

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA AVALIAR A
TOLERÂNCIA AO CALOR EM BOVINOS DE LEITE SUBMETIDOS AO
ESTRESSE TÉRMICO**

DARLENE DOS SANTOS DALTRO
ZOOTECNISTA/UNIPAMPA

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de Mestre
em Zootecnia
Área de concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil
Março, 2014

CIP - Catalogação na Publicação

DALTRO, DARLENE DOS SANTOS

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA AVALIAR A TOLERÂNCIA AO CALOR EM BOVINOS DE LEITE SUBMETIDOS AO ESTRESSE TÉRMICO / DARLENE DOS SANTOS DALTRO. -- 2014.

66 f.

Orientadora: CONCEPTA McMANUS.

Coorientadora: VIVIAN FISCHER.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. ADAPTABILIDADE. 2. CONDIÇÕES TROPICAIS. 3. INFRAVERMELHO. 4. GADO DE LEITE. 5. ESTRESSE TÉRMICO. I. McMANUS, CONCEPTA, orient. II. FISCHER, VIVIAN, coorient. III. Título.

DARLENE DOS SANTOS DALTRO
Zootecnista

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRA EM ZOOTECNIA

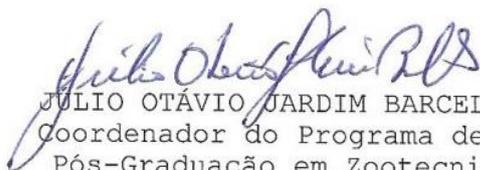
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 20.03.2014
Pela Banca Examinadora

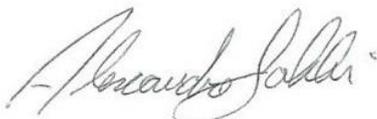
Homologado em: 06.05.2014
Por



VIVIAN FISCHER
PPG Zootecnia/UFRGS
Coorientadora



JULIO OTÁVIO JARDIM BARCELLOS
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



ALEXANDRE MOSSATE GABBI
UFRGS



EDUARDO ANTUNES DIAS
UFRGS



ANDRÉ THALER NETO
UDESC



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente em especial á professora Concepta McManus pela sua orientação, ensinamentos e sempre à disposição para esclarecer as minhas dúvidas.

Á professora Vivian Fischer por toda sua ajuda e aprendizado.

Aos pesquisadores da Embrapa Gado de Leite: Marcos Vinícius Barbosa e Luiz Gustavo Pereira por ceder o local do experimento e todos auxilio prestado.

Á todos os colegas que participaram do experimento em Minas Gerais.

Ao grupo NUPLAC pelo apoio oferecido em especial aos colegas Alexandre e Marcelo que sempre me ajudaram no que foi preciso.

Á Embrapa Gado de Leite e seus funcionários que contribuíram para a realização do experimento.

Aos professores da Pós-Graduação em Zootecnia pelos conhecimentos passados.

Á CAPES pela bolsa oferecida, pois sem ela não teria como dar andamento ao mestrado.

Á UFRGS, por poder fazer parte desse ensino de qualidade.

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA PARA AVALIAR A TOLERÂNCIA AO CALOR EM BOVINOS DE LEITE SUBMETIDOS AO ESTRESSE TÉRMICO¹

Autora: Darlene dos Santos Daltro

Orientadora: Concepta Margaret McManus Pimentel

Co-orientadora: Vivian Fischer

RESUMO

É necessário compreendermos como os animais domésticos respondem aos fatores estressores climáticos na tentativa de amenizar a ação prejudicial das variáveis climáticas responsáveis pelo estresse térmico pelo calor. Assim, o objetivo do presente trabalho foi verificar se a termografia infravermelha poderia ser utilizada no reconhecimento dos animais sob estresse térmico pelo calor, bem como identificar qual a melhor região do animal utilizada para esse reconhecimento. Foram utilizadas 38 vacas em lactação das raças Holandês e Girolando submetidas ao estresse térmico pelo calor. A pesquisa foi conduzida na Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco-MG. A coleta de dados foi feita separadamente para cada raça. Os parâmetros fisiológicos coletados foram: temperatura retal, frequência respiratória, frequência cardíaca e escore de ofegação. Para avaliação dos parâmetros ambientais utilizou-se um termômetro de globo digital modelo TGD-200. Para obtenção das imagens termográficas de diferentes regiões do corpo dos animais, utilizou-se uma câmera infravermelha (FLIR® System T300). As temperaturas ambientais variaram de 20,7°C a 37,9°C com umidade relativa chegando a 95%. Verificou-se através da termografia infravermelha a maior sensibilidade ao estresse por calor para a raça Holandês. As temperaturas obtidas pelo termógrafo mostraram-se indicadores das condições de conforto térmico. A melhor região para identificar a situação de estresse pelo calor no animal foi à região do úbere.

Palavras-chave: adaptabilidade, condições tropicais, infravermelho, estresse térmico.

¹ Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (66 p.) Março, 2013.

USE OF INFRARED THERMOGRAPHY TO ASSESS HEAT TOLERANCE IN DAIRY CATTLE SUBJECTED TO HEAT STRESS¹

Author: Darlene dos Santos Daltro

Advisor: Concepta Margaret McManus Pimentel

Co-advisor: Vivian Fischer

ABSTRACT

It is necessary to understand how domestic animals respond to climate stressors in attempt mitigate the harmful effects of climate variables responsible for heat stress. The aim of this study was to determine whether infrared thermography could be used in the recognition of animals in a state of heat stress, as well as identifying how best region of the animal used for this recognition. Was used 38 cows in lactating Holstein Friesian and Girolando breeds, under heat stress. The research was conducted at Embrapa Gado de Leite in the municipality of Coronel Pacheco in the state of Minas Gerais. Data collection was done separately for each breed. The physiological parameters collected were: rectal temperature, respiratory rate, heart rate and panting score. For assessment of environmental parameters we used a globe thermometer digital model (TGD-200). To obtain the thermograph photographs of different regions of the body of animals, we used an infrared camera (FLIR® System T300). The environmental temperature ranged from 20.7°C to 37.9°C with a relative humidity reaching 95%. It was found by infrared thermography increased sensitivity to heat stress for Holstein Friesian. The thermograph temperatures proved indicators of thermal comfort. The best region to identify heat stress in cows was udder region.

Keywords: adaptability, infrared, thermal stress, tropical conditions.

¹ Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (66 p.) March, 2014.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 O animal e o ambiente	14
2.2 Formas de transferências de calor dos animais	15
2.3 Homeotermia e Termorregulação	16
2.4 Variáveis meteorológicas que afetam os animais	17
2.4.1 Radiação Solar	17
2.4.2 Temperatura ambiente	18
2.4.3 Umidade relativa do ar	19
2.5 Índices de conforto térmico e índices ambientais para os animais	19
2.5.1 Índice de Temperatura e umidade	20
2.5.2 Índice de temperatura de globo negro e umidade	20
2.5.3 Índice de conforto de Benezra	20
2.6 Estresse Térmico por calor em Bovinos de leite	21
2.7 Parâmetros fisiológicos afetados pelo Estresse Térmico	24
2.7.1 Frequência Respiratória	24
2.7.2 Temperatura retal	25
2.7.3 Frequência Cardíaca	26
2.8 Termografia Infravermelha	26
2.8.1 Aplicações Termografia Infravermelha	27
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	29
CAPÍTULO I	30
Uso da termografia infravermelha para avaliar a tolerância ao calor em bovinos de leite submetidos ao estresse térmico	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO III	53
3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
3.2 CONCLUSÕES GERAIS	55
3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
3.4 VITA	65

RELAÇÃO DE TABELAS

TABELA 1. Médias dos parâmetros ambientais durante o experimento.....	37
TABELA 2. Médias dos parâmetros fisiológicos dos animais durante o experimento..	37
TABELA 3. Correlações de Pearson entre parâmetros e medidas aferidas com a termografia infravermelha nos dois períodos do experimento	38
TABELA 4. Equações de regressão múltipla e seus respectivos coeficientes de determinação para estimar as variáveis que predizem os parâmetros fisiológicos dos animais no período da tarde.....	39
TABELA 5 – Análise discriminante das variáveis fisiológicas com as medidas de termografia infravermelha no período da manhã e tarde para ordenamento das observações dos grupos raciais Girolando 1/2, Girolando 3/4 e Holandês.....	39
TABELA 6. Ponto de inflexão da curva (R) dos índices ambientais e índice de conforto térmico com as medidas aferidas com a termografia infravermelha.	43
TABELA 7. Ponto de inflexão da curva (R) dos parâmetros fisiológicos com as medidas aferidas com a termografia infravermelha.	44

RELAÇÃO DE FIGURAS

- FIGURA 1: Imagens aferidas com a termografia infravermelha de diferentes regiões do corpo do animal..... 36
- FIGURA 2 – Análise canônica de parâmetros fisiológicos, termográficos no período da manhã (A) e tarde (B) dos animais.....40
- FIGURA 3: Representação gráfica dos dois primeiros fatores principais dos parâmetros fisiológicos, termográficos e índices ambientais dos grupos genéticos pela manhã (A) e tarde (B).....42

LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

cm: centímetros.
EO: escore de ofegação.
ERI: eritrócitos.
FC: frequência cardíaca.
FR: frequência respiratória.
ICB: índice de conforto de Benezra.
ITGU: índice de temperatura de globo negro e umidade.
MG: Minas Gerais.
mL: mililitros.
mov/min: movimentos por minuto.
SAS®: Statistical Analysis System.
TA: temperatura ambiente.
ITU: índice de temperatura e umidade.
TR: temperatura retal.
TI: termografia infravermelha.
UR: umidade relativa do ar.
ZCT: zona de conforto térmico.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

Há uma crescente preocupação com o conforto de animais em sistemas de produção, já que o Brasil é um país predominantemente de clima tropical, com altas temperaturas médias durante o ano na maior parte do seu território, o que provoca o estresse térmico (Martello et al., 2004). Esse por sua vez é a combinação de condições ambientais que causam uma temperatura efetiva do ambiente maior que a zona termoneutra dos animais (Pires & Campos, 2008).

Com relação ao rebanho mundial aproximadamente 64% dos animais são criados em regiões tropicais (Azevedo et al., 2005). Os animais leiteiros são mais afetados pelas altas temperaturas que os animais de corte uma vez que seu metabolismo é maior (Vasconcelos & Demetrio, 2011), o que acaba dificultando a adaptação de raças leiteiras nestas regiões, fazendo com que as mesmas reduzam o seu grau de bem-estar e produtividade.

O animal fica com uma vulnerabilidade maior ao estresse térmico quando a sua produção de leite aumenta (Vasconcelos & Demetrio, 2011). O grande desafio para animais de alta produção leiteira que são criados em ambientes quentes é dissipar calor produzido pelo próprio metabolismo, pois essa produção de calor metabólico no animal aumenta à medida que aumenta a sua produção de leite (West et al., 2003). Para que os bovinos leiteiros possam expressar seu potencial genético de produção devem ser criados em condições meteorológicas adequadas, isso significa que devem se situar na zona de termoneutralidade, juntamente com alimentação adequada, em quantidade e qualidade (Meireles, 2005). Assim, a maioria dos ruminantes, quando estão nas condições térmicas adequadas, conseguem manter o equilíbrio entre produção e dissipação de calor.

As mudanças nas condições térmicas nos animais são verificadas pela medição de temperaturas corporais por métodos muitas vezes considerados invasivos (Mac-Lean, 2012) como a coleta de sangue, por exemplo, que podem causar estresse e dor nos animais (Stewart et al., 2005).

Assim, o próprio processo de coleta de informação pode causar mudanças fisiológicas nos animais, que se confundem com a resposta do animal ao estressor.

Portanto, as técnicas de medições não invasivas de estresse e de amostragem à distância devem ser estudadas a fim de promover o bem-estar e minimizar o efeito estressor das medições invasivas (Stewart et al., 2008).

A termografia infravermelha (TI) mostrou uma redução significativa nos níveis de estresse em diversas espécies, visto que essa técnica não necessita de contenção ou sedativo (Cilulko et al., 2013). Knížková et al. (2007) e Paim et al. (2013) relataram que a TI é uma ferramenta útil, pois pode indicar o animal sob estresse térmico.

A TI vem sendo indicada como um método proveitoso em estudos de bem-estar animal, uma vez que pode medir a temperatura do corpo ou de partes do corpo dos animais sem a necessidade de contenção, de forma rápida, precisa e não-invasiva (Stewart et al., 2005; Paim et al., 2013). De acordo com Cilulko et al. (2013), um organismo saudável é caracterizado pela distribuição equilibrada de temperatura entre as diferentes partes do corpo. A câmera termográfica ajudará na identificação de variações de temperatura

nos animais, e assim auxiliará em um diagnóstico mais preciso.

A temperatura corporal do animal é um indicador importante para o diagnóstico de doenças em vacas (Poikalainen et al., 2012). A TI tem sido utilizada com êxito em diversos estudos tanto na medicina humana quanto na medicina veterinária (Alsaad & Buscher, 2012). Em ruminantes, a TI tem sido utilizada no diagnóstico de mastite (Berry et al., 2003, Martins et al., 2013), na produção de calor e de metano (Montanholi et al., 2008), na identificação de inflamação associada com claudicação (Stokes et al., 2012), e na avaliação do estresse térmico dos animais, como cavalos (Moura et al., 2011) e ovinos (Paim et al., 2013).

Contudo, o objetivo principal do presente trabalho é verificar se a termografia infravermelha poderia ser usada para reconhecer os animais sob estresse térmico pelo calor, bem como identificar qual a melhor região do animal utilizada para esse reconhecimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O animal e o ambiente

O ambiente é composto de estressores que interagem e inclui todas as combinações de condições nas quais o organismo vive (Azevêdo & Alves, 2009; Almeida, 2009). Esse ambiente físico exerce forte influência sobre o desempenho do animal, pois abrange elementos meteorológicos que afetam os mecanismos de transferência de calor do animal (Perissinotto et al., 2007).

O animal de produção é uma máquina biológica que deve expressar todo o seu potencial quando trabalha sobre ótimas condições ambientais, mas quando as condições não são adequadas geralmente ocorre um reflexo negativo na sua produtividade (Silva et al., 2002). Esses animais então exigem condições satisfatórias do meio em que habitam para que não haja alteração negativa em seus processos fisiológicos (Pires & Campos, 2008).

A resposta dos animais a um evento estressante compreende três componentes principais: o reconhecimento da ameaça à homeostase ou ao bem-estar, a resposta e as consequências do estresse (Almeida, 2009).

Os genótipos de raças altamente produtivas podem não expressar totalmente o seu potencial quando estão submetidos a um estresse ambiental (McManus et al., 2012).

Sabe-se que o nosso país possui cerca de dois terços de seu território situado na faixa tropical do planeta, onde predominam altas temperaturas do ar, em virtude da elevada radiação solar incidente (Almeida, 2009). Então para o estabelecimento de um sistema de criação economicamente viável em determinada região, requer a escolha de raças ou variedades que sejam adequadas às condições ambientais locais (McManus et al., 2011). Com relação à adaptação das raças leiteiras de origem europeia, alguns problemas ocorrem devido a sua alta produtividade, muitas vezes sofrendo problemas de alterações fisiológicas e comportamentais provocadas por estresse térmico, causando redução na produção de leite (Silva et al., 2002). Vacas de alta expressão genética para a produção de leite são mais sensíveis aos efeitos do estresse térmico do que aquelas de menor produção, pois em condições ambientais estressantes têm o seu consumo alimentar reduzido, não sendo suas necessidades nutricionais atendidas, implicando consequentemente em queda na produção (Silva & Souza Júnior, 2013).

Portanto, fica evidente que o animal considerado adequado para expressar seu potencial genético em determinado ambiente não será necessariamente, o mais adequado em termos produtivos, mas, sim, econômicos (McManus et al., 2012).

Uma das estratégias para minimizar os problemas de estresse por calor em vacas leiteiras é o desenvolvimento genético de animais menos sensíveis ao calor ambiental (Beede & Collier, 1986), pois a seleção em ambientes adversos leva à seleção de animais menos produtivos, porém mais adaptados (McManus et al., 2012). Ao longo de décadas, os criadores brasileiros têm procurado combinar as características desejáveis das raças europeias e zebuínas por meio da produção de animais mestiços (Azevedo et al., 2005), sendo esses fisiologicamente mais adaptados as condições adversas (Lopes et al., 2012).

2.2 Formas de transferências de calor dos animais

Uma das formas de avaliar-se a capacidade fisiológica dos animais de tolerar melhor o calor está na eficiência dos mesmos em dissipar este calor, o que varia entre as espécies, raças e indivíduos (Moraes, 2010). Quando os animais estão em estresse causado pelo frio, esse produz calor (termogênese), que pode ser por meio do maior consumo de alimentos para produzir uma maior quantidade de calor interno (calor endógeno); e sob condições de estresse pelo calor, o animal diminui a ingestão de alimento para reduzir a produção interna de calor (baixar a taxa metabólica) e dissipá-lo para o ambiente, por intermédio da condução, convecção, radiação ou evaporação (termólise) (Azevêdo & Alves, 2009).

Nos trópicos, o maior problema para a criação de bovinos, especialmente os de produção de leite, está na eliminação do calor corporal para o ambiente e este fator está relacionado às altas temperaturas, elevada umidade relativa e baixa movimentação do ar (Almeida, 2009). O objetivo é reduzir a temperatura ambiente favorecendo as trocas sensíveis de calor (Silva et al., 2002).

As vacas de alta produção leiteira apresentam grandes necessidades em nutrientes, o grande volume de alimento ingerido e a elevada taxa metabólica faz com que a quantidade de calor produzido seja bastante grande, o que implica a elevada necessidade de dissipação de calor (Perissinotto et al., 2007). O calor se transfere do corpo até o meio através dos seguintes processos físicos: condução, radiação e convecção, que são as perdas sensíveis de calor, enquanto a evaporação é um processo latente de dissipação de calor (Silva et al., 2012). Segundo Azevêdo & Alves (2009), quando o animal encontra-se na zona de conforto térmico, 75% ou mais da perda de calor ocorre por radiação, convecção e ou condução. As perdas de calor por convecção e por radiação dependem da diferença de temperatura entre a superfície do animal e do seu ambiente (Souza & Batista, 2012). Já no processo evaporativo, o animal perde calor pela evaporação do suor, das secreções das vias respiratórias e da saliva (Roberto, 2012). O meio evaporativo é a quarta via de perda de calor e é importante em temperaturas superiores a 29°C, ocorrendo 85% da perda de calor por meio da transpiração e respiração, essa perda de calor por esse meio é dependente da umidade relativa (Almeida, 2009).

A principal via de dissipação de calor nas temperaturas mais amenas é a forma sensível (condução e convecção), nos casos de estresse por calor a perda de calor latente por evaporação é mais eficiente (Perissinotto et al., 2006). No entanto, quando a temperatura ambiente excede a temperatura crítica superior, o gradiente de temperatura torna-se pequeno para que ocorra resfriamento por condução, convecção ou radiação e a umidade relativa do ar passa a ter importância fundamental nos mecanismos de dissipação de calor (Azevêdo & Alves, 2009).

Quando a temperatura excede os 35°C os processos de dissipação de calor como a condução, radiação e convecção desaparecem, ficando a evaporação responsável pela totalidade da dissipação e as glândulas sudoríparas, junto com as vias respiratórias são as responsáveis por esse processo (Silva et al., 2012). A sudorese é uma característica adaptativa que depende da temperatura da pele, da umidade relativa do ar, da densidade,

tamanho e funcionamento das glândulas sudoríparas, além da espessura do pelame (Azevêdo & Alves, 2009). Se o animal não conseguir dissipar o calor excedente através da pele por radiação, condução e convecção, a temperatura retal aumenta acima dos valores fisiológicos normais e desenvolve-se o estresse térmico (Souza & Batista, 2012).

A maior resistência de bovinos de origem zebuína (*Bos indicus*) ao estresse térmico, comparados aos bovinos taurinos (*Bos taurus*) encontra-se pelo maior volume de glândulas sudoríparas verificadas nos primeiros, consequência da adaptação ao ambiente natural e a seleção genética à termotolerância (Hansen, 2004; Silva, 2012).

2.3 Homeotermia e Termorregulação

Os ruminantes são animais classificados como homeotermos, ou seja, apresentam funções fisiológicas que se destinam a manter a temperatura corporal constante (Martello et al., 2004; Perissinotto et al., 2007) apesar das variações de temperatura do meio (Souza & Batista, 2012; Silva et al., 2012).

O controle da temperatura dos animais homeotérmicos é de responsabilidade do centro termorregulador que está localizado no hipotálamo, sendo que as células periféricas especializadas transmitem as sensações de frio ou de calor para que o sistema nervoso central passe essas informações para o hipotálamo (Cruz et al., 2011).

O centro termorregulador detecta as variações do ambiente térmico, ou seja, da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e da intensidade de radiação solar (Silva et al., 2012).

Segundo Rossarolla (2007), o centro termorregulador, quando a temperatura corporal das vacas ultrapassa o limite crítico superior, dá início à termólise, especialmente por via evaporativa, através do aumento da frequência respiratória que, em geral, apresenta-se superior a 40 movimentos por minuto, podendo atingir níveis alarmantes de dispneia (ofego) da ordem de mais de 100 movimentos por minuto.

A homeotermia é a manutenção, aproximadamente constante, da temperatura interna do corpo, embora a temperatura ambiental varie dentro de limites apreciáveis (Silva et al., 2012).

A manutenção da homeotermia é prioridade para os animais e impera sobre as funções produtivas como a produção de leite e a reprodução (Martello et al., 2004).

Os bovinos, dependendo da raça, nível de produção, estágio fisiológico e plano nutricional, apresentam uma faixa de temperaturas ambiente em que não sofrem desconforto térmico por frio ou por calor, essa gama de temperatura designa-se por zona de termoneutralidade (Perissinotto et al., 2007). Quando o ambiente térmico do animal está acima da zona de conforto térmico ou termoneutralidade (ZCT), sua atividade física é diminuída para que a produção de calor seja mínima (Graciano, 2013).

A ZCT é um conceito que descreve a inter-relação do animal com o seu ambiente e que dentro dessa amplitude térmica o animal é capaz de manter a homeotermia sem que seus mecanismos de termorregulação sejam ativados (Martins, 2011).

Os mecanismos de termorregulação apesar de serem um meio natural de controle da temperatura do organismo do animal,

representam esforço extra e alteração na produtividade do animal (Martello et al., 2004). É necessário distinguir aqueles animais de origem europeia (*Bos taurus taurus*) e os de origem indiana (*Bos taurus indicus*), pois as raças taurinas europeias foram selecionadas para produzirem e reproduzirem em condições de clima temperado e por isso, estão fisiológica e geneticamente adaptadas para este ambiente climático (Castanheira, 2008). A ZCT corresponde aos limites de temperatura em que o animal não apresenta necessidade de mobilizar os recursos termorreguladores para se ajustar às condições ambientais (Silva et al., 2012).

Castanheira (2008) relatou que a faixa ideal para bovinos leiteiros de origem europeia encontra-se dentro do limite de 0°C a 16°C, para as raças zebuínas está entre 10°C a 27°C e o cruzamento das duas suportariam uma temperatura crítica máxima de 35°C e mínima de 0°C, devido a serem mais tolerantes ao calor.

Na tentativa de manter a termoneutralidade, os animais utilizam diversos mecanismos comportamentais e fisiológicos: como casos de estresse por calor os animais prostram-se, abrigam-se da radiação solar sob coberturas que proporcionem sombras, procuram lâminas de água ou de terrenos úmidos onde se espojam, diminuem a ingestão de alimentos, aumentam a ingestão de água, bem como aumentam os batimentos cardíacos, a circulação periférica e a taxa de respiração e de sudorese (Silva et al., 2012).

2.4 Variáveis meteorológicas que afetam os animais

As condições climáticas exercem forte influência sobre o desempenho animal, por afetar os mecanismos de transferência de calor e, assim, a regulação do balanço térmico entre o animal e o meio (Silva & Souza, 2013). De acordo com Silva (2011), as condições ambientais apropriadas estão diretamente relacionadas com a ambiência e qualidade do ambiente. Os efeitos das variáveis ambientais podem afetar os animais de forma direta e indireta pela influência do ambiente físico em que o animal se encontra. Isso por que o animal e o ambiente formam um sistema interligado, em que ambos agem um sobre o outro (Castanheira, 2008). A temperatura do ar, a radiação solar direta, umidade relativa do ar e velocidade do vento são as variáveis ambientais que exercem influência sobre a produção (Pires & Campos, 2011). De acordo com Barbosa et al. (2004), na literatura é vasta nas verificações dos fatores ambientais que impõem, coletiva ou separadamente, um certo grau de desgaste nos animais, mensurável pelos resultados das disfunções verificadas na homeotermia.

2.4.1 Radiação Solar

Altas taxas de radiação solar durante o dia e à elevada umidade relativa, que combinados entre si provocam grandes mudanças no mecanismo fisiológico dos animais (Azevêdo & Alves, 2009). Dependendo da intensidade e duração em que os animais estejam submetidos, a radiação solar pode afetar o comportamento e modificar determinados aspectos fisiológicos do animal como a elevação da temperatura corporal, frequência respiratória, batimentos cardíacos e taxa de sudorese (Castro, 2005).

Nos dias com a temperatura elevada e radiação solar intensa, as vacas pastam principalmente no início da manhã, final da tarde e durante a

noite, procurando manter-se à sombra nas horas mais quentes (Azevêdo & Alves, 2009), na tentativa de amenizar os efeitos do estresse térmico causados pela radiação solar direta (Baccari Junior, 2001).

2.4.2 Temperatura ambiente

A temperatura ambiente caracteriza-se como um fator bioclimático importante que têm influencia sobre o ambiente físico do animal, conforto térmico, funcionamento de processos fisiológicos e produtivos (Roberto, 2012).

As alterações negativas na produção de leite de vacas em consequências da exposição a elevadas temperaturas deve-se primordialmente, à redução no consumo de alimentos, à hipofunção da tireoide e à energia despendida para eliminar o excesso de calor corporal (Silva & Souza, 2013).

A temperatura ideal para a produção varia de acordo com a raça do gado e seu grau de tolerância ao calor ou ao frio (Almeida, 2009; Pires & Campos, 2008).

De acordo com Perissinotto et al. (2007), a temperatura ótima de produção de leite depende de vários fatores nomeadamente da raça e sua inerente tolerância ao calor e ao frio. Já a tolerância ao calor varia de acordo com as espécies, com as raças e dentro das raças (Graciano, 2008). Essa tolerância ao calor é medida normalmente no meio ambiente ou no animal e envolve três fatores: o ambiente térmico (principalmente a temperatura, umidade, radiação solar e vento), o corpo do animal e uma escala adequada para expressar numericamente o efeito do ambiente térmico no corpo do animal (Martins, 2011). O desempenho do animal na produção, reprodução, eficiência, saúde e ou bem-estar podem ser comprometidos quando fatores estressores ambientais excedem os limites de tolerância dos mecanismos compensatórios (Castanheira, 2008).

Nos períodos mais quentes do ano, as vacas de elevada produção adotam comportamento diferenciado como a redução no tempo de alimentação e ruminação e aumento no tempo de ócio, provavelmente para diminuir a produção de calor metabólico (Silva & Souza, 2013).

Quando a temperatura ambiente está entre 32 e 38°C e a umidade relativa do ar for maior que 50% as vacas mostram sinais evidentes de estresse térmico como polipnéia térmica com a boca aberta, com a língua pendente, aumentos significativos da temperatura corporal, diminuição severa do consumo do alimento e do rendimento produtivo (Perissinotto et al., 2007).

Sabemos que dois terços do território brasileiro encontram-se na região tropical, onde há predominância de temperaturas elevadas, consequentes da alta incidência de radiação solar (Nääs & Arcaro Júnior, 2001; Cruz et al., 2011).

Nessa região, a temperatura média do ar situa-se acima dos 20°, sendo que a temperatura máxima se apresenta, nas horas mais quentes do dia, acima dos 30°C por grande parte do ano, atingindo muitas vezes, entre 35 e 38°C (Arcaro Junior et al., 2003).

Dessa forma, pode-se concluir que, em um país clima tropical/subtropical como o Brasil, as vacas leiteiras, principalmente de raça Holandês, na maior parte do ano estão submetidas a temperaturas maiores do que a de conforto térmico (Perissinotto, 2003).

Os animais homeotérmicos reagem a alterações do ambiente térmico, não só funcional e estruturalmente, como também através de respostas comportamentais (Pires & Campos, 2008).

Com o aumento da temperatura ambiental ocorre uma redução na produção de calor decorrente do metabolismo basal, e isso se dá mediante diminuição do consumo de alimentos e por consequência das atividades fisiológicas, como a produção de leite (Silva et al., 2012). Porém, a diminuição na produção de leite, como resposta ao estresse térmico, não leva à perda total da produção, mas uma vez cessada a condição de estresse, a quantidade de leite volta a aumentar, porém o faz lentamente e sem retornar ao nível anterior ao estresse (Perissinotto, 2003).

2.4.3 Umidade relativa do ar

É também, um fator que provoca dano ao conforto dos bovinos, interagindo também com a temperatura ambiente (Pires & Campos, 2008). Em ambiente de temperatura muita elevada, tanto o excesso como a carência de umidade serão prejudiciais (Roberto, 2012). Quanto maior a umidade relativa do ar associada a altas temperaturas, menos eficiente será a dissipação do calor (Souza & Batista, 2012), pois a umidade relativa elevada é um fator que prejudica a liberação de calor através da respiração de várias espécies animais, principalmente pela dificuldade de troca térmica (Graciano, 2013).

A umidade relativa ideal para a criação de animais domésticos situa-se entre 50 e 70% (Sampaio et al., 2004). Cerutti et al. (2013), informaram que até um limite máximo de 70% de umidade relativa do ar, a maneira mais eficiente de se resfriar um ambiente destinados a vacas em lactação, é fazer uso de água, uma vez que a mesma possui alta capacidade calorífica e elevado calor latente de vaporização.

2.5 Índices de conforto térmico e índices ambientais para os animais

Existem diversos indicativos para caracterização do conforto e do bem-estar animal e entre eles está à observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse térmico (Almeida, 2009). Sabe-se que alguns índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o impacto do ambiente nos animais, ou seja, predizer o conforto ou desconforto das condições ambientais (Pires & Campos, 2004).

Mas os índices ambientais são diferentes de índices de conforto térmico (Silva et al., 2008).

Os índices ambientais são valores únicos que representam essa combinação de fatores para mensurar o estresse por calor sentido pelos animais (Bohmanova et al., 2007) e devem envolver somente fatores ambientais, desde que sejam relevantes ao organismo em questão (Nascimento, 2011). Os índices de conforto térmico só podem ser definidos em função de reações fisiológicas dos organismos, cujas medidas devem ser incluídas na estruturação dos mesmos de acordo com Nascimento (2011), e são classificados como **biofísicos** que são baseados nas trocas de calor corporal dos animais e ambiente físico, **fisiológicos** que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições climáticas como a temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, precipitação e velocidade do vento e por

último classificado como **subjetivo**, que traduzem as sensações subjetivas de conforto, em função de variações dos elementos de conforto térmico (Castro, 2005). Segundo Ferreira (2005), os resultados desses índices possibilitam uma avaliação mais precisa da situação do ambiente e a comparação de resultados zootécnicos com animais de diferentes regiões.

2.5.1 Índice de Temperatura e umidade

Segundo Azevêdo & Alves (2009) é o índice mais utilizado e é calculado a partir da temperatura e umidade relativa do ar.

No ano de 1959, Thom desenvolveu um índice de calor para o conforto humano (Índice de Desconforto) com base de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido (Collier & Collier, 2012). Esse índice de temperatura e umidade (ITU), inicialmente foi desenvolvido para humanos e mais tarde adaptado para os bovinos (Pires & Campos, 2008). Depois, diversos índices para medir o grau de tolerância ao calor de bovinos e outros animais foram desenvolvidos ao longo dos anos (Akyuz et al., 2010; Martins, 2011). Apesar de existirem índices de conforto térmico mais completos que o índice de temperatura e umidade, o mesmo tem sido utilizado, pois envolve apenas informações meteorológicas (Souza et al., 2010) e sendo usado pelos pesquisadores para a avaliação do estresse térmico (Martello et al., 2004).

É responsável pelos efeitos combinados da temperatura ambiente e umidade relativa do ar, sendo uma maneira útil e fácil de avaliar o estresse por calor dos animais (Akyuz et al., 2010).

A inter-relação entre a temperatura e a umidade do ar é importante para o bem-estar animal e para a rentabilidade de produção dos animais (Herbute & Angrecka, 2012).

Esse índice ambiental representa valores únicos de combinação de fatores ambientais como temperatura do ambiente, umidade do ar, velocidade do vento dentre outros para mensurar o estresse por calor sentido pelos animais (Bohmanova et al., 2007). O ITU é utilizado para estabelecer classes definidas de acordo com o seu comportamento fisiológico em determinada temperatura (Pires & Campos, 2008), servindo para caracterizar e quantificar as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais, conjugando em uma única variável os elementos que caracterizam o ambiente térmico associado ao animal e as suas influências (Perissinotto et al., 2007).

Os mesmos autores relataram que, o animal dentro de uma faixa de ITU considerada adequada produzirá de acordo com o seu potencial genético, caso as outras condições limitantes também estejam em níveis adequados.

O valor aceito para o conforto térmico é até 72, ultrapassá-lo significa que o animal se encontra em estresse devido ao calor, já que esse número significa o limite superior ao da zona termoneutra por vacas em produção (Pires & Campos, 2008). Akyuz et al. (2010), informaram que o estresse térmico leve é considerado com um ITU de 72 para os bovinos, níveis moderados de estresse ITU de 79 e níveis graves de 89.

Ferreira et al. (2006), trabalhando com 71 bovinos da geração F2 ($\frac{1}{2}$ Gir x $\frac{1}{2}$ Holandês), constataram que valores de ITU de 69 a 70 indicaram condições não estressantes, enquanto que valores superiores a 83 indicaram estresse severo. Azevedo et al. (2005), estimaram limites críticos superiores de

ITU baseados na temperatura retal. Os limites de ITU 80, 77 e 75 para animais do grupo genético $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ e $\frac{7}{8}$ Holandês x Zebu respectivamente.

Os níveis críticos de ITU poderiam fornecer subsídios aos criadores para adoção de técnicas de manejo que minimizem os problemas decorrentes do estresse térmico em seus rebanhos (Azevedo et al., 2005).

2.5.2 Índice de temperatura de globo negro e umidade

O globo de Vernon ou globo negro ou globotermômetro consiste de uma esfera oca, de cobre, com aproximadamente 0,15 m de diâmetro, pintada externamente com duas camadas de tinta preto-fosca para maximizar a absorção de radiação solar e em seu interior é inserido um termômetro para leitura da temperatura (Azevêdo & Alves, 2009).

O índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) foi desenvolvido por Buffington et al. (1981). O globo negro indica, por meio do valor lido no termômetro, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, três importantes fatores que afetam o conforto térmico dos animais (Azevêdo & Alves, 2009). Os mesmos autores relatam que é um meio prático de determinar o componente de energia radiante no ambiente e está consolidado nas pesquisas em bioclimatologia, na determinação de índices que expressam o grau de conforto dos animais.

O ITGU de Buffington et al. (1981) é baseado nas medidas da temperatura de globo negro, da temperatura de ponto de orvalho e da temperatura ambiente, eles substituíram na fórmula do ITU a temperatura do globo negro no lugar da temperatura do ar.

Quando os mesmos compararam o ITGU com o ITU, concluíram que o ITGU tem maior eficácia como indicador de conforto animal em condições ambientais estressantes de calor quando os animais estão expostos à radiação solar. Já quando expostos a pequenos ou moderados níveis de radiação, o ITGU e o ITU podem ser igualmente efetivos como indicadores de conforto térmico. Segundo o National Weather Service USA, citado por Baêta (1985), valores de ITGU entre 74 a 78 significam situação de alerta, valores de 79 a 84 significam situação perigosa e acima de 84, significam situação de emergência.

2.5.3 Índice de conforto de Benezra

O índice de conforto (ICB) foi idealizado na Venezuela e desenvolvido por Benezra (1954) avalia o conforto térmico de animais criados em regiões tropicais e considera como fatores relevantes a frequência respiratória e a temperatura retal dos animais.

Segundo Moraes (2010) esse teste de Benezra é considerado “medida de adaptabilidade” por nos permitir verificar a capacidade do animal em manter sua homeotermia.

A fórmula do índice de conforto térmico de Benezra: $ICB = TR/38,33 + FR/23$, onde TR é a temperatura retal (°C) e FR é a frequência respiratória, e mensurada em movimentos por minuto (Benezra, 1954).

Valores próximos a dois são considerados como de maior conforto animal, significando que os animais estariam apresentando temperatura retal e frequência respiratória ideal (Benezra, 1954), possibilitando um maior ganho de peso e melhor desempenho reprodutivo (Garcia et al., 2011).

2.6 Estresse Térmico por calor em Bovinos de leite

O principal fator a ser considerado para se garantir o conforto animal em países tropical e subtropical é o de minimizar os efeitos do estresse térmico (Silva et al., 2002). Um ambiente estressante provoca várias respostas, dependendo da capacidade do animal para adaptar-se (Barbosa et al., 2004) e quanto maior for o desafio imposto pelo ambiente, mais dificuldade o animal terá em se adaptar e menor será seu grau de bem-estar (Bond et al., 2012).

Em determinadas situações ambientais, o animal pode manter todas as suas funções vitais (manutenção, reprodução e produção), mas em outras ele tem que estabelecer prioridades (Barbosa et al., 2004).

Algumas regiões do nosso país apresentam condições climáticas desfavoráveis, dificultando a adaptação das raças leiteiras (Souza et al., 2004). McManus et al. (2009) mostraram que a raça Holandês teve o pior desempenho em relação à adaptação ao calor entre sete raças estudadas na Região Centro-Oeste. Perissinotto et al. (2007), descreveram que as vacas leiteiras, principalmente da raça Holandês, estarão a maior parte do ano submetidas a temperaturas maiores que as desejadas.

Em climas tropicais e subtropicais, os altos valores de temperatura e de umidade do ar têm se mostrado limitantes tanto ao desenvolvimento, quanto à produção e à reprodução, principalmente em animais com alta produtividade (Columbiano, 2007).

O calor é um dos principais limitantes na produção de animais nos trópicos, visto que, acontecem mudanças drásticas e prejudiciais nas funções biológicas do animal (apetite, ingestão, eficiência alimentar e utilização do alimento), ao mesmo tempo, ocorre aumento das temperaturas retal, pele e pelos, sudorese e das frequências respiratória e cardíaca, redução das perdas de água nas fezes e na urina, disfunções no metabolismo de proteína, energia e minerais, assim como distúrbios em reações enzimáticas e secreção de hormônios, além da energia despendida para eliminar calor do corpo do animal (Graciano, 2008).

Visto que a produtividade leiteira das vacas é diminuída pelo clima quente (West et al., 2003), principalmente as de origem europeia devido aos seus altos padrões de produção, pois acabam sofrendo problemas de alterações fisiológicas e comportamentais provocados pelo estresse térmico (Perissinotto et al., 2007).

A maior produção de leite, associado ao maior consumo de alimentos, implica em aumento na produção de calor metabólico e em dificuldade na manutenção do equilíbrio térmico dos animais em condições de calor (Azevedo et al., 2005).

O grande desafio para vacas de alta produção leiteira é dissipar calor produzido pelo próprio metabolismo (West et al., 2003). Minimizar os efeitos do estresse térmico sobre os animais torna-se essencial para a manutenção e produtividade (Cruz et al., 2011).

O estresse térmico é a combinação de condições ambientais que causam uma temperatura efetiva do ambiente maior que a zona termoneutra dos animais (Pires & Campos, 2008). Já Cruz et al. (2011), mencionaram que esse pode ser definido como a somatória de forças externas ao animal homeotérmico, desequilíbrio entre condições ambientais e animal que alteram a

temperatura corporal do estado de repouso ou seja, a condição de homeostase. O estresse por calor pode ser provocado por vários fatores externos como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar e radiação solar (Gantner et al., 2011; Joksimovic-Todorovic et al., 2011; West et al., 2003).

O mesmo faz com que o centro de resfriamento do hipotálamo estimule o centro medial de saciedade que inibe o centro lateral de apetite, resultando em diminuição da ingestão alimentar e conseqüentemente, menor produção e, em longo prazo, menor ganho de peso (Castanheira, 2008).

O estresse térmico ocasionado por altas temperaturas ambientais pode influenciar direta ou indiretamente a homeostase animal, causando impactos negativos em vários aspectos como comportamento, metabolismo, produção, reprodução e crescimento animal (Roberto, 2012).

A exposição de vacas em lactação a altas temperaturas, muitas vezes associada à alta umidade relativa do ar e radiação solar prolongada, diminui a sua capacidade de dissipar calor e sua produção de leite é reduzida (Gantner et al., 2011; West et al., 2003). Essa alteração na produção de leite ocorre pela diminuição da ingestão de matéria seca e conseqüentemente diminuição da ingestão de energia metabolizável que seria destinada a produção de leite (Perissinotto et al., 2007).

A produção de leite é diminuída principalmente em vacas de alta produtividade, pois a vaca fica mais susceptível ao estresse térmico, pois possui um metabolismo mais acelerado, alta produção de calor metabólico e dificuldade em dissipar esse calor metabólico (Cruz et al., 2011). Existe uma relação positiva entre o nível de produção de leite e a quantidade de calor gerado pelo metabolismo basal (Silva et al., 2012).

O estresse por calor tem efeitos marcantes sobre o metabolismo da glândula mamária e da composição do leite (Ascaro Junior et al., 2003). Na composição do leite, tem impacto na industrialização do produto, como ocorre quando baixa a proporção dos íons cálcio e magnésio e, como consequência, coagulação durante o processo de pasteurização (Silva et al., 2012).

Uma explicação razoável para as reduções na produção e composição do leite é a queda do consumo de alimentos, a absorção de nutrientes e redirecionamento do fluxo sanguíneo dos órgãos internos para os tecidos periféricos (Silva et al., 2012, Gantner et al., 2011). Esse deslocamento causa redução do aporte sanguíneo da veia porta (14%) e da glândula mamária (12%), com reflexos na produção e composição do leite (Silva et al., 2012). Outra explicação para essa redução é dada pela diminuição da secreção de hormônios, especialmente dos termogênicos como insulina, tiroxina e cortisol (Pereira, 2005). Segundo West (2003), quando a temperatura exterior for de 35°C ou mais, pode ocorrer uma redução na produção de leite de até 33%. Já Pinarelli (2003), relatou que vacas com estresse térmico pode ocorrer um decréscimo de 17% na produção de vacas de 15kg de leite/dia e de 22% em vacas de 40kg de leite/dia. Quando o animal está sob estresse pelo calor, ele procura maximizar o contato com algo que tenha temperatura inferior a sua extremidade da pele, buscando transferir calor para o meio e, com isso, diminuir sua temperatura corporal (Silva et al., 2012). Nos períodos mais quentes do ano, as vacas utilizam mecanismos como a redução no tempo de alimentação e ruminação, aumento no tempo de ócio para diminuir a produção de calor metabólico excedente (Porcionatto et al., 2009).

Quando uma vaca em lactação é submetida a uma temperatura ambiente de 29°C está sob efeito do estresse térmico e logo após encontrar-se em condições de termoneutralidade ou conforto (18°C), sua reação é adaptar-se fisiologicamente ao estresse agudo, desencadeando a reação de alarme com uma acentuada queda na produção de leite e após poucos dias a recuperação da produção de leite é limitada, havendo uma tendência para estabelecer-se um nível de aclimação (Laloni et al., 2004).

A maneira mais eficiente de se combater o estresse térmico e estabelecer algumas adaptações no ambiente (Silva et al., 2012), como o uso de arborização, sombreiros, sistemas de resfriamento adiabático, ventiladores e aspersores (Pires & Campos, 2008). De acordo com Silva et al. (2002), construções zootécnicas que possuem equipamentos de refrigeração e ventilação projetados especialmente para reduzir a temperatura do ar em abrigos para animais podem ser bastante eficientes e o resfriamento evaporativo das instalações para confinamento de gado leiteiro tem se expandido rapidamente em climas quentes, devido a simplicidade, praticidade, relação custo/benefício favorável, proporcionando incrementos na produção e leite.

2.7 Parâmetros fisiológicos afetados pelo Estresse Térmico

Com a evolução da bovinocultura, surgiu uma série de problemas metabólicos e de manejo, destacando, entre eles, o estresse térmico (Almeida, 2009). A capacidade do animal de resistir às condições de estresse térmico tem sido avaliada fisiologicamente por alterações na temperatura retal, frequência cardíaca, frequência respiratória (Pires & Campos, 2008) e concentrações hormonais (Ferreira et al., 2006).

De acordo com Moraes (2010), os parâmetros fisiológicos mais utilizados na literatura para avaliar a tolerância ao calor são frequência respiratória e temperatura retal.

2.7.1 Frequência Respiratória

Segundo Moraes (2010) a frequência respiratória é uma das principais referências fisiológicas para estimar a tolerância dos animais ao calor, pois quando é mantida alta por curtos períodos constitui-se numa maneira eficiente de perda de calor, mas caso isso ocorra por várias horas, poderá resultar em sérios problemas para os animais.

Uma das respostas homeostáticas dos mamíferos ao estresse térmico inclui o aumento da frequência cardíaca e respiratória (Neri, 2012).

A elevação da taxa respiratória a primeira reação quando os animais são expostos ao calor (Silva et al., 2012). O aumento ou diminuição da frequência respiratória está na dependência da intensidade e duração do estresse que estão submetidos os animais (Martello et al., 2004). Os animais que apresentam menor frequência respiratória são considerados mais tolerantes ao calor (Moraes, 2010).

As variações da TR e FR podem ser influenciadas, tanto por fatores intrínsecos (idade, raça, estado fisiológico), quanto por fatores extrínsecos (hora do dia, ingestão de alimentos e de água, temperatura ambiente, velocidade do vento, estação do ano).

Com o aumento da temperatura ambiente, a taxa respiratória

continua a aumentar linearmente até certo ponto, quando quase nivela ou reduz ligeiramente, onde os músculos respiratórios apresentam no limiar da máxima atividade e a taxa respiratória não pode aumentar mais (Silva et al., 2012). O aumento na frequência respiratória por um período de tempo, caracteriza-se como um método eficiente de perda de calor, entretanto se esse mecanismo passa a ser exigido por um período de tempo prolongado, pode interferir na ingestão de alimentos e ruminação, proporcionar um aumento no calor endógeno em função da atividade muscular (ofegação), desviando energia de outros processos metabólicos (Rossarolla, 2007).

A perda de calor pelo trato respiratório, assim como pela pele, implica em um processo de mudança de estado físico, de líquido para vapor, o que ocorre com o ar umedecido nas vias respiratórias superiores, assim como o suor (Almeida, 2009) e tal processo se torna possível devido ao calor latente de vaporização (Silva, 2011).

Segundo Silanikove (2000), valores de FR de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 120 mov/min caracterizam respectivamente um baixo, médio e alto estresse para ruminantes, e acima de 200 mov/min o estresse é classificado como severo. Já West (2003), relatou que uma temperatura corporal maior que 39,2°C e FR maior que 60 movimentos por minuto é indicativo de estresse térmico. Azevedo et al. (2005), estudando 3 grupos genéticos de vacas leiteiras: 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu (HZ), observaram elevação da FR dos três grupos genéticos no período de verão, enquanto que a TR, no mesmo período, só se elevou nas vacas 3/4 e 7/8 HZ.

Ferreira et al. (2006), trabalhando com 71 bovinos machos e fêmeas da geração F2 ($\frac{1}{2}$ Gir x $\frac{1}{2}$ Holandês), constataram que no período da tarde houve uma diferença entre os sexos, sendo que os machos apresentaram FR menor do que as fêmeas, tanto na estação do inverno (121,43 e 127,67 mov/min) quanto no verão (130,92 e 137,12 mov/min) ($P < 0.05$). Os mesmos autores encontraram correlação positiva entre a TR com a FR ($r = 0,92$; $P < 0.001$). A taxa respiratória de bovinos europeus nunca excede 50 movimentos por minuto em qualquer temperatura abaixo de 26°C e especificamente em vacas Holandesas e Jersey, a taxa de respiração começa a aumentar por volta de 16°C a 21°C, respectivamente (Silva et al., 2012).

2.7.2 Temperatura retal

A temperatura corporal resulta do equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo, isto é, a quantidade de calor produzida no organismo, ou por ele absorvida, e a quantidade liberada para o ambiente (Almeida, 2009). O mesmo autor relatou que o equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo pode ser inferido pela temperatura retal e a mesma pode se elevar se a produção de calor exceder a dissipação (Silva et al., 2012).

Segundo Rossarolla (2007), a temperatura retal é usada frequentemente como índice de adaptabilidade fisiológica em ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia. A importância da elevação da temperatura retal (TR) é sua significância no processo termorregulatório (Silva et al., 2012). Um aumento na temperatura retal do animal significa o calor não está sendo dissipado acarretando na manifestação do estresse térmico (Souza et al., 2005).

A temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, variando também com a categoria animal analisada (Martello et al., 2002). De acordo com Rossarolla (2007), a temperatura corporal dos animais domésticos apresenta ritmo circadiano, com a máxima ao entardecer entre às 17 e às 19 horas e a mínima na primeira hora da manhã entre às 4 e 6 horas.

O limite de variação normal da TR de bovinos leiteiros de 38,0 a 39,3°C (Dukes, 1996; Robinson 2004; Silva, 2000). Perissinotto et al. (2007), relataram que a TR normal da vaca leiteira, em termoneutralidade e em repouso, varia geralmente, entre 38,0°C e 39°C. Essa temperatura é mantida mediante regulação cuidadosa do equilíbrio entre a formação de calor e sua liberação pelo organismo (Martello et al., 2004).

2.7.3 Frequência Cardíaca

Segundo Cerutti et al. (2013), os efeitos do estresse térmico sobre a frequência cardíaca é variável, sendo o aumento ou redução da mesma ligado à intensidade de estresse a que os animais estão submetidos e a capacidade de adaptação dos mesmos.

Para bovinos adultos, os valores normais da frequência cardíaca situa-se entre 60 e 70 batimentos por minuto (Rossarolla, 2007).

Quando o estresse térmico está em intensidade moderada, a frequência cardíaca é reduzida como resposta a dilatação periférica dos vasos (Cerutti et al., 2013).

Avila et al. (2013) avaliando vacas da raça Holandês observaram que nas duas estações as frequências cardíacas foram superiores aos valores considerados fisiológicos, pois ultrapassaram os 70 batimentos por minuto, chegando a atingir os 80 batimentos por minuto. Mas Rossarolla (2007), descreveu que apenas a alteração dessa variável não é suficiente para determinar o estresse térmico, pois outros fatores como raça, idade, trabalho muscular, ingestão de grande quantidade de alimento e ruminação podem influenciar também.

2.8 Termografia Infravermelha

Nos últimos anos tem havido um crescente interesse no bem-estar animal, os consumidores estão prestando maior atenção às condições de criação dos animais, nos procedimentos que impliquem dor e sofrimento (Godyn et al., 2013).

Técnicas de medições não invasivas de estresse e de amostragem à distância devem ser estudadas a fim de melhorar o bem estar animal (Stewart et al., 2008) e reduzir a influência da própria realização da medida sobre a avaliação do estresse. Um organismo saudável é caracterizado por uma distribuição equilibrada de temperatura entre as diferentes partes do corpo (Cilulko et al., 2013). A temperatura corporal é um indicador importante para o diagnóstico de doenças nos animais e dos seus estados fisiológicos (Poikalainen et al., 2012). A maioria dos ruminantes quando estão em condições térmicas adequadas conseguem manter o equilíbrio entre produção e dissipação de calor e essas mudanças são verificadas pela medição da temperatura corporal por métodos muitas vezes considerados invasivos (Mac-Lean, 2012).

Mas sob condições de estresse por calor a transferência circulatória

de calor para a pele pode ser aumentada por meio da dilatação das arteríolas dos leitos vasculares cutâneos e por meio da abertura das anastomoses arteriovenosas nos membros, orelhas e focinho permitindo aumentar o fluxo sanguíneo periférico facilitando a perda de calor para o ambiente a partir da pele (Cunningham, 2008). A termografia infravermelha (TI), é uma técnica moderna, segura e não-invasiva de visualização do perfil térmico (Knizková et al., 2007). É uma ferramenta útil para avaliar o estresse térmico dos animais (Moura et al., 2011), pois detecta alterações no fluxo sanguíneo (Stewart et al., 2005) e variações mínimas de temperatura corporal com precisão (Knížková et al., 2007). Com isso, a utilização da análise da TI torna possível identificar pontos de valores distintos de temperatura radiante e valiosa no reconhecimento de eventos fisiológicos em animais (Bouzida et al., 2009). Além de rápida utilização, a vantagem dessa técnica é que não existe a necessidade de conter o animal, nem o contato físico, nem o uso de sedativos e a leitura deve ser realizada à distância do animal (Cilulko et al., 2013; Stewart et al., 2005). Já Godyn et al. (2013), mencionaram que outras vantagens seriam pelo fato do equipamento ser leve e portátil, mostrando uma grande sensibilidade na variação da temperatura do animal. A técnica depende da habilidade do operador e do animal ficar parado por alguns segundos (Da Cruz Júnior, 2011). Algumas limitações no uso da TI devem ser levadas em consideração para que sua utilização tenha a máxima eficiência. Elas devem ser utilizadas em um ambiente tranquilo e deve-se esperar o animal se ajustar de forma natural (Cilulko et al., 2013).

De acordo com Silva (2013), todo material irradia e absorve a radiação infravermelha através de agitação das moléculas constituintes e a utilização da TI torna possível detectar este tipo de radiação. O sensor de uma câmera termográfica permite que a energia de radiação seja convertida em um sinal elétrico, sendo transformado para a forma digital, cujos valores representam as temperaturas de pontos particulares da imagem (Godyn et al., 2013). Os termovisores captam as radiações infravermelhas transformando as em um mapa térmico da superfície do animal (Kunc et al., 2007), com imagens com base na quantidade de calor gerado (Colak et al., 2008). Cada objeto na terra gera calor radiante na parte infravermelha do espectro de luz e a câmera termográfica é capaz de detectar esse tipo de radiação (Da Cruz Júnior, 2011; Silva, 2013). Cada região do animal que é captada emite essa radiação infravermelha diferente que é interpretada como uma cor de acordo com uma escala de tonalidade (Martins, 2011).

O fato de que a radiação é uma função de temperatura da superfície do objeto, torna possível para a câmera calcular a exposição a esta temperatura e medir a temperatura com precisão (Da Cruz Júnior, 2011), sendo realizado automaticamente pelo equipamento (Knizkova et al., 2007). Os dados obtidos por digitalização são processados por computador, proporcionando uma detalhada análise do campo de temperatura (Da Cruz Júnior, 2011). O software da câmera permite a análise de dados de temperatura em qualquer área do termograma (Godyn et al., 2013).

2.8.1 Aplicações Termografia Infravermelha

Inicialmente a técnica da TI foi utilizada para fins militares e aplicações industriais (Colak et al., 2008; Kunc et al., 2007). Depois surgira

especulações sobre a aplicação da termografia infravermelha na medicina humana e veterinária (Berry et al., 2003; Cilulko et al., 2013), sendo utilizada com sucesso em várias pesquisas (Alsaad & Buscher, 2012). Atualmente essa ferramenta possui aplicações em inúmeros setores, na indústria automobilística, indústria aeronáutica, indústria química, engenharia civil, na produção animal e medicina (Graciano, 2013). Ludwing et al. (2007), relataram que a termografia mostrou as variações de temperatura em coelhos de acordo com os diferentes fatores de estresse aplicados.

Rafel et al. (2012), utilizaram a TI para verificar o estresse térmico em diferentes partes do corpo de 65 coelhos. Os mesmos autores descreveram que foi encontrado um efeito da sala A e B ($P < 0,0001$) com temperaturas médias ($25,45^{\circ}\text{C}$ e $28,64^{\circ}\text{C}$) para as temperaturas máximas dos olhos ($36,4^{\circ}\text{C}$ e $37,03^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima do nariz ($32,89^{\circ}\text{C}$ e $34,73^{\circ}\text{C}$), podendo concluir que a TI é uma boa ferramenta para avaliar a termorregulação em coelhos, especialmente nessas áreas.

A TI é utilizada na detecção da variação da temperatura do olho a fim de detectar estresse em bovinos de leite (Stewart et al., 2007). Stewart et al. (2008), trabalharam com bezerros na descorna com o uso de anestésico local e verificaram que houve uma rápida queda da temperatura do olho que estava em $38,0^{\circ}\text{C}$ para $37,8^{\circ}\text{C}$ e diminuição do tônus parassimpático, mas quando os mesmos foram castrados sem o uso de anestésico local a temperatura do olho aumentou para $38,6^{\circ}\text{C}$ e ocorreu um aumento do tônus parassimpático.

Os autores concluíram que, durante um estresse por dor as alterações oculares reguladas sob o controle do sistema nervoso autônomo podem ser mensuradas usando a TI. A temperatura ocular é relacionada com a regulação da atividade do sistema nervoso autônomo (atividade simpática) (Stewart et al., 2007). Assim, variáveis como dor e estresse, inclusive térmico interferem diretamente nesse tipo de observação (Martins, 2013).

Poikolainen et al. (2012), trabalhando com 120 vacas estabuladas, verificaram as maiores temperaturas nas regiões do úbere e olhos dos animais. Também observaram que as lesões na pele são claramente distinguíveis com sua temperatura elevada ($32,8^{\circ}\text{C}$) e pele normal sem lesão ($27,4^{\circ}\text{C}$ - $28,2^{\circ}\text{C}$).

Tem sido investigado o potencial da TI para identificar a inflamação associada com a claudicação em vacas leiteiras (Alsaad & Buscher, 2012, Stokes et al., 2012), auxiliar no diagnóstico de mastite (Berry et al., 2003, Colak et al., 2008, Poikolainen et al., 2012), produção de calor e de metano (Montanholi et al., 2008), avaliar o processo de ordenha (Kunc et al., 2007), lesões na pele do animal (Poikolainen et al., 2012); ocorrência de febre aftosa (Gloster, 2011; Rainwater-Lovett, 2009), auxiliar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e o impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal (Kotrba et al., 2007; Stewart et al., 2005; Stewart et al., 2008). As câmeras termográficas são usadas também para observar e detectar os animais selvagens, seus habitats, estimar o tamanho da população, animais de hábitos noturnos, na observação de mamíferos marinhos (Cilulko et al., 2013). Os mesmos autores concluem que a TI cria uma riqueza de novas oportunidades para os pesquisadores da vida selvagem.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

HIPÓTESES

- O uso do termógrafo pode auxiliar na identificação do estresse térmico pelo calor nos animais.

OBJETIVOS

- Identificar a melhor região corporal do animal para captação de imagens para o reconhecimento do estresse térmico pelo calor pela termografia infravermelha.
- Avaliar a tolerância ao calor a partir de indicadores de temperatura obtidas por meio de termógrafo infravermelho em gado de leite sob estresse térmico.

CAPÍTULO II

Uso da termografia infravermelha para avaliar a tolerância ao calor em bovinos de leite submetidos ao estresse térmico

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi verificar se a termografia infravermelha poderia ser utilizada no reconhecimento dos animais sob estresse térmico pelo calor, bem como identificar qual a melhor região do animal utilizada para esse reconhecimento. Foram utilizadas 38 vacas em lactação das raças Holandesa e Girolando submetidas ao estresse térmico pelo calor. A pesquisa foi conduzida na Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco-MG. A coleta de dados foi feita separadamente para cada raça. Os parâmetros fisiológicos coletados foram: temperatura retal, frequência respiratória, frequência cardíaca e escore de ofegação. Para avaliação dos parâmetros ambientais utilizou-se um termômetro de globo digital modelo TGD-200. Para obtenção das imagens termográficas de diferentes regiões do corpo dos animais, utilizou-se uma câmera infravermelha (FLIR® System T300). As temperaturas ambientais variaram de 20,7°C a 37,9°C com umidade relativa chegando a 95%. Verificou-se através da termografia infravermelha, a maior sensibilidade ao estresse por calor para a raça Holandesa. As temperaturas obtidas pelo termógrafo mostraram-se indicadores das condições de conforto térmico. A melhor região para identificar a situação de estresse pelo calor no animal foi à região do úbere.

Palavras-chave: adaptabilidade, bem-estar, gado de leite, termorregulação

Use of infrared thermography to assess heat tolerance in dairy cattle subjected to heat stress

Abstract

The aim of this study was to determine whether infrared thermography could be used in the recognition of animals in a state of heat stress, as well as identifying how best region of the animal used for this recognition. Was used 38 cows in lactating Holstein Friesian and Girolando breeds, under heat stress by. The research was conducted at Embrapa Gado de Leite in Coronel Pacheco, Minas Gerais. Data collection was done separately for each breed. The physiological parameters collected were: rectal temperature, respiratory rate, heart rate and panting score. For assessment of environmental parameters we used a globe thermometer digital model (TGD-200). To obtain the thermograph photographs of different regions of the body of animals, we used an infrared camera (FLIR® System T300). The environmental temperature ranged from 20.7°C to 37.9°C with a relative humidity reaching 95%. It was found by infrared thermography increased sensitivity to heat stress for Holstein Friesian. The thermograph temperatures proved indicators of thermal comfort. The best region to identify heat stress in cows was udder region.

Keywords: adaptability, welfare, dairy cattle, thermoregulation

Introdução

O Brasil possui cerca de dois terços de seu território situado na faixa tropical do planeta, onde predominam altas temperaturas do ar, em virtude da elevada radiação solar incidente (Almeida, 2009; Cruz et al., 2011) o que pode acarretar o estresse térmico aos animais de produção. As condições ambientais estressantes tornam-se um fator limitante para a produção animal nos trópicos, pois o ambiente térmico tem um efeito direto sobre a eficiência do sistema de produção, bem como a saúde e o bem estar animal (Paim et al., 2013). A temperatura ótima para a exploração leiteira depende da espécie, raça, idade, consumo alimentar, aclimatação, nível de produção, pelame e grau de tolerância do animal ao calor e ao frio (Almeida et al., 2011). Então o estabelecimento de um sistema de criação economicamente viável em determinada região, requer a escolha de raças ou variedades que sejam adequadas às condições ambientais locais (McManus et al., 2011).

O principal problema de bovinos de raça de origem europeia está na adaptação, que devido a sua alta produtividade, muitas vezes sofrem problemas de alterações fisiológicas e de comportamento provocadas por estresse térmico, causando redução na produção de leite (Silva et al., 2002). A vaca fica mais sensível ao estresse térmico à medida que a produção de leite aumenta, pois produz mais calor metabólico (Vasconcelos & Demetrio, 2011). O grande desafio para vacas de alta produção leiteira é dissipar calor produzido pelo próprio metabolismo (West et al., 2003) e para garantir o conforto animal em países de clima tropical e subtropical o fator principal é o de minimizar os efeitos do estresse térmico (Silva et al., 2002).

Ao longo de décadas, os criadores brasileiros têm procurado combinar as características desejáveis das raças europeias e zebuínas por meio da produção de animais mestiços (Azevedo et al., 2005), sendo esses fisiologicamente mais adaptados as condições adversas (Lopes et al., 2012). Nos últimos anos tem havido um crescente interesse no bem-estar animal, os consumidores estão prestando maior atenção às condições de criação dos animais, nos procedimentos que impliquem dor e sofrimento (Godyn et al., 2013). A maioria dos ruminantes quando estão em condições térmicas adequadas conseguem manter o equilíbrio entre produção e dissipação de calor e essas mudanças são verificadas pela medição da temperatura corporal por métodos muitas vezes considerados invasivos (Mac-Lean, 2012). Estudos recentes têm mostrado que a termografia infravermelha pode ser também uma ferramenta útil para avaliar o estresse e bem-estar animal (Stewart et al., 2005) e surgem especulações sobre sua aplicação na área da saúde e produção animal (Berry et al., 2003). A medição de temperatura corporal é comumente utilizada para monitorar o estado de saúde do animal, podendo ser um método demorado e perturbador para os animais (Hoffmanna et al., 2013). A termografia infravermelha surge como uma alternativa, pois é uma técnica moderna, segura e não-invasiva de visualização do perfil térmico (Kunc et al., 2007; Knížková et al., 2007). É uma ferramenta útil para avaliar o estresse térmico dos animais (Moura et al., 2011), pois detecta alterações no fluxo sanguíneo (Stewart et al., 2005) e variações mínimas de temperatura corporal com precisão (Knížková et al., 2007). Com isso, a utilização da análise da ter-

mografia infravermelha torna possível identificar pontos de valores distintos de temperatura radiante e valiosa no reconhecimento de eventos fisiológicos em animais (Bouzida et al., 2009). Técnicas de medições não invasivas de estresse e de amostragem à distância devem ser estudadas a fim de melhorar o bem estar animal (Stewart et al., 2008) e reduzir a influência da própria realização da medida sobre a avaliação do estresse.

Os resultados de pesquisas têm demonstrado que criar animais em ambiente de conforto e bem-estar, pode refletir diretamente na melhora de seus desempenhos produtivo e reprodutivo (Delfino et al., 2012).

Portanto, torna-se necessário compreendermos como os animais domésticos respondem aos fatores estressores climáticos na tentativa de amenizar a ação prejudicial das variáveis climáticas responsáveis pelo estresse térmico. Assim, o objetivo do presente trabalho é verificar se a termografia infravermelha poderia ser utilizada no reconhecimento dos animais sob estresse térmico pelo calor, bem como identificar qual a melhor região do animal utilizada para esse reconhecimento.

Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida na Embrapa Gado de Leite no campo experimental José Henrique Bruschi (CEJHB), coordenadas geográficas 21°35'16"S e 43°15'56"W, no município de Coronel Pacheco no estado de Minas Gerais.

As avaliações foram feitas no mês de março de 2013 durante um período de seis dias, sendo três dias para cada raça e coletada duas medições por dia em cada animal. Foram utilizados 38 animais, destes 19 da raça Holandesa que estavam em média com 249 dias de lactação com uma produção média de 14,8 litros/leite/dia e 19 da raça Girolando que foram divididas em $\frac{1}{2}$ de sangue Holandês (n=08) e $\frac{3}{4}$ de Holandês (n=11) com médias de 95 e 169 dias de lactação e produção média de leite de 12,4 litros/leite/dia para os $\frac{1}{2}$ sangue e 15,5 litros/leite/dia para os $\frac{3}{4}$.

Os dias de observação foram diferentes entre o grupo de Holandês e Girolando, pois os mesmos estavam alocados em locais diferentes dentro da fazenda a uma distância aproximadamente de 3 km.

As vacas da raça Holandesa eram manejadas em confinamento em free stall e recebiam 6 kg de silagem de milho e 6 kg de concentrado (59% de milho, 35% de soja, 3,5% de núcleo, 0,5% de sal comum, 1% de ureia e 1% de bicarbonato) logo após as ordenhas. Os animais da raça Girolando, por sua vez, eram manejados a pasto, pastejando capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e recebendo 6 kg de concentrado (70% de milho, 25% de soja, 3,5% de núcleo, 0,5% de sal comum e 1% de ureia) após as ordenhas da manhã e da tarde. Os animais de ambas as raças possuíam água a vontade durante todo o experimento.

As ordenhas foram realizadas as 6:00 e 13:00 horas; no período entre ordenhas da manhã e da tarde os animais permaneceram em local desprovido de sombra, porém com água à vontade, no intuito de se induzir o estresse pelo calor nos mesmos. Após a ordenha da tarde os animais novamente tiveram sombra à disposição.

As análises foram realizadas nos períodos que precederam as ordenhas, tanto na manhã quanto na tarde e compreenderam: temperatura retal (TR, °C), frequência respiratória (FR, mov/min.), frequência cardíaca (FC, bat/min.), escore de ofegação (EO), temperatura ambiental (°C), umidade do ar (%), temperatura de bulbo seco (Tbs), bulbo úmido (Tbu) e as imagens termográficas.

A TR foi realizada em um brete, obtida com um termômetro clínico veterinário inserido junto à parede do reto do animal, a uma profundidade de aproximadamente 3,5 cm. A FR foi medida com auxílio de estetoscópio e cronômetro, mediante a auscultação dos movimentos respiratórios durante 30 segundos, multiplicando-se os valores encontrados por dois para obter-se o número de movimentos respiratórios por minuto. A FC foi medida com auxílio de estetoscópio e cronômetro por um período de 30 segundos sendo o resultado multiplicado por 2 para obtenção dessa variável em minutos. O escore de ofegação foi atribuído no momento da coleta de dados fisiológicos conforme a metodologia sugerida por Mader et al. (2006), onde: 0 = Respiração normal, 1 = Frequência respiratória levemente aumentada, 2 = Ofegação moderada com pequena quantidade de saliva, 3 = Saliva geralmente presente, ofegação forte com a boca aberta e 4 = Ofegação severa com a boca aberta, protusão lingual, salivação excessiva, e geralmente com pescoço estendido.

Para avaliação dos parâmetros ambientais utilizou-se um termômetro de globo digital modelo TGD-200, sendo registrados os dados de uma em uma hora. Calculou-se o índice de temperatura e umidade (ITU) por meio da equação citada por (NRC, 1971).

$$ITU = (1.8 \times Tbs + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times UR) \times (1.8 \times Tbs - 26.8)],$$

onde UR é a umidade relativa do ar em decimais.

Para o cálculo do Tpo (Temperatura do ponto de orvalho °C) foi utilizado o Programa computacional para cálculo das propriedades psicométricas do ar – GRAPSI 6.0 (Melo et al., 2004).

Para o cálculo do índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) foi utilizada a metodologia de Buffington et al. (1981) de acordo com a fórmula: $ITGU = TGN + 0,36.(Tpo) + 41,5$, onde TGN é a temperatura do globo negro. Calculou-se o índice de tolerância ao calor (HT) por meio da equação citada por (Benezra, 1954).

$$HT = (TR/38.33) + (FR/23.0),$$

onde TR é a temperatura retal e FR é a frequência respiratória.

Para obtenção da temperatura de superfície dos animais de diferentes regiões do corpo, utilizou-se uma câmera infravermelha (FLIR® System T300) com coeficiente de emissividade de 0,95. Os animais foram conduzidos para uma área coberta, sendo retiradas seis fotos de cada animal por período de coleta. As imagens termográficas possibilitaram a coleta das temperaturas superficiais da região do lado direito (Ladod), lado esquerdo (Ladoe), olho direito (Olho), visão lateral do úbere direito (Uberelat), visão posterior do úbere (Uberetras) e pata dianteira direita visão posterior (Pata) (Figura 1).

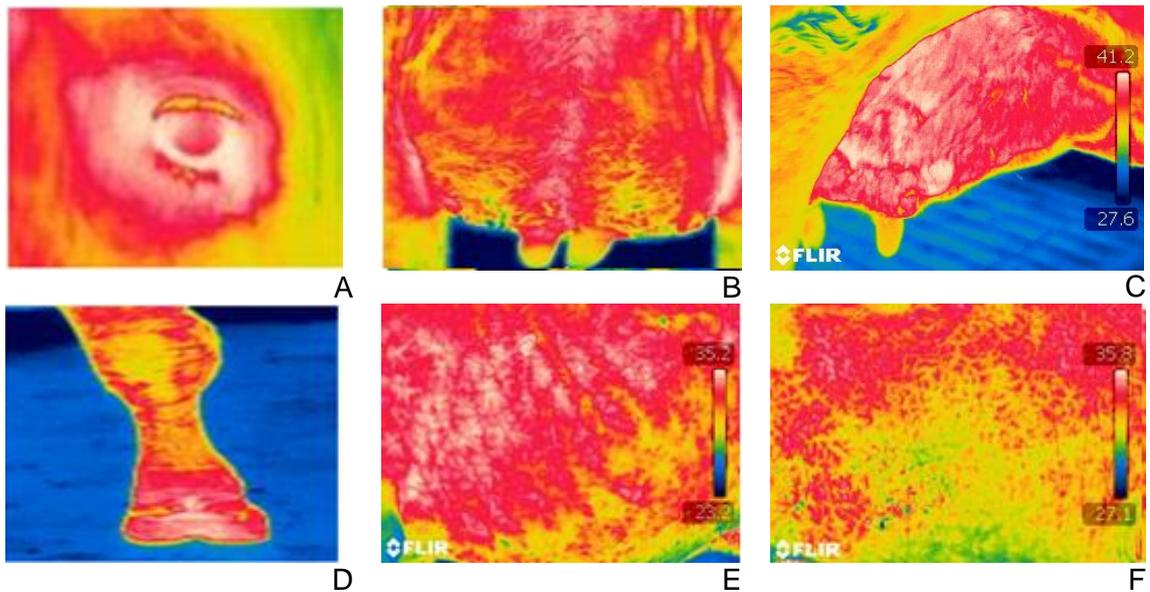


Figura 1: Imagens aferidas com a termografia infravermelha de diferentes regiões do corpo do animal. Olho direito (A), Úbere na visão posterior (B), Úbere na visão lateral direita (C), Pata dianteira direita na visão posterior (Pata), Lado esquerdo (E) e Lado direito (F). Fonte: Autoria própria.

As medidas foram tomadas a aproximadamente 1,5m do animal. Posteriormente, utilizou-se o software QuickReport®/FLIR-Systems para a coleta e análise das fotos termográficas. As imagens foram analisadas por área, selecionando sempre a mesma área da região corporal do animal e coletando-se a temperatura corporal máxima daquela área analisada.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial com medidas repetidas no tempo.

O modelo matemático para a avaliação dos grupos genéticos em relação as variáveis fisiológicas e medidas aferidas por meio do termógrafo infravermelho:

$$Y_{ij} = \mu + GG_i + Turno_j + (GG * Turno)_{ij} + dia_k + (GG * dia)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

onde:

Y_{ij} = conjunto das variáveis dependentes;

μ = média geral;

GG_i = efeito do grupo genético;

$Turno_j$ = efeito do período (manhã ou tarde);

$(GG * Turno)_{ij}$ = Interação entre o grupo genético e o período (manhã ou tarde);

dia_k = Efeito do dia de medida;

$(GG * dia)_{ik}$ = Interação entre grupo genético e o dia;

ϵ_{ijkl} = erro aleatório associado a cada observação.

As médias de ITU e ITGU para cada dia e período do dia, foram utilizadas nas análises estatísticas de TR, FR e FC. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados com o uso do programa SAS for Windows versão 9.3 (SAS Institute, Cary North Caroline, USA, 2002), avaliando o efeito da temperatura ambiente, umidade relativa do ar sobre as medidas fisiológicas e imagens termográficas.

Resultados

As temperaturas ambientais observadas no presente estudo variaram de 20,7°C a 37,9°C, UR de 52% a 95%, ITU de 69,20 a 87,70 e o ITGU de 69,20 a 89,69 (Tabela 1). Os valores médios para os parâmetros fisiológicos dos animais durante o experimento podem ser observados na (Tabela 2).

TABELA 1. Médias dos parâmetros ambientais durante o experimento.

Girolando	Manhã				Tarde			
	TA	UR	ITU	ITGU	TA	UR	ITU	ITGU
Mínimo	20,70	67,00	69,20	69,91	28,10	52,00	82,00	78,16
Máximo	31,60	95,00	85,30	87,66	34,20	93,00	87,70	88,53
Média	26,15	81,00	77,25	78,78	31,15	72,50	84,85	83,34
Holandês								
Mínimo	22,00	84,00	72,60	71,27	21,90	55,00	82,10	82,82
Máximo	25,60	95,00	75,70	76,29	37,90	95,00	87,00	89,64
Média	23,80	89,50	74,15	73,78	29,90	75,00	84,55	86,23

TA: Temperatura ambiente (°C), UR: umidade relativa do ar (%), ITU: índice de temperatura e umidade, ITGU: índice de temperatura e umidade de globo negro.

TABELA2. Médias dos parâmetros fisiológicos dos animais durante o experimento.

Manhã	Girolando 1/2			Girolando ¾			Holandês		
	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx
TR	38,24	37,60	39,70	40,03	39,1	41,20	38,83	38,00	39,50
FR	35,50	24,00	56,00	77,00	40,00	116,00	50,66	32,00	80,00
FC	59,16	36,00	84,00	69,16	36,00	124,00	56,84	40,00	72,00
Tarde									
TR	37,97	32,8	39,10	40,72	39,00	41,90	40,84	40,20	41,50
FR	44,67	28,00	64,00	107,6	76,00	140,00	111,40	76,00	168,00
FC	62,27	44,00	84,00	89,46	60,00	128,00	99,22	60,00	136,00

TR: Temperatura retal (°C), FR: frequência respiratória (mov/min), FC: frequência cardíaca (bat/min).

Na manhã (Tabela 3), as medidas termográficas (Ladod, Ladoe e Pata) apresentaram correlações negativas baixas a moderadas significativas ($P < 0,01$) com TR.

O Ladod apresentou correlação negativa baixa significativa ($P < 0,01$) com FR e o Uberetras apresentou correlação positiva baixa significativa ($P < 0,05$) FR. A medida termográfica (Pata) apresentou correlação negativa baixa significativa ($P < 0,05$) com o FC.

O índice de conforto térmico (HT) apresentou correlação negativa baixa significativa ($P < 0,01$) com Ladod e correlação positiva baixa significativa ($P < 0,05$) com a Pata.

Na tarde a maioria das medidas termográficas tiveram correlações positivas baixas a moderadas significativas ($P < 0,01$) com o índice ambiental (ITGU), índice de conforto térmico (HT).

Todos os parâmetros fisiológicos (TR, FR, FC e EO) apresentaram correlações positivas e variaram de baixas a moderadas ($P < 0,01$) com a maioria das medidas aferidas com a termografia infravermelha. Também houve correlação positiva alta significativa ($P < 0,01$) entre a medida termográfica (Uberelat) com a temperatura retal.

TABELA 3. Correlações de Pearson entre parâmetros fisiológicos e medidas aferidas com a termografia infravermelha nos dois períodos do experimento.

Manhã	ITU	ITGU	HT	TR	FR	FC	EO
Olho	0,02	0,01	-0,17	-0,03	-0,17	0,00	0,03
Ladod	-0,07	-0,05	-0,27**	-0,22*	-0,27**	0,00	-0,09
Ladoe	-0,02	-0,02	-0,18	-0,50**	-0,17	-0,10	-0,02
Uberelat	0,04	-0,08	0,18	0,16	0,17	-0,05	0,08
Uberetras	-0,00	-0,08	0,20*	0,03	0,20*	0,00	0,10
Pata	-0,00	-0,11	-0,04	-0,25**	-0,03	-0,20*	-0,05
Tarde	ITU	ITGU	HT	TR	FR	FC	EO
Olho	0,15	0,25**	0,44**	0,57**	0,43**	0,31**	0,37**
Ladod	0,09	0,12	0,16	0,23*	0,17	0,04	0,14
Ladoe	0,24	0,26**	-0,01	0,12	-0,02	-0,09	-0,07
Uberelat	0,09	0,22*	0,58**	0,74**	0,57**	0,47**	0,54**
Uberetras	0,16	0,18*	0,49**	0,69**	0,50**	0,37**	0,41**
Pata	0,02	-0,12	-0,01	0,05	-0,00	-0,01	-0,10

* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, ITU: Índice de temperatura e umidade, ITGU: Índice de temperatura do globo negro e umidade, HT: Índice de Beneza, TR: Temperatura retal, FR: Frequência cardíaca, FC: Frequência respiratória, EO: Escore de ofegação, Olho: medida da temperatura do olho aferida termógrafo infravermelho, Ladod: lado direito tirado com o termógrafo, Ladoe: lado esquerdo tirado como termógrafo, Uberelat: visão úbere lateral aferido com o termógrafo, Uberetras: visão da parte traseira do úbere aferida com o termógrafo, Pata: pata dianteira na visão por trás tirada com termógrafo.

Foram geradas equações de regressão múltipla e seus respectivos coeficientes de determinação entre os parâmetros fisiológicos e medidas termograficas no período da tarde para verificar quais variáveis são preditores ideais na avaliação do estresse térmico pelo calor (Tabela 4). O maior coeficiente de determinação foi para a temperatura retal ($R^2 = 0,70$) com variáveis independentes Uberelat, Uberetras, Ladoe, Ladoe2 e Pata, sendo significativo ($P < 0,003$).

Os demais parâmetros fisiológicos não apresentaram nenhuma regressão com coeficientes de determinação acima de 0,60, portanto não sendo considerados bons preditores para avaliar o estresse térmico pelo calor sofrido pelos animais do presente estudo.

A regressão múltipla mostrou que as medidas (Uberetras e Uberelat) são as melhores regiões para avaliar o estresse térmico pelo calor nos animais, pois foram significativas ($P < 0,001$).

TABELA 4. Equações de regressão múltipla e seus respectivos coeficientes de determinação para estimar as variáveis que predizem os parâmetros fisiológicos dos animais no período da tarde.

	Equação	R ²
TR	= -26,07144+0,2953*Uberelat+0,4493*Uberetras+1,93529*Ladoe-0,02370*Ladoe2-0,06529*Pata	0,70
FR	= -731,14083+10,78689*Uberelat+11,95671*Uberetras-0,04463*Ladoe2	0,41
FC	= -9568,63655+472,08375*Uberelat-5,76212*Uberelat2	0,26
EO	= -119,84094+0,52006*Uberelat+0,69182*Uberetras+4,04860*Ladoe-0,05053*Ladoe2-0,19014*Pata	0,42

R²: coeficiente de determinação, TR: temperatura retal, FR: frequência respiratória, FC: frequência cardíaca, EO: escore de ofegação.

Na manhã (Tabela 5), sete variáveis avaliadas foram consideradas discriminantes. O índice de conforto de Benezra, Pata e TR foram as variáveis mais importantes para diferenciar os grupos raciais, sendo as mesmas altamente significativas para o teste de análise canônica.

TABELA 5. Análise discriminante das variáveis fisiológicas com as medidas de termografia infravermelha no período da manhã e tarde para o ordenamento das observações dos grupos raciais Girolando ½, Girolando ¾ e Holandês.

Período da Manhã					Período da Tarde				
Ordem	Variáveis	R ² parcial	P > F	P > QMCC	Ordem	Variáveis	R ² parcial	P > F	P > QMCC
1	HT	0,2764	<0,0001	<0,0001	1	HT	0,3487	<0,0001	<0,0001
2	pata	0,2324	<0,0001	<0,0001	2	pata	0,345	<0,0001	<0,0001
3	TR	0,3359	<0,0001	<0,0001	3	EO	0,1429	0,0003	<0,0001
4	Ladod	0,105	0,003	<0,0001	4	Ladoe	0,1221	0,0011	<0,0001
5	FC	0,0958	0,0053	<0,0001	5	FC	0,0606	0,0388	<0,0001
6	uberelat	0,0907	0,0075	<0,0001	6	uberelat	0,0432	0,1027	<0,0001
7	Ladoe	0,046	0,0904	<0,0001	7	uberetras	0,0618	0,0387	<0,0001

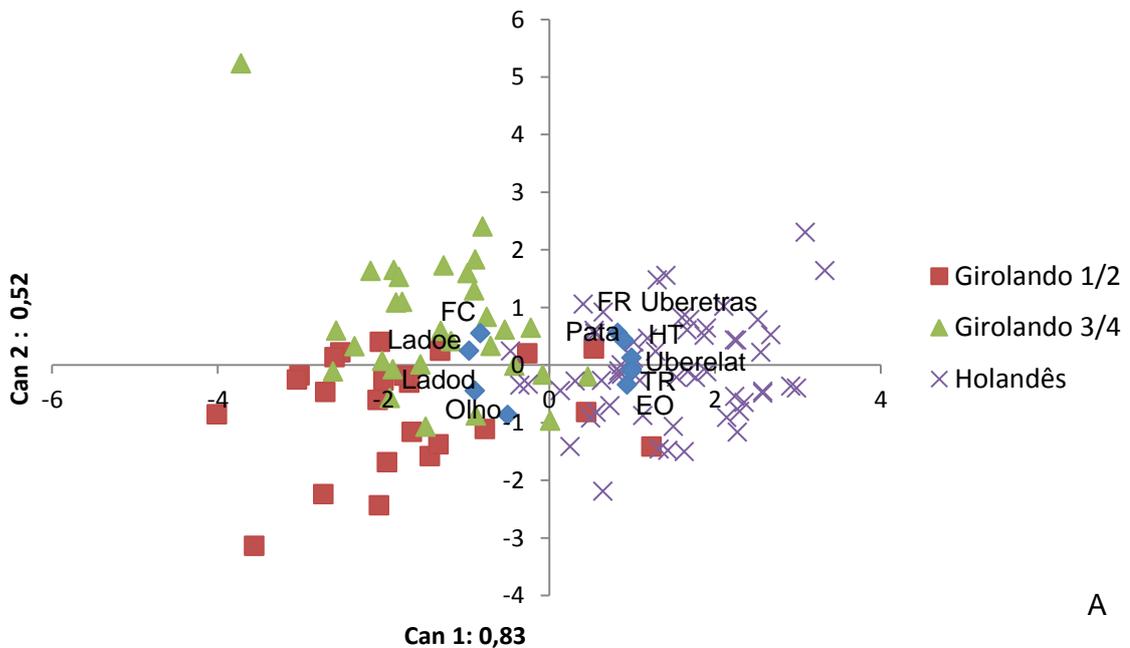
ITU: Índice de temperatura e umidade, ITGU: Índice de temperatura do globo negro e umidade, HT: Índice de Benezra, TR: Temperatura retal, FR: Frequência cardíaca, FC: Frequência respiratória, EO: Escore de ofegação, Olho: medida da temperatura do olho direito com aferida termógrafo infravermelho, Ladod: lado direito tirado com o termógrafo, Ladoe: lado esquerdo tirado como termógrafo, Uberelat: visão úbere lateral direito aferido com o termógrafo, Uberetras: visão posterior do úbere aferida com o termógrafo, Pata: pata dianteira direita na visão posterior tirada com termógrafo.

Na tarde a análise discriminante revelou o índice de conforto de Benezra, pata e escore de ofegação, sendo considerados os mais importantes para diferenciar os grupos raciais. Nessa análise entraram sete variáveis, sendo todas altamente significativas.

A análise canônica dos dados (Figura 2A) mostrou que a primeira variável canônica separou os animais puros dos mestiços, enquanto que a segunda variável canônica separou os animais Girolando $\frac{1}{2}$ sangue dos Girolando $\frac{3}{4}$. Através da distribuição canônica dos grupos formados, as medidas termográficas (Uberetras, Uberelat e Pata) com parâmetros fisiológicos (FR, EO e TR) e índice de conforto estão associadas aos animais da raça Holandesa, enquanto que as medidas termográficas (Ladoe, Ladod e Olho) com parâmetro fisiológico (FC) estão associadas aos animais Girolando $\frac{1}{2}$ e Girolando $\frac{3}{4}$.

Com relação à correlação canônica 1 no período da manhã, as medidas fisiológicas e termográficas são diferentes entre os animais puros e com os diferentes graus de sangue. Na correlação canônica 2, existe diferença entre os animais mestiços, porém não com grande magnitude em relação aos animais puros.

No período da tarde (Figura 2B), mais uma vez a variável canônica 1 mostrou a diferença entre os animais da raça Holandesa em relação aos Girolando, enquanto que a variável canônica 2 separou os animais Girolando $\frac{1}{2}$ e Girolando $\frac{3}{4}$. O grupo Holandês mostrou maior associação com índice de conforto térmico, variáveis fisiológicas e medidas termográficas (Olho, Uberelat, Uberetras). O grupo Girolando $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ mostraram maior associação as variáveis de medidas termográficas como lado direito, lado esquerdo e pata.



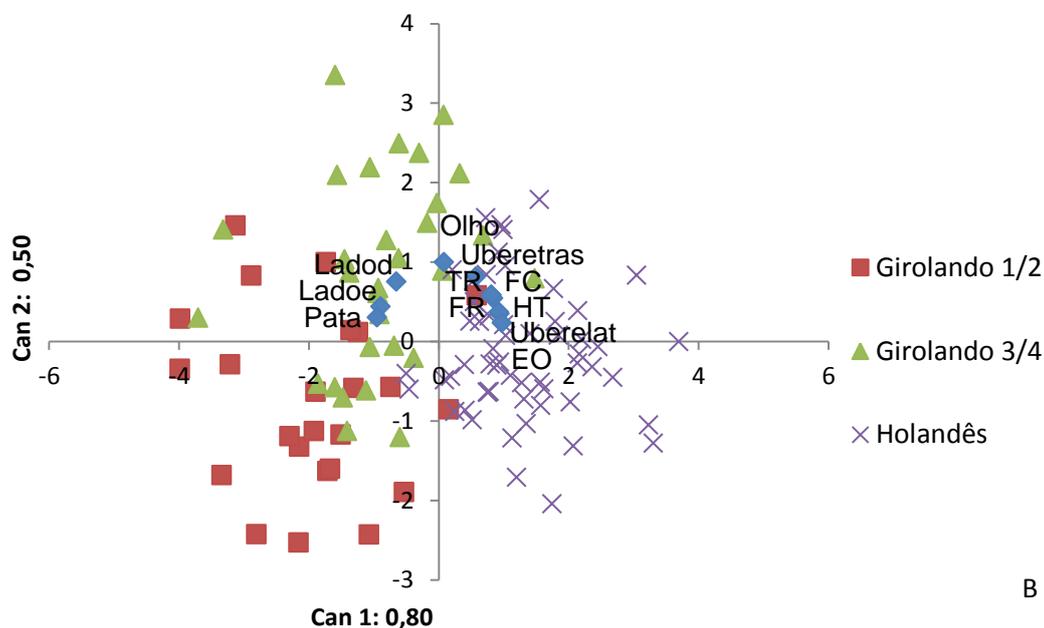


Figura 2 – Análise canônica de parâmetros fisiológicos, termográficos no período da manhã (A) e tarde (B) dos animais. **Olho**: medida termográfica do olho direito do animal, **Uberelat**: medida termográfica do úbere direito na visão lateral, **Uberretras**: medida termográfica do úbere na visão posterior, **Ladod**: medida termográfica do lado direito do animal, **Ladoe**: medida termográfica do lado esquerdo do animal, **Pata**: medida termográfica da pata direita na visão posterior, **TR**: temperatura retal, **FR**: frequência cardíaca, **FC**: frequência respiratória, **EO**: escore de ofegação, **HT**: índice de conforto térmico.

Os resultados da análise dos fatores principais no período da manhã (Figura 3A) para os parâmetros fisiológicos com as medidas termográficas explicam 41,82% do total da variação entre as características. O primeiro fator principal correspondeu aos índices ambientais (ITU e ITGU) e o segundo fator foi influenciado principalmente pelas medidas aferidas com a termografia

infravermelha e parâmetros fisiológicos. Verificou-se o maior peso para as variáveis THI e ITGU, sendo nenhuma variável preponderante que explique a variação destas.

No período da tarde (Figura 3B), os dois fatores principais explicam 57,66% do total da variação entre as características. O primeiro fator principal correspondeu as medidas termográficas (Uberretras e Uberelat) com parâmetros fisiológicos (TR), enquanto que o segundo fator principal correspondeu aos parâmetros fisiológicos (FR e FC) e os diferentes grupos genéticos (Grausangue).

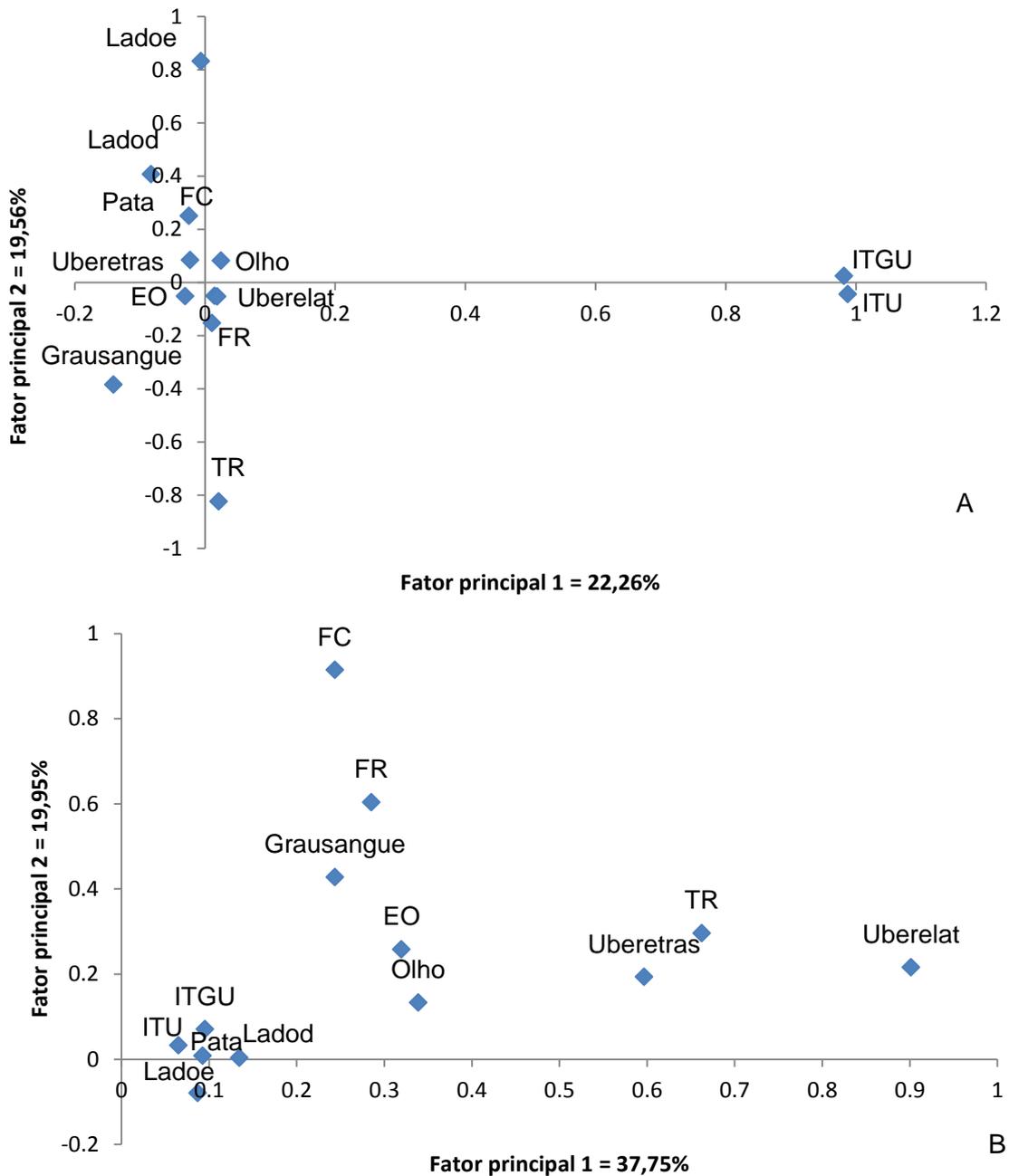


Figura 3 – Representação gráfica dois primeiros fatores principais dos parâmetros fisiológicos, termográficos e índices ambientais dos animais pela manhã (A) e tarde (B). **Olho**: medida termográfica do olho direito do animal, **Uberelat**: medida termográfica do úbere direito na visão lateral, **Uberretas**: medida termográfica do úbere na visão posterior, **Ladod**: medida termográfica do lado direito do animal, **Ladoe**: medida termográfica do lado esquerdo do animal, **Pata**: medida termográfica da pata direita na visão posterior, **TR**: temperatura retal, **FR**: frequência cardíaca, **FC**: frequência respiratória, **EO**: escore de ofegação, **ITU**: índice de temperatura e umidade, **ITGU**: índice de temperatura e umidade de globo negro.

A Tabela 6 mostra os valores onde ocorrem os pontos de inflexão da curva dos índices ambientais (ITU e ITGU) e o índice de conforto térmico (HT) com as medidas termográficas dos grupos genéticos. Observou-se os maiores pontos de inflexão da curva (ITU e ITGU) para as vacas da raça Girolando ½ e Girolando ¾ e Holandês, respectivamente. O índice de conforto térmico apresentou os menores pontos de inflexão da curva para os animais Girolando ½ e os maiores para as vacas da raça Holandês.

TABELA 6 – Ponto de inflexão da curva (R) dos índices ambientais e índice de conforto térmico com as medidas aferidas com a termografia infravermelha.

ITU	Girolando 1/2				Girolando 3/4				Holandês			
	R	SE	Limites de Confiança		R	SE	Limites de Confiança		R	SE	Limites de Confiança	
Olho	77,19	2,37	72,41	81,98	78,47	1,73	74,99	81,95	71,52*	.	.	.
Pata	76,33	2,28	71,72	80,94	77,74	2,41	79,91	82,57	69,77*	.	.	.
Ladod	78,25	2,08	74,05	82,44	78,69	1,63	75,41	81,97	70,58*	.	.	.
Ladoe	78,30	1,85	74,56	82,03	79,25	2,00	75,24	83,27	72,51*	.	.	.
Uberelat	77,70	1,54	74,58	80,81	78,78	1,44	75,88	81,68	72,42*	.	.	.
Uberetras	77,32	1,51	74,27	80,36	78,74	1,47	75,79	81,70	70,38*	.	.	.
ITGU												
Olho	76,50	3,57	69,29	83,70	73,23	3,05	67,12	79,35	73,22	0,91	71,42	75,03
Pata	75,90	2,70	70,44	81,36	89,05*	.	.	.	83,43+	1,79	79,88	86,98
Ladod	76,90	2,74	70,97	82,03	73,52	2,99	67,53	79,52	70,65*	.	.	.
Ladoe	78,41	2,22	73,93	82,9	74,84	2,64	69,55	80,13	72,96*	0,74	71,48	74,45
Uberelat	74,70	3,19	68,27	81,13	88,17*	.	.	.	70,42*	.	.	.
Uberetras	75,69	2,41	70,72	80,46	73,65	2,81	68,00	79,29	70,26*	.	.	.
HT												
Olho	2,77	0,35	2,05	3,49	3,33*	0,36	2,6	4,05	5,60	0,20	5,19	6,00
Pata	4,17	0,40	3,34	4,95	3,30	0,41	2,45	4,14	3,63	0,41	2,80	4,45
Ladod	2,57+	0,44	1,67	3,46	2,57	0,44	1,67	3,46	5,64	0,21	5,22	6,06
Ladoe	2,43	0,44	1,55	3,32	3,06	0,47	2,11	4,00	5,41	0,17	5,06	5,75
Uberelat	2,57+	0,30	1,94	3,19	5,71	0,38	4,94	6,49	5,70	0,14	5,35	6,05
Uberetras	2,22+	0,39	1,42	3,01	2,99	0,31	2,36	3,62	5,66	0,18	5,29	6,02

R: ponto de inflexão da curva, SE: erro padrão, ITU: Índice de temperatura e umidade, ITGU: Índice de temperatura de globo negro e umidade, HT: Índice de conforto de Benezra (1954), Olho: temperatura do olho aferida com o termógrafo infravermelho, Pata: temperatura da pata aferida com o termógrafo infravermelho, Ladod: temperatura do lado direito aferido com o termógrafo infravermelho, Ladoe: temperatura do lado esquerdo aferido com o termógrafo infravermelho, Uberelat: temperatura do úbere na visão lateral aferido com o termógrafo infravermelho, Uberetras: temperatura do úbere na visão traseira aferida com o termógrafo infravermelho. +proc nlin falhou na conversão, * Convergiu mas indicou um problema no modelo.

A Tabela 7 mostra os valores que ocorrem os pontos de inflexão da curva, dos parâmetros fisiológicos com as medidas termográficas dos grupos genéticos. A temperatura retal e a frequência respiratória com as medidas termográficas mostraram os maiores pontos de inflexão da curva para os animais da raça Holandesa e os menores pontos de inflexão da curva para os animais Girolando ½ e Girolando ¾, respectivamente. A frequência cardíaca com as medidas termográficas os maiores pontos de inflexão da curva foram encontrados para os animais Girolando ¾.

TABELA 7 – Ponto de inflexão da curva (R) dos parâmetros fisiológicos com as medidas aferidas com a termografia infravermelha.

TR	Girolando 1/2				Girolando 3/4				Holandês			
	R	SE	Limites de Confiança		R	SE	Limites de Confiança		R	SE	Limites de Confiança	
Olho	38,38	0,27	37,84	39,93	38,53	0,28	37,96	39,10	38,84	0,12	38,50	39,10
Pata	36,53*	.	.	.	38,00 ⁺	0,34	37,31	36,68	38,73	0,44	37,84	39,61
Ladod	36,44*	.	.	.	37,49	0,41	36,67	38,32	39,10	0,11	38,88	39,31
Ladoe	36,66*	.	.	.	37,20 ⁺	0,73	35,72	38,68	39,09	0,10	38,88	39,26
Uberelat	38,20	0,33	37,52	38,87	37,85	0,36	37,13	38,58	39,05	0,13	38,78	39,33
Uberetras	36,28	.	.	.	37,99	0,21	37,56	38,42	38,87	0,13	38,60	39,14
FR												
Olho	92,00	10,57	70,69	113,3	112,50	9,07	94,35	130,7	104,10	4,75	94,63	113,50
Pata	72,00 ⁺	8,42	55,02	88,97	159,30*	.	.	.	60,00 ⁺	8,70	42,75	77,24
Ladod	86,08	10,98	63,96	108,2	110,80	7,96	94,9	126,8	104,40	4,56	95,32	113,40
Ladoe	84,34	10,17	63,84	104,8	93,92	8,66	76,57	111,3	100,90	4,04	92,89	108,90
Uberelat	80,52	5,92	68,52	95,52	129,50	13,19	103,1	156	120,10	4,90	110,4	129,80
Uberetras	77,85	5,65	33,46	89,23	77,85	5,65	66,46	89,23	140,00	.	.	.
FC												
Olho	80,14	14,30	51,33	108,90	107,60	13,44	80,64	134,5	92,00	3,40	85,25	98,74
Pata	134,20*	.	.	.	116,40	18,65	79,00	153,7	101,70	6,82	88,17	115,20
Ladod	81,70	21,41	38,57	124,80	105,80	12,49	80,78	130,8	92,57	3,02	86,58	98,56
Ladoe	81,47	18,80	43,59	119,40	76,00 ⁺	9,49	56,98	95,01	92,00 ⁺	4,17	83,72	100,30
Uberelat	135,60*	.	.	.	100,40	10,52	79,29	121,40	100,00	3,51	93,04	107,00
Uberetras	119,60	52,36	14,16	225,10	107,10	11,60	83,88	130,40	93,98	3,13	87,77	100,20

R: ponto de inflexão da curva, SE: erro padrão, TR: Temperatura retal, FR: frequência respiratória, FC: frequência cardíaca, Olho: temperatura do olho aferida com o termógrafo infravermelho, Pata: temperatura da pata aferida com o termógrafo infravermelho, Ladod: temperatura do lado direito aferido com o termógrafo infravermelho, Ladoe: temperatura do lado esquerdo aferido com o termógrafo infravermelho, Uberelat: temperatura do úbere na visão lateral aferido com o termógrafo infravermelho, Uberetras: temperatura do úbere na visão traseira aferida com o termógrafo infravermelho. *proc nlin falhou na conversão, * Convergiiu mas indicou um problema no modelo.

Discussões

Verificou-se que, a temperatura ambiente, umidade relativa do ar e os índices ambientais estudados, independentemente do período analisado ultrapassaram a zona termoneutra dos animais e foram submetidos a níveis moderados a graves de estresse térmico pelo calor.

Foram encontradas correlações positivas significativas entre o índice de conforto térmico (HT) com a medida termográfica (Uberetras) tanto no período da manhã quanto à tarde. A frequência respiratória também apresentou correlação positiva significativa com a medida termográfica (Uberetras) nos dois períodos estudados. Isso mostra que a temperatura superficial do úbere na região posterior variou juntamente com o índice de conforto térmico e a frequência respiratória. De acordo com Benezra (1954) valores próximos a 2 são considerados como de maior conforto animal. Em nosso estudo o HT obteve o mínimo de 2,03 e máximo 7,17 para a raça Girolando e mínimo de 2,40 e máximo de 8,38 para a raça Holandesa. Já a FR obteve um mínimo de 24,00 mov/mín e máximo 140,00 mov/mín para vacas Girolando e mínimo 32 mov/mín e máximo 168 mov/mín para vacas Holandês, sendo que os animais que apresentam menor frequência respiratória são considerados mais tolerantes ao calor (Moraes, 2010).

A temperatura retal apresentou correlação negativa significativa na manhã com Ladod e correlação positiva à tarde com a mesma medida termográfica. Isso mostra que as duas medidas variam simultaneamente em sentidos opostos, sendo que o aumento da medida Ladod corresponde à diminuição dos valores de TR com 50% de correlação. Embora variem em conjunto não é possível estabelecer causa e dependência nesta variação, pois elas podem estar variando conjuntamente em função de outro fator. De acordo com Barbosa et al. (2004), na literatura é vasta nas verificações dos fatores ambientais que impõem, coletiva ou separadamente, um certo grau de desgaste nos animais, mensurável pelos resultados das disfunções verificadas na homeotermia. Outra possibilidade seria o fato de que os animais na manhã estavam fazendo uso de mecanismos homeotérmicos (Façanha et al., 2013) e na tarde não estavam conseguindo dissipar o calor acarretando na manifestação do estresse térmico pelo calor (Souza et al., 2005). Sabe-se também que a temperatura retal sofre interação com a hora do dia, apresentando maior valor durante o período da tarde em relação ao da manhã, variando também com a categoria animal analisada (Martello et al., 2004).

Na tarde foram encontradas correlações positivas significativas do índice ambiental ITGU sobre a maioria das medidas termográficas. Paim et al. (2013) avaliaram diferentes pontos de temperatura com uso do termógrafo em 126 cordeiros de diferentes grupos genéticos e verificaram o ITGU como um bom indicador das condições climáticas que afetam a resposta do animal.

Houveram correlações positivas ($P < 0,001$) entre os parâmetros fisiológicos (TR, FR, FC e EO) com as medidas termográficas (Olho, Uberelat e Uberetras). Isso mostrou que essas medidas variaram simultaneamente no mesmo sentido, o aumento dos parâmetros fisiológicos corresponde ao aumento da região fotografada com a TI. Isso é esperado uma vez que os animais estão tentando aumentar o arrefecimento por evaporação respiratória, encontrando-se em um estado ofegante nos momentos de maior estresse ambiental, de modo a perder calor para regular a temperatura corporal (Paim et al., 2013). Sabendo que os animais absorveram calor ambiental e que a consequente elevação na temperatura da pele ativaria o mecanismo homeostático, assim causando aumentos na frequência respiratória (Azevedo et al., 2005).

De acordo com Martello et al. (2004), a temperatura retal é uma das melhores maneiras de determinar o efeito do estresse térmico sobre as vacas e têm sido utilizada como índice de adaptação fisiológica de um determinado ambiente. O aumento da temperatura retal significa que o animal não está conseguindo dissipar o calor acarretando na manifestação do estresse térmico (Souza et al., 2005). Em nosso estudo verificamos que a temperatura retal máxima na tarde foi de 40,7°C no Girolando e 41,5°C para a raça Holandesa. Vasconcelos & Demetrio (2011) relataram que quando a temperatura retal é de 39°C ou mais durante a tarde, provavelmente os animais estão sofrendo os efeitos do estresse térmico.

De maneira semelhante Bitman et al. (1984) encontraram correlação ($r=0,98-0,99$) entre a temperatura do úbere e temperatura do corpo da vaca média de ($38\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), pois existe um equilíbrio da temperatura da glândula mamaria e do corpo não havendo um mecanismo independente para regular a temperatura da glândula mamaria separadamente. Em nosso experimento a temperatura média do úbere foi de 37,04°C e correlação ($r=0,74$) entre a temperatura do úbere direito na visão lateral com a TR.

Gil et al. (2013) trabalhando com vacas em lactação da raça Holandesa, verificaram a maior diferença de temperatura no úbere independente do ambiente a que ela foi submetida, chegando a uma temperatura de 34,7°C a região frontal do úbere e 34,4°C na região traseira do úbere. Já em nosso experimento a temperatura do úbere na região lateral chegou a 40,7°C e na região traseira 40,5°C. Poikalainen et al. (2012) também verificou em seu estudo a região do úbere da vaca com uma das temperaturas mais altas, não havendo diferença da temperatura antes e após a ordenha ($P>0,05$), significando que a temperatura do úbere não é dependente da ordenha ou pós-ordenha.

A análise de regressão múltipla mostrou que as fotos termográficas do úbere (Uberelat e Uberetras) tem relação de dependência com a TR. Isso indica que esse ponto é o mais relevante na determinação do conforto térmico animal podendo ser usado para medi-lo. Isso foi confirmado na análise de fatores principais no período da tarde, pois os valores de maior peso foram para as medidas termográficas do úbere (Uberelat e Uberetras) e a temperatura retal. No mesmo sentido Hovinen et al. (2008) também verificaram que a temperatura do úbere da vaca aumentou simultaneamente com a temperatura retal ($P<0,001$).

Sabendo que a termografia infravermelha verifica a temperatura superficial do animal (Hoffmann et al. 2013) e existe uma temperatura que se mantém relativamente constante no organismo que é a temperatura central dos tecidos profundos, então a temperatura superficial varia conforme o fluxo sanguíneo para os tecidos e a quantidade de calor perdido para o ambiente (Gil et al., 2013). Por esse motivo provavelmente que as melhores regiões encontradas para identificar o animal sob estresse pelo calor em nosso estudo foram a do úbere, devido a grande demanda sanguínea (Gil et al., 2013), pois de acordo com Brito e Sales (2007) entre 400 a 500 litros de sangue circulam pela glândula mamária para cada litro de leite produzido.

Portanto, as variações das temperaturas da superfície do corpo podem ser monitoradas de forma confiável com essa ferramenta (Knizková et al., 2007) e a termografia do úbere oferece uma possibilidade interessante para monitoramento da temperatura corporal das vacas (Metzner et al., 2014).

A análise de regressão segmentada “Broken-Line” entre os índices ambientais (ITU e ITGU) com as medidas de TI mostrou que os animais da raça Girolando, independente do grau de sangue, apresentaram valores superiores de ITU e ITGU em relação ao Holandês. De maneira semelhante, Azevedo et al. (2005) trabalhando com 15 vacas sendo 5 de cada grupos genéticos (1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu) verificaram que as vacas mestiças apresentaram valores críticos mais altos de temperatura do ar, índice de temperatura e umidade e índice de temperatura de globo negro e umidade, em relação aos reportados na literatura para animais provenientes de climas temperados devido a sua maior adaptabilidade às condições tropicais.

A análise de regressão segmentada “Broken-Line” entre o índice de conforto animal (HT) com as medidas de TI mostrou os menores valores para os pontos de inflexões das curvas para os animais Girolando 1/2, Girolando 3/4 e Holandês, respectivamente. Isso mostra que os animais que apresentaram os maiores valores encontravam-se em situação de desconforto térmico. O que era esperado uma vez que os animais *Bos indicus* tem uma capacidade superior de suportar o estresse térmico em relação ao *Bos taurus* nos trópicos (Santos et al., 2005). McManus et al. (2009) mostraram que a raça Holandesa teve o pior desempenho em relação à adaptação ao calor entre sete raças estudadas na região centro-oeste do Brasil. A análise canônica confirmou essa separação dos grupos genéticos, sendo que os animais da raça Holandesa tiveram associação com os parâmetros fisiológicos e medidas termográficas (Olho, Uberetras e Uberelat) no período da tarde. Isso possivelmente deve-se ao fato de que os animais da raça Holandesa serem mais suscetíveis ao estresse pelo calor. Porque na realidade, as raças de clima temperado introduzidas no continente americano se adaptaram às regiões temperadas, mas não as regiões tropicais (Façanha et al., 2013).

Quando se fez a análise de regressão segmentada “Broken-Line” para os parâmetros fisiológicos em relação às medidas de TI também verificou os maiores pontos de inflexão da curva de TR e FR para os animais da raça Holandesa. Isso mostra que esses animais estavam em situação de desconforto térmico em relação ao Girolando 3/4 e Girolando 1/2, respectivamente. Isso possivelmente deve se ao fato que o aumento dos valores nas variáveis fisiológicas seria devido ao aumento dos genes de Holandês no grupo genético (Azevedo et al., 2005). Já Bianchini et al. (2006) relataram que a raça Holandesa é a que possui menor área de tecido ocupada por glândulas sudoríparas, o que pode indicar maior dificuldade de adaptação em relação ao gado Zebu que tem maior capacidade em eliminar o suor e maior capacidade de adaptação ao calor. Somente a FC apresentou pontos de inflexão da curva superior para os animais Girolando 3/4, mas isso não indica que esses animais estavam em uma situação mais desconfortável que demais. Segundo Cerutti et al. (2013) os efeitos do estresse térmico sobre a frequência cardíaca é variável, sendo o aumento ou redução da mesma ligado à intensidade de estresse a que os animais estão submetidos e a capacidade de adaptação dos mesmos.

Contudo, devemos levar em consideração vários fatores em conta que podem afetar a temperatura corporal, como a umidade relativa do ambiente, estado fisiológico do animal, nível de produção da vaca, tempo em relação à alimentação e ordenha (Colak et al., 2008). Alsaod & Büscher (2012) mencionaram que um ambiente controlado é essencial para garantir a confiabilidade das imagens termográficas. Em nosso estudo, todas as medições foram feitas na mesma área de cada região avaliada, procurando utilizar a mesma distância e sem a incidência da radiação solar.

No entanto, em nosso experimento a termografia infravermelha usada para avaliar a tolerância ao calor dos animais mostrou sensível para detectar diferenças na temperatura da pele dos animais, principalmente na região do úbere.

Conclusões

A termografia infravermelha mostrou-se eficaz no reconhecimento do estresse por calor nos animais do experimento, pois detectou valores dos parâmetros fisiológicos acima dos ideais encontrados na literatura. Os animais da raça Holandesa apresentaram menor tolerância ao calor em relação aos Girolando. A melhor área encontrada para determinar o conforto térmico de ambas às raças foi à região do úbere em relação às demais estudadas no experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSAAOD, M.; BÜSCHER, W. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 2, p. 735–742, 2012.
- AZEVEDO, M. et al. Estimativa de Níveis Críticos Superiores do Índice de Temperatura e Umidade para Vacas Leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005.
- BARBOSA, O. R. et al. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.
- BENEZRA, M. V. A new index measuring the adaptability of cattle to tropical conditions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 13, n. 4, p. 1015, 1954.
- BERRY, R. J. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, n. 4, p. 687–693, 2003.
- BOUZIDA N.; BENDADA A.; MALDAGUE X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal Thermal Biology**, Londres, v. 34, n. 3, p. 120-126, 2009.
- BIANCHINI, E. et al. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1443-1448, 2006.
- BITMAN, J. et al. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 67, n. 5, p. 1014-1023, 1984.
- BRITO, J.R.R.O.; S, R.O. Saúde do Úbere: Uma Revisão. **Rev. Brás. San. Anim.**, v.01, p. 67-87, 2007.
- CERUTTI, W. G. et al. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 406-412. 2013.
- COLAK, A. et al. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 4244–4248, 2008.
- CRUZ, L. V. et al. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira: revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, SP, v. 9, n. 16, 2011.

FAÇANHA, D. A. E. et al. Características termorreguladoras e desempenho de cabras leiteiras no terço inicial da lactação em clima tropical. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 111, n. 583-584, p. 151-156, 2012.

GIL, Z. et al. Impact of the location of the dairy cows in the barn on their body surface temperature. **Journal of Central European Agriculture**, Cidade, v. 14, n. 3, p. 228-237, 2013.

GODYN, D.; HERBUR, E.; WALCZAK, J. Infrared thermography as a method for evaluating the welfare of animals subjected to invasive procedures – a Review. **Annals of Animal Science**, Paris, v. 13, n. 3, p.423-434, 2013.

HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. [Comparative Study, Journal Article], **Vet. Res. Commun**, Utrecht, v. 37, n. 2, p. 91-9, 2013.

HOVINEN, M. et al. Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 4592–4598, 2008.

KNÍŽKOVÁ, I. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **J. Fac. Agric**, Prague, v. 22, n. 3, p. 329–336, 2007.

KUNC, P. et al. Infrared thermography as a tool to study the milking process: a review. **Agric. Trop. Subtrop**, Prague, v. 40, n. 1, p. 29–32, 2007.

LOPES, J. J. et al. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de caprinos Saanen e seus mestiços com a raça Boer no semiárido paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA)**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 83-89, 2012.

MAC-LEAN, P. A. B. **Programa de suplementação de luz e relações entre variáveis fisiológicas e termográficas de bezerros em aleitamento em clima quente**. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 1, p. 712–719, 2006.

MARTELLO, L. S. et al. Respostas Fisiológicas e Produtivas de Vacas Holandesas em Lactação Submetidas a Diferentes Ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004.

MCMANUS, C. et al. The challenge of sheep farming in the tropics: aspects related to heat tolerance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 107-120, 2011. Suplemento especial.

MCMANUS, C. et al. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. **Livestock Science**, v. 120, p. 256-264, 2009.

MELLO, E. C.; LOPES, D. de C.; CORRÊA, P. C. GRAPSI – Programa Computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 164-162, 2004.

METZNER, M. et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. **The Veterinary Journal**, London, v. 199, n. 1, p. 57–62, 2014.

MORAES, J. B. **Termorregulação e adaptabilidade climática de caprinos no semiárido piauiense**. 2010. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

MOURA, D. J. et al. Uso da termografia infravermelha na análise da termorregulação de cavalo em treinamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 23-32, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 7. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1971. 54 p.

PAIM, T. P. et al. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 56, n. 1, p. 1, 2012.

POIKALAINEN, V. et al. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. **Agronomy Research**, Cidade, v. 1, p. 187-194, 2012.

SANTOS, F. C. B. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do Nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 142-149, 2005.

SILVA, I. J. O et al. Efeitos da Climatização do Curral de Espera na Produção de Leite de Vacas Holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 2036-2042, 2002.

SOUZA, E. D. et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido. **Cienc Agrotec**, Lavras, v. 29, p. 177-184, 2005.

STEWART, M. et al. Eye temperature and heat rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior**, Wellington, v. 93, n. 4-5, p.789-797, 2008.

STEWART, M. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **AnimWelf.**, Hamilton, v. 14, n. 4, p.319–325, 2005.

VASCONCELOS, J. L. M.; DEMETRIO, D. G. B. Manejo reprodutivo de vacas sob estresse calórico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 396-401, 2011.

CAPÍTULO III

3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse térmico é um dos fatores limitantes para produção animal, principalmente para os bovinos de leite que são mais vulneráveis. A termografia infravermelha surge como uma alternativa para detectar o estresse sofrido pelos animais.

Em nosso experimento, a termografia infravermelha mostrou que possui um grande potencial para detectar o estresse térmico pelo calor nos animais, pois foi sensível as variações de temperatura de diferentes regiões do corpo dos animais avaliados. Verificou-se que os animais estavam fora da sua zona de conforto térmico, pois as medidas de temperatura ambiental e umidade relativa do ar encontraram-se acima das ideais.

A termografia infravermelha mostrou menor tolerância ao calor para os animais da raça Holandesa.

A melhor área encontrada para determinar o conforto térmico dos animais, através da termografia foi à região do úbere.

Portanto, pode-se concluir que, as variações das temperaturas da superfície do corpo podem ser monitoradas de forma confiável com o uso da termografia infravermelha.

3.2 CONCLUSÕES GERAIS

- A raça Holandês foi a menos tolerante ao calor em relação ao Girolando.
- A termografia infravermelha mostrou-se sensível as variações de temperatura das diferentes partes do corpo do animal avaliadas.
- A região do úbere mostrou maior sensibilidade ao uso da termografia infravermelha nessas condições do experimento e oferecem uma possibilidade interessante para monitoramento da temperatura corporal das vacas.

3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYUZ, A.; BOYACI, S.; CAYLI, A. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, Monterey, v. 9, n. 13, p. 1824-1827, 2010.

ALMEIDA, G. L. P. **Climatização na pré-ordenha de vacas da raça Girolando e seus efeitos na produção e qualidade do leite e no comportamento animal**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2009.

ALSAOD, M.; BÜSCHER, W. Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 95, n. 2, p. 735–742, 2012.

ARCARO JUNIOR, I. et al. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 350-354. 2003.

AVILA, A. S. et al. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holândês em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 14, n. 14, p. 2878-2884, 2013.

AZEVÊDO, A. M. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 83 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado Técnico, 188.).

AZEVEDO, M. et al. Estimativa de Níveis Críticos Superiores do Índice de Temperatura e Umidade para Vacas Leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu em Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005.

BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: UEL, 2001, 142 p.

BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combine defect soft temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. 1985. 218 f. Thesis (Ph.D.) – University of Missouri, Columbia, 1985.

BARBOSA, O. R. et al. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.

BEEDE, D. K.; COLLIER, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during heat stress. **Journal of Animal Science**,

Champaign, v. 62, p. 543–550, 1986.

BENEZRA, M. V. A new index measuring the adaptability of cattle to tropical conditions. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 13, n. 4, p. 1015, 1954.

BERRY, R. J. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 83, n. 4, p. 687–693, 2003.

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. B. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 90, n. 4, p. 1947–1956, 2007.

BOND, G. B. et al. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1286-1293, 2012.

BOUZIDA N.; BENDADA A.; MALDAGUE X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal Thermal Biology**, Londres, v. 34, n. 3, p. 120-126, 2009.

BIANCHINI, E. et al. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1443-1448, 2006.

BITMAN, J. et al. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 67, n. 5, p. 1014-1023, 1984.

BRITO, J. R. R. O.; SALES, R. O. Saúde do Úbere: Uma Revisão. **Rev. Brás. San. Anim.**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 67-87, 2007.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **Transactions of the A.S.A.E.**, St. Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.

CASTANHEIRA, M. **Análise multivariada de característica que influenciam a tolerância ao calor em equinos ovinos e bovinos**. 2009. 107 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal)- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

CASTRO, A. C. **Avaliação de sistema silvipastoril através do desempenho produtivo de búfalos manejados nas condições climáticas de Balém, Pará**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

CERUTTI, W. G. et al. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas ou não a sombreamento e aspersão na pré-ordenha. **Revista Brasileira de saúde e produção animal**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 406-412. 2013.

- CILULKO, J. et al. Infrared thermal imaging in studies of wild animals. **European Journal Wildlife Research**, Poland, v. 59, n. 1, p. 17–23, 2013.
- COLAK, A. et al. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 91, n. 11, p. 4244–4248, 2008.
- COLLIER, R. J.; COLLIER, J. L. **Environmental Physiology of Livestock**. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2012.
- COLUMBIANO, V. S. **Identificação de QTL nos cromossomos 10, 11 e 12 associados ao estresse calórico em bovinos**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento). - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- CRUZ, L. V. et al. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira: revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça, SP, v. 9, n. 16, 2011.
- CRUZ JÚNIOR, C. A da. **Tolerância ao calor em ovinos reprodutores criados no Distrito Federal**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Animais)-Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 579 p.
- FAÇANHA, D. A. E. et al. Características termorreguladoras e desempenho de cabras leiteiras no terço inicial da lactação em clima tropical. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 111, n. 583-584, p. 151-156, 2012.
- FERREIRA, F. et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 58, n. 5, p. 732-738, 2006.
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente: para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.
- GANTNER, V. et al. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production of dairy cattle. **Daily production of dairy cattle**, Mljekarstvo, v. 61, n. 1, p. 56-63, 2011.
- GARCIA, A. R. et al. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1409-1414, 2011.
- GIL, Z. et al. Impact of the location of the dairy cows in the barn on their body surface temperature. **Journal of Central European Agriculture**, Cidade, v. 14,

n. 3, p. 228-237, 2013.

GLOSTER, J. et al. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. **BMC Veterinary Research**, London, v. 7, n. 73, 2011.

GODYN, D.; HERBUR, E.; WALCZAK, J. Infrared thermography as a method for evaluating the welfare of animals subjected to invasive procedures – a Review. **Annals of Animal Science**, Paris, v. 13, n. 3, p.423-434, 2013.

GRACIANO, D. E. **Aplicações da termografia infravermelha na produção animal**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2013.

HERBUT, P.; ANGRECKA, S. Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. **Animal Science Papers and Reports**, Jastrzębiec, v. 30, n. 4, p.363-372, 2012.

HOFFMANN, G. et al. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. [Comparative Study, Journal Article], **Vet. Res. Commun**, Utrecht, v. 37, n. 2, p. 91-9, 2013.

HOVINEN, M. et al. Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera. **J. of Dairy Sci.**, Champaign, v. 91, n. 12, p. 4592–4598, 2008.

JOKSIMOVIĆ-TODOROVIĆ, M. et al. Effect of heat stress on milk production in dairy cows. **Biotechnology in Animal Husbandry**, Belgrade, v. 27, n. 3, p. 1017-1023, 2011.

KOTRBA, R. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, Londres, v. 32, n. 3, p. 355-359, 2007.

KNÍŽKOVÁ, I. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **J. Fac. Agric**, Prague, v. 22, n. 3, p. 329–336, 2007.

KUNC, P. et al. Infrared thermography as a tool to study the milking process: a review. **Agric. Trop. Subtrop**, Prague, v. 40, n. 1, p. 29–32, 2007.

LALONI, L. A. et al. Índice de previsão de produção de leite para vacas Jersey. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 246-254, 2004.

LOPES, J. J. et al. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de caprinos Saanen e seus mestiços com a raça Boer no semiárido paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA)**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 83-89, 2012.

LUDWING, N. et al. Technical note: applicability of infrared thermography as a noninvasive measurement of stress in rabbit. **World Rabbit Sci.**, Milan, v. 15, n. 4, p. 199–206, 2007.

MAC-LEAN, P. A. B. **Programa de suplementação de luz e relações entre variáveis fisiológicas e termográficas de bezerros em aleitamento em clima quente**. 2012. 103 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, n. 1, p. 712–719, 2006.

MARTELLO, L. S. et al. Respostas Fisiológicas e Produtivas de Vacas Holandesas em Lactação Submetidas a Diferentes Ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004.

MARTINS, R. F. S. **Índice de conforto térmico e temperatura superficial por termografia infravermelha em ovinos**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MCMANUS, C. et al. Interação genótipo ambiente em provas de ganho em peso de ovinos confinados e a pasto. **Ci. Anim. Bras.**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 213-220, 2012.

MCMANUS, C. et al. The challenge of sheep farming in the tropics: aspects related to heat tolerance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, p. 107-120, 2011. Suplemento especial.

MCMANUS, C. et al. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. **Livestock Science**, v. 120, p. 256-264, 2009.

MELLO, E. C.; LOPES, D. de C.; CORRÊA, P. C. GRAPSI – Programa Computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 164-162, 2004.

METZNER, M. et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. **The Veterinary Journal**, London, v. 199, n. 1, p. 57–62, 2014.

MONTANHOLI, Y. R. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bostaurus*) **Journal of Thermal Biology**, London, v. 33, n. 3, p. 468–475, 2008.

MORAES, J. B. **Termorregulação e adaptabilidade climática de caprinos no semiárido piauiense**. 2010. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) -

Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

MOURA, D. J. et al. Uso da termografia infravermelha na análise da termorregulação de cavalo em treinamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 23-32, 2011.

NÃAS, I. A.; ARCARO JUNIOR, I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 139-142, 2001.

NASCIMENTO, C. C. N. **Estimativa da produção leiteira e consumo de alimentos de vacas a partir da ocorrência de ondas de calor no triângulo mineiro e alto Oaranaíba, MG**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 7. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1971. 54 p.

NERI, J. **Ambiente térmico em confinamentos de gado leiteiro no Brasil**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PAIM, T. P. et al. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 56, n. 1, p. 1, 2012.

PEREIRA, C. C. J. **Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 117-126, 2007.

PERISSINOTTO, M. et al. Influência do ambiente na ingestão de água por vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 289-294, 2005.

PERISSINOTTO, M. **Variação da Eficiência Produtiva e Energética de Sistemas de Climatização em Galpões Tipo “Freestall” para Confinamento de Gado Leiteiro**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PINARELLI, C. The effect to heat stress on milk yield. **Latte**, Milan, v. 28, n. 12, p. 36-38, 2003.

PIRES, M. F. A.; CAMPOS, A. T. **Conforto Animal para maior produção de leite**. Viçosa: CPT – Centro de Produções Técnicas, 2008. p. 252.

POIKALAINEN, V. et al. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. **Agronomy Research**, Cidade, v. 1, p. 187-194, 2012.

PORCIONATO, M. A. F. et al. Influência do estresse calórico na produção e qualidade do leite. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 483-490, 2009.

RAINWARER-LOVETT, K. et al. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**, Tartu, v. 180, n. 3, p. 317–324, 2009.

RAFEL, O. et al. Use of infrared thermography to assess heat stress in rabbits. In: WORLD RABBIT SCIENCE ASSOCIATION. WORLD RABBIT CONGRESS, 10., 2012, Sharm El - Sheikh–Egypt. **Proceedings...** Sharm El - Sheikh–Egypt: [s.n.], 2012. p. 1081-1108.

ROBERTO, J. V. B. **Efeito do ambiente térmico e uso da Termografia de infravermelho em caprinos Saanen e seus mestiços com o boer no semiárido Brasileiro**. 2012, 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2012.

ROBINSON, N. E. Homeostase, Termorregulação. In: CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004. p. 550-561.

ROSSAROLLA, G. **Comportamento de vacas leiteiras da raça holandesa, em pastagem de milho com e sem sombra**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SAMPAIO, C. A. P. et al. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 785-790, 2004.

SANTOS, F. C. B. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do Nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 142-149, 2005.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.

SILVA, S. C. **Termografia infravermelha para avaliação do incremento**

calórico causado pela ingestão de volumoso. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Instituto de Zootecnia. APTA/SAA, Nova Odessa, 2013.

SILVA, T. P. D.; SOUSA JÚNIOR, S. C. Produção de leite de vacas submetidas a diferentes períodos de exposição à radiação solar no sul do Piauí. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 21, p. 320-325, 2013.

SILVA, J. C. P. M. et al. **Bem-estar do Gado Leiteiro:** A importância do conforto térmico para o alto desempenho do gado. [S.I.]: Editora Aprenda Fácil, 2012. p. 125.

SILVA, I. M. **Automação do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na pré-ordenha de vacas girolando e seus efeitos na produção de leite.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, I. J. O et al. Efeitos da Climatização do Curral de Espera na Produção de Leite de Vacas Holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 2036-2042, 2002.

SOUZA, B. B.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária científica no semiárido**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p. 6-10, 2012.

SOUZA, R. et al. Produção e qualidade do leite de vacas da raça Holandesa em função da estação do ano e ordem de parto. **Rev. Bras. Saúde Prod. An.**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 484-495, 2010.

SOUZA, E. D. et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi-Árido. **Cienc Agrotec**, Lavras, v. 29, p. 177-184, 2005.

SOUZA, S. R. L. et al. Análise do investimento em climatização para bovinos de leite em sistema de alojamento *free-stall*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 255-262, 2004.

STEWART, M. et al. Eye temperature and heat rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiology & Behavior**, Wellington, v. 93, n. 4-5, p.789-797, 2008.

STEWART, M. et al. Noninvasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. **Physiol. Behav.**, Wellington, v. 92, n. 3, p. 520–525, 2007.

STEWART, M. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **AnimWelf.**, Hamilton, v. 14, n. 4, p.319–325, 2005.

STOKES, J. E. et al. An investigation in to the use of infrared thermography (IRT) as a rapid diagnostic tool for foot lesions in dairy cattle. **The Veterinary Journal**, v. 193, n. 3, p. 674–678, 2012.

VASCONCELOS, J. L. M.; DEMETRIO, D. G. B. Manejo reprodutivo de vacas sob estresse calórico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 396-401, 2011.

WEST, J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. **Jounal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 6 , p. 2131–2144, 2003.

WEST, J. W. et al. Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake, and Milk Yield of Lactating Dairy Cows. **J. Dairy Sci.**, Champaign v. 86. n. 1, p. 232–242, 2003.

3.4 VITA

Nome: Darlene dos Santos Daltro.

Filiação: José Vaner Garcia Daltro e Jane Marisa dos Santos Daltro.

Data de Nascimento: 18/08/1986.

Local de Nascimento: Dom Pedrito/RS, Brasil.

Conclui-o ensino médio e técnico em informática na Universidade da Região da Campanha (URCAMP) – Dom Pedrito. Zootecnista formada pela Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) no ano de 2011.