.

SCOTT, S. L.; SCHAEFER, A. L.; TONG, A. K. W.; LACASSE, P. Use of infrared thermography or early detection of mastitis in dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 70, p. 764-765, 2000.

SE-WOOK, U. M.; MIN-SU, K. I. M.; JI-HEY, L. I. M.; SUN-YOUNG, K. I. M.; KANG-MOON, S. E. O.; TCHI-CHOU, N. A. M. Thermographic Evaluation for the Efficacy of Acupuncture on Induced Chronic Arthritis in the dog. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 67, n. 12, p. 1283-1284, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.67.1283>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16397393>>.

STEISS, J. E. Muscle disorders and rehabilitation in canine athletes. **Veterinary Clinics of North America**, v. 32, p. 267–285, 2002. DOI: 10.1016/S0195-5616(03)00088-3. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11785732>>.

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

<<http://www.ingentaconnect.com/contentone/ufaw/aw/2005/00000014/00000004/art0007>>.

THATCHER, J. E.; SQUIERS, J. J.; KANICK, S. C.; KING, D. R.; LU, Y.; WANG, Y.; MOHAN, R.; SELLKE, E. W.; DIMAIO, J. M. Imaging techniques for clinical burn assessment with a focus on multispectral imaging. **Advances in Wound Care**, v. 5, n. 8, p. 360-378, 2016. DOI: 10.1089/wound.2015.0684. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4991589/>>.

TURNER, T. A. Diagnostic thermography. **Veterinary Clinics of North America: Equine Practice**, v. 17, p. 95-113, 2001. DOI: 10.1364/AO.7.001673. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11488048>>.

USAMENTIAGA, R.; VENEGAS, P.; GUEREDIAGA, J.; VEGA, L.; MOLLEDA, J.; BULNES, F. G. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors**, v. 14, n. 12, 3305-3348, 2014. DOI: 10.3390/s140712305. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25014096>>.

VAINIONPÄÄ, M.; TIENHAARA, E. P.; RAEKALLIO, M.; JUNNILA, J.; SNELLMAN, M.; VAINIO, O. Thermographic imaging of the superficial temperature in Racing grayhounds before and after the race. **Scientific World Journal**, p. 1-6, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1100/2012/182749>. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/182749/>>.

VAN HOOOGMOED, L. M.; SNYDER, J. R. Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses. **The Veterinary Journal**, v. 164, p. 129-141, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1053/tvjl.2002.0719>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12359467>>.

VARGAS, J.; BRIOSCHI, M.; DIAS, F.; PAROLIN, M.; MULINARI-BRENNER, F.; ORDONEZ, J.; COLMAN, D. Normalized methodology for medical infrared imaging. **Infrared Physics & Technology**, v. 52, p. 42-47, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2008.11.003>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449508000637>>.

VOGEL, B.; WAGNER, H.; GMOSER, J.; WÖRNER, A.; LÖSCHBERGER, A.; PETERS, L.; FREY, A.; HOFMANN, U.; FRANTZ, S. Touch-free measurement of body temperature using close-up thermography of the ocular surface. **MethodsX**, v. 3, p. 407-416, 2016. DOI: 10.1016/j.mex.2016.05.002. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27284532>>.

ZADEH, H. G.; HADDADNIA, J.; AHMADINEJAD, N.; BAGHDADI, M. R. Assessing the Potential of Thermal Imaging in Recognition of Breast Cancer. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 16, p. 8619-8623, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2015.16.18.8619>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26745126>>.