

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUCIANE SILVA MARTELLO

Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as
respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em *free-stall*

Pirassununga

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

LUCIANE SILVA MARTELLO

Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em *free-stall*

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.

Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Junior

Pirassununga

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela

Biblioteca da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

M376i Martello, Luciane Silva
Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as repostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em *free-stall* / Luciane Silva Martello – Pirassununga, 2006.
111 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo.
Departamento de Zootecnia.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal.
Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Junior.

Unitermos: 1. Ambiência animal 2. Estresse térmico 3. *free-stall* 4. Termorregulação I. Título.

DEDICATÓRIA

*“O ser busca o outro ser, e ao conhecê-lo
Acha a razão de ser, já dividido.
São dois em um: amor, sublime selo
Que à vida imprime cor, graça e sentido”*

Carlos Drummond de Andrade

À Saulo, pelo apoio científico e emocional na realização desse trabalho. Por estar sempre ao meu lado, por dar mais sentido a minha vida.

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada.
Caminhando e semeando, no fim terás o que colher”*

Cora Coralina

À minha família, onde encontro o amor que me ajuda a caminhar e crescer:

Aos meus amados pais, Orlando e Lairce, sempre ao meu lado.

Aos meus queridos irmãos, Orlando e Lenise, meus cunhados Fernando e Letícia e meus sobrinhos queridos, Lígia e Pedro.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus agradecimentos especiais:

Ao Prof. Dr. Holmer Savastano Jr., meu orientador, quem me aceitou inicialmente na vida acadêmica, com quem tenho o privilégio de conviver por mais de 6 anos. Um exemplo de profissional, determinado e sensato. Sou muito grata pelos ensinamentos!

Ao prof. Dr. Evaldo Lencioni Titto, pelas sugestões na qualificação e amizade durante esses anos.

Ao prof, Dr. Júlio Balieiro, que com seu entusiasmo singular e contagiante, além do conhecimento na área, contribuiu para a realização deste trabalho. Foi um prazer trabalhar com você!

Às minhas queridas amigas pré-USP, Renata, Denise, Helô e Fernanda (prima), e pós-USP, Érica, Helena e Laura. Peço licença para me expressar com parte do poema de Vinícius de Moraes "... *Precisa-se de um amigo para não se enlouquecer, para contar o que se viu de belo e triste durante o dia, dos anseios e das realizações, dos sonhos e da realidade...*" Obrigada por serem tão presentes!

Ao meu amigo José Henrique, companheiro desde os tempos de alojamento. Obrigada pela grande amizade!

À José Paulo Ferraz, quem tive o prazer de conhecer e trabalhar desde 2003. Agradeço o incentivo constante para a realização deste trabalho e compreensão na minha divisão de tarefas entre a Pedra Branca e a USP.

Ao prof. Dr. J.Bento, primeiro meu professor e depois um amigo, com quem eu sempre pude contar. Obrigada pelo apoio constante.

Aos colegas de trabalho da Agrícola Pedra Branca, Ivan, Andréa, Ana, Vanessa, Neto, Mário, Luiza e Neto, pela convivência e companheirismo.

A toda equipe (produção e campo) da Pedra Branca que de alguma forma me apoiaram para que eu pudesse me ausentar do trabalho por algum período.

Aos funcionários do gado de leite (PCAPS/USP) que me ajudaram durante o período do experimento.

Aos meus amigos da pós-graduação, Angélica, Juliana, Brumati e Luiz Carlos, pela amizade e bons momentos que vivemos durante estes anos.

A todos os meus colegas da pós-graduação pelo convívio e amizade.

À Alessandra, que sempre esteve comigo, cuidando de mim, da minha casa, com tanto carinho.

À Olívia, que me viu crescer e está sempre na torcida...Obrigada pelo cuidado com minha família.

Aos meus colegas do Laboratório de C&A: Mel, sempre pronta para ajudar, com ótimo humor, ao Zaqueu, fundamental para a organização do laboratório e com que eu sempre pude contar, ao Celso, Camila, Ana Paula e Sérgio, com os quais pude conviver durante um período.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, junto aos professores e funcionários, pelo trabalho e apoio constante aos pós-graduandos e à condução do curso de Zootecnia. A FZEA é um lugar muito bom para trabalhar e estudar.

RESUMO

MARTELLO, L.S. **Interação animal-ambiente: efeito do ambiente climático sobre as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas em *free-stall***. 2006. 110f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2006.

As relações entre os fatores climáticos e as respostas fisiológicas de vacas lactantes são bastante conhecidas, porém sob condições de ambiente controlado. Este estudo teve como objetivo monitorar as respostas dos animais em instalações típicas para vacas leiteiras, para identificar o real impacto do ambiente climático sobre o animal. Foi proposto um método para avaliar o nível de estresse de vacas, que poderá servir como uma ferramenta simples, que traduza as sensações de conforto térmico dos animais. O experimento foi realizado em três fases, a saber: primavera (28 dias), verão (31 dias) e inverno (31 dias). Foram utilizados animais da raça Holandesa com produção média entre 20 a 25 kg leite/dia. Os animais foram alojados em instalação tipo *free-stall* com acesso livre a um piquete adjacente. Foram avaliadas a frequência respiratória (FR), a temperatura retal (TR), a temperatura do pelame (TPE), a temperatura auricular (TAU), a temperatura da base da cauda (TCAU), a temperatura da vulva (TVU) e a produção de leite (PL). O ambiente foi monitorado 24 horas por dia, todos os dias, com registros da temperatura de bulbo seco (TBS), da umidade relativa (UR), da temperatura de ponto de orvalho e da temperatura de globo negro (TG). Posteriormente foram calculados os índices de temperatura e umidade (ITU) e o de temperatura de globo e umidade (ITGU). Todas as variáveis fisiológicas apresentaram padrão sazonal bem claro, com maiores valores durante as estações mais quentes (primavera e verão) e menores valores no inverno. A TAU, a TVU e a TCAU apresentaram correlações positivas com a TR, a FR e a TPE, o que indica uma associação entre estas variáveis. Porém estudos adicionais devem ser conduzidos para validar a aplicabilidade destas variáveis (TAU, TVU e TCAU) na caracterização do estresse térmico dos animais. A TPE e a FR foram as variáveis mais influenciadas pelo ambiente climático em todas as estações do ano. O ambiente noturno foi associado às variações da TR, da FR e da TPE, enquanto o ambiente do dia anterior não explicou a variação das respostas fisiológicas. Não houve evidência de efeitos de uma variável ambiental isolada

sobre as variáveis fisiológicas, o que indicou a complexidade das relações entre o animal e o ambiente climático. Mesmo com ITU acima de 79, considerado estressante pela literatura estrangeira para vacas lactantes, não foram evidenciados valores estressantes para TR e FR e reduções na produção de leite. O modelo proposto neste trabalho para estimar presença ou ausência de estresse em vacas alojadas em *free-stall*, apresentou boa aderência ao conjunto de dados, com R^2 de 0,43. Dessa forma, disponibiliza uma ferramenta simples e rápida para produtores e técnicos, pela associação de duas medidas fisiológicas (FR e TPE) de fácil mensuração, ou então pela associação de duas variáveis ambientais (TBS e UR). Tal ferramenta diz respeito a uma amostra da população de vacas Holandesas alojadas em determinada instalação e região, o que condiciona o modelo proposto a outros estudos para sua validação em outros rebanhos e regiões.

Palavras-chave: Ambiência, estresse térmico, *free-stall*, termorregulação, vacas de leite

ABSTRACT

MARTELLO, L.S. **Animal-environment interaction: effects of climatic environment over physiologic and productive responses of Holstein cows in free-stall.** 2006. 110f. Thesis (Doctoral) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2006.

It has been well known the relation between the environment and physiological answers of lactating dairy cows under controlled environmental conditions. The present study aimed to monitor the animal answers allocated at typical housing system to identify the real environmental impact over it. A method was proposed to evaluate the stress level of the animal, to be used as a tool to identify the sensations of thermal comfort. The experiment was conducted in three phases, in spring (28 days), summer (31 days) and winter (31 days) periods. Holstein dairy cows were used averaging milk yield around 20 to 25 kg/day. The animals were housed in a free stall shed with an open area. Respiratory rate (FR), rectal temperature (TR), surface skin temperature (TPE), internal ear temperature (TAU), tail temperature (TCAU), vulva temperature (TVU) and milk yield (PL) were evaluated. The environmental conditions were monitored during 24 hours every day, by recording the dry bulb temperature (TBS), relative humidity (UR), dew point temperature (Tpo) and black globe temperature (Tg). The calculation of temperature humidity index (ITU) and the black globe humidity index (ITGU) was based on these environmental variables. The physiological variables had a seasonal standard with higher values during hot periods (spring and summer) and lower values during the winter. The IET, VT and TT demonstrated positive correlations with RT, RR and SKT showing association between them. More studies are necessary to validate the applicability of these variables (IET, VT and TT) and to characterize heat stress in dairy cows. SKT and RR were the most influenced by the environment in all seasons. The night environment was associated to the RT, RR and SKT, while the day before environment did not explained the physiological variations. There was no evidence of isolated environmental variables over the physiological ones, showing the complexity between the animal and the environment. Even with the THI values above 79, what is considered stressful to dairy cows, there was no evidence of stressful values for

RT and RR and of MY losses. The model proposed in this study to estimate presence or absence of heat stress in dairy cows avails a simple and fast tool to milk producers and technicians, where it could be associated two physiological variables (RR and SKT) of easy measurement or other two environment variables (DBT and RH). However, this result is related to the studied population at a specific housing system and situated at a specific region. Addiitonal studies must be conducted to validate the proposed model to others dairy herds and locations.

Keywords: Welfare, thermal stress, free-stall, thermoregulation, milking cows

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista externa do <i>free-stall</i>	39
Figura 2 – Vista interna do <i>free-stall</i>	39
Figura 3 – Baias do <i>free-stall</i> construídas com madeira e com cama de areia.....	40
Figura 4 – Vista do piquete adjacente ao <i>free-stall</i>	40
Figura 5 – Detalhe do piso de cimento rugoso	41
Figura 6 – <i>Data-logger</i> e globo negro utilizados para medidas ambientais	43
Figura 7 – Posição do <i>data-logguer</i> e globo negro dentro do <i>free-stall</i>	43
Figura 8 – Registro da temperatura retal.....	44
Figura 9 – Registro da temperatura do pelame	44
Figura 10 – Registro da temperatura da base da cauda	45
Figura 11 – Mensuração da temperatura da vulva	45
Figura 12 – Mensuração da temperatura auricular	46
Figura 13 – Valores estimados e observados de temperatura retal e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera nos diferentes horários.	55
Figura 14 – Valores estimados e observados de temperatura retal e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão nos diferentes horários.	55
Figura 15 – Valores estimados e observados de temperatura retal durante o inverno nos diferentes horários.	56
Figura 16 – Valores observados e estimados de freqüência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera em diferentes horários.....	59
Figura 17 – Valores observados e estimados de freqüência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão em diferentes horários.	60
Figura 18 – Valores estimados e observados de freqüência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o inverno em diferentes horários.....	60
Figura 19 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera em diferentes horários.....	62

Figura 20 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão em diferentes horários.	62
Figura 21 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o inverno em diferentes horários.....	63
Figura 22 – Valores médios horários de temperatura auricular das vacas durante os períodos de verão e inverno.....	65
Figura 23 – Valores médios horários de temperatura da vulva das vacas durante os períodos de verão e inverno.....	66
Figura 24 – Valores médios horários de temperatura da base da cauda das vacas durante os períodos de verão e inverno.....	66
Figura 25 – Produção média de leite por estação do ano em função das classes de ITU.....	88

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Classificação dos valores do índice de temperatura e umidade (ITU) para animais domésticos, descrita por *Livestock Weather Safety Index*..... 19
- Tabela 2 – Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos de temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) nas diferentes estações do ano estudadas. 50
- Tabela 3 – Médias e desvios-padrões diurnos e noturnos de temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU). 51
- Tabela 4 – Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos de frequência respiratória (FR), temperatura do pelame (TPE) e temperatura retal (TR) nas diferentes estações do ano..... 53
- Tabela 5 – Equações de regressão para estimar as temperaturas retal (TR), frequência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE) em função da hora do dia..... 54
- Tabela 6 – Parâmetros de temperatura da vulva (TVU), temperatura da base da cauda (TCAU) e temperatura auricular (TAU) nas diferentes estações do ano..... 64
- Tabela 7 – Equações de regressão para estimativa das temperaturas da vulva (TVU), da base da cauda (TCAU) e auricular (TAU), utilizando medidas obtidas diretamente no animal..... 65
- Tabela 8 – Correlações entre temperatura retal (TR), auricular (TAU), vulva (TVU), cauda (TCAU), superfície corporal (TPE) e frequência respiratória (FR) ($p < 0,0001$). 67
- Tabela 9 – Médias de temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE) nas estações do ano nos três horários observados..... 70

Tabela 10 - Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e temperatura retal (TR), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior. ..	72
Tabela 11 - Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e frequência respiratória (FR), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior.	75
Tabela 12 - Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e a temperatura do pelame (TPE), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior.....	77
Tabela 13 - Estimativas dos pares canônicos e das correlações canônicas entre as variáveis fisiológicas e variáveis ambientais, considerando todas as estações do ano.....	78
Tabela 14 - Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura retal (TR), em cada estação do ano, com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.....	81
Tabela 15 - Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e frequência respiratória (FR), em cada estação do ano com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.	82
Tabela 16 - Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura do pelame, em cada estação do ano com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.....	84
Tabela 17 – Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) do mesmo dia e a produção de leite em cada estação do ano.	86
Tabela 18 – Atribuição dos níveis de estresse em relação às classes de frequência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE).....	90
Tabela 19 – Equação de regressão das variáveis climáticas de maior influência sobre as classes de estresse.....	91

Tabela 20 – Dados descritivos de frequência respiratória (FR), temperatura da pele (TPE), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU).....	94
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

CO	Condição de conforto (ITU < 72)
EMIN	Estresse mínimo (ITU entre 72 e 76)
EMO	Estresse moderado (ITU entre 77 e 79)
ESE	Estresse severo (ITU maior do que 80)
FR	Frequência respiratória
ITGU	Índice de temperatura de globo e umidade
ITU	Índice de temperatura e umidade
TAU	Temperatura auricular
TBS	Temperatura de bulbo seco
TCAU	Temperatura da base interna da calda
TG	Temperatura do termômetro de globo negro
TR	Temperatura retal
TPE	Temperatura do pelame
TVU	Temperatura da pele da vulva
UR	Umidade relativa do ar

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIACÕES	
1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Fatores ambientais e a influência sobre o conforto animal	16
3.2 Índices de conforto térmico	17
3.2.1 Índice de temperatura e umidade (ITU)	17
3.2.2 Índice de globo e umidade (ITGU)	21
3.3 Aspectos fisiológicos e produtivos	22
3.4 Efeitos do ambiente climático sobre as respostas do animal	29
3.4.1 Efeito sobre as respostas fisiológicas	29
3.4.2 Efeito sobre as respostas produtivas	33
3.5 Influência das instalações sobre o conforto animal	34
3.6 Comentários adicionais	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Local e instalações	38
4.2 Animais	41
4.3 Alimentação	42
4.4 Instrumentação e coleta de dados	42
4.4.1 Dados ambientais	42
4.4.2 Dados fisiológicos e produtivos	44
4.5 Análise estatística	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Ambiente climático	49
5.2 Efeito do ambiente climático sobre as variáveis fisiológicas	52
5.2.1 Variação sazonal das variáveis fisiológicas	52
5.2.2 Ritmo diurno de TR, FR e TPE	53
5.2.2.1 Temperatura retal	54
5.2.2.2 Freqüência respiratória	59

5.2.2.3	Temperatura do pelame	61
5.2.3	Comportamento das temperaturas corporais em diferentes pontos anatômicos de acordo com o ambiente climático	63
5.2.3.1	Variação sazonal – TCAU, TVU e TAU	63
5.2.3.2	Variação diária – TCAU, TVU e TAU	64
5.2.4	Correlações entre as variáveis fisiológicas.....	67
5.2.5	Efeito dos fatores ambientais sobre as variáveis fisiológicas.....	69
5.2.5.1	Efeito das variáveis ambientais sobre as respostas fisiológicas.....	71
5.2.5.1.1	Temperatura retal x variáveis ambientais	72
5.2.5.1.2	Frequência respiratória x variáveis climáticas.....	74
5.2.5.1.3	Temperatura do pelame x variáveis ambientais.....	76
5.2.5.1.4	Respostas fisiológicas x variáveis ambientais - correlações canônicas	78
5.2.5.2	Efeito dos índices de conforto térmico sobre as respostas fisiológicas.....	80
5.2.5.2.1	Temperatura retal x índices de conforto	80
5.2.5.2.2	Frequência respiratória x índices de conforto	81
5.2.5.2.3	Temperatura do pelame x índices de conforto	83
5.3	Efeito do ambiente climático sobre a produção de leite.....	85
5.3.1	Produção de leite x ITU.....	88
5.4	Proposta de um modelo para caracterização do estresse baseado em respostas fisiológicas.....	90
6	CONCLUSÕES.....	96
7	IMPLICAÇÕES.....	98
8	REFERÊNCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

O grande desafio da aplicação da ciência animal é avaliar e incrementar a produção dentro do contexto de bem-estar animal. A tendência das granjas leiteiras tem sido de trabalhar com animais de alto potencial genético concentrados em áreas cada vez menores. Os animais de alta produção sofrem maior influência do ambiente climático, sobretudo se submetidos às condições do clima tropical, em razão das elevadas temperaturas do ar e umidade relativa.

O baixo desempenho produtivo de vacas de leite associado ao clima quente e úmido é um fator limitante para a produção de leite e, há muitos anos, vem sendo estudado por vários autores (Johnson, 1962; Armstrong, 1994; West, 2003; Collier et al., 2006).

Existem diversos indicativos para caracterização do conforto e do bem estar animal. Entre eles, está a observação criteriosa das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais ao estresse térmico. Os índices de conforto térmico, determinados por meio de dois ou mais fatores climáticos, servem para avaliar o ambiente e procuram caracterizar, em uma única variável, o estresse a que os animais estão submetidos.

No entanto, os índices mais utilizados foram desenvolvidos e testados para condições climáticas diferentes das presentes no Brasil. Ressalta-se ainda que as faixas de termoneutralidade sugeridas associam respostas fisiológicas e produtivas, principalmente, dos animais de raças européias e merecem cautela se utilizadas para animais criados e adaptados em condições e ambientes tropicais.

O conhecimento da relação ambiente-animal serve como base para a tomada de decisões acerca do manejo e para a adoção da tecnologia mais adequada a determinado sistema de produção. Nesse ponto, destaca-se a importância do conhecimento sobre o comportamento diário e sazonal das respostas fisiológicas e a relação destes fatores com o ambiente a que os animais estão submetidos.

Por outro lado, os avanços tecnológicos no desenvolvimento das instalações permitem maior precisão no controle do ambiente à volta do animal. O sucesso de um programa de controle ambiental depende da sua capacidade em avaliar a situação, prever a ocorrência de problemas e tomar decisões sobre a adoção de uma ou outra tecnologia. Nesse sentido, torna-se importante o desenvolvimento de formas rápidas e fáceis para avaliação do nível de estresse ou de conforto dos animais, que permitam auxiliar o uso de uma ou outra estratégia para minimizar as perdas.

As relações entre os fatores climáticos e as respostas fisiológicas de vacas lactantes são bastante conhecidas, porém sob condições de ambiente controlado.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi monitorar as respostas dos animais dentro de instalações típicas para vacas leiteiras e identificar o impacto real do ambiente climático sobre o animal, considerando todas as variações inerentes ao ambiente, sobretudo à interação instalação-animal.

2 OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivos:

1) Geral

Caracterizar as respostas fisiológicas e produtivas de vacas Holandesas alojadas em instalação do tipo *free-stall* em relação ao ambiente, em diferentes estações climáticas do ano típicas do município de Pirassununga/SP.

2) Específicos

1. Analisar o efeito das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico sobre as variáveis fisiológicas de vacas lactantes.

2. Avaliar a relação das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico com a produção de leite de vacas Holandesas.

3. Investigar o limite crítico dos índices de conforto térmico (ITU e ITGU) considerados estressantes para gado leiteiro.

4. Propor um método para avaliar o nível de estresse de vacas em lactação, que sirva como ferramenta simples e que traduza as sensações de conforto térmico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Os ruminantes são animais homeotermos e apresentam funções fisiológicas para manutenção da temperatura do núcleo corporal constante. Dentro de determinada faixa de temperatura ambiente, denominada zona de conforto ou de termoneutralidade, a homeotermia ocorre com mínima mobilização dos mecanismos termorreguladores. Nessa situação, o animal não sofre estresse por calor ou frio e não ocorre desgaste, além de promover melhores condições de saúde e de produtividade (Nääs, 1989).

A zona de conforto é limitada pela temperatura crítica superior (TCS) e temperatura crítica inferior (TCI), sendo que abaixo da TCI o animal sofre estresse pelo frio e acima da TCS o animal apresenta estresse por calor.

Não há concordância absoluta entre os pesquisadores acerca dos limites de zona de termoneutralidade. Nääs (1989) reportou-se à faixa de 13 a 18°C, como confortável para a maioria dos ruminantes. Ainda segundo essa autora, a recomendação de temperaturas era entre 4 e 24°C para vacas em lactação, podendo-se restringir esta faixa aos limites de 7 e 21°C, em razão da umidade relativa e da radiação solar. Huber (1990) considerou a variação de 4 a 26°C. Furquay (1997) considerou TCS de 25 a 27°C para gado europeu, acima destas temperaturas os animais entrariam em estresse. Muitos são os fatores envolvidos para o estabelecimento da faixa de termoneutralidade, como raça, sexo, estágio de lactação, nível de produção de leite, genética do animal, fatores climáticos, entre outros. Johnson (1985) mencionou que a faixa de termoneutralidade varia de acordo

com o estado fisiológico dos animais e as condições ambientais. Baêta e Souza (1997) consideraram que a TCS seria de 27°C para bovinos adultos, podendo variar para mais ou para menos em função da adaptação do animal ao frio e ao calor e também em função do tempo de exposição e do nível de produção dos animais.

3.1 Fatores ambientais e a influência sobre o conforto animal

O ambiente climático associado às condições de manejo sanitário, nutricional e às condições de alojamento dos animais formam um conjunto de fatores ambientais que interferem no desempenho produtivo dos animais. O clima é uma combinação de elementos que incluem a temperatura do ar (TBS), a umidade relativa (UR), as chuvas, o movimento do ar, a radiação solar, medida pelo termômetro de globo negro (TG), e a pressão barométrica (Johnson, 1987).

Muitos estudos sobre a influência do ambiente climático na produção de leite ou no conforto dos animais têm sido realizados. Vacas de leite expostas à elevada TBS, geralmente associada a uma alta UR ou radiação solar, respondem com redução na produção de leite (Roman-Ponce, 1977, West et al., 2003). Igono et al. (1992) observaram a produção de leite de rebanhos no Arizona (EUA) e concluíram que a melhor produção diária ocorria nos períodos de temperaturas do ar amenas.

A avaliação do estresse calórico em animais pode ser estimada por meio de parâmetros climáticos, que procuram detectar a influência de vários fatores ambientais no conforto térmico e na habilidade fisiológica dos animais. Os índices de conforto térmico procuram reunir dois ou mais fatores ambientais em uma única variável. Desde que foi reconhecida a importância do ambiente sobre as respostas produtivas e de bem-estar do animal, vários índices de conforto têm sido utilizados para classificar os diversos tipos de ambiente, sob o ponto de vista de expressar o conforto destes animais (Silva 2000; Nääs 1999).

3.2 Índices de conforto térmico

Baêta e Souza (1997) afirmaram que as respostas dos animais ao estresse térmico são fisiológicas e comportamentais, variando de espécie para espécie. A utilização de um índice de conforto para determinada espécie animal, portanto, deve considerar, além das características inerentes ao animal, o tipo de sistema de criação (extensivo, semi-intensivo ou intensivo) e a importância relativa de cada elemento meteorológico envolvido. Vários índices de estresse ambiental, desenvolvidos originalmente para humanos, vêm sendo utilizados em animais, baseados em suas relações com frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura da superfície corporal, temperatura interna corporal (retal), nível de atividade, tipo de cobertura do corpo (isolamento) e outras características fisiológicas (Fehr et al., 1993).

A dificuldade do uso generalizado dos índices ocorre em razão de que alguns destes são desenvolvidos para determinar a adequação de um ambiente com relação a uma atividade ou a um tipo específico de animal. Determinados fatores ambientais podem ser importantes para alguns animais e não para outros. Além disso, os índices são baseados em associações específicas de fatores ambientais, que ocorrem em locais determinados (Silva, 2000).

3.2.1 Índice de temperatura e umidade (ITU)

Foi desenvolvido originalmente por Thom (1959) para estimar a sensação de conforto térmico humano para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar, sob baixas velocidades de vento. Posteriormente foi utilizado para descrever o conforto térmico de animais, desde que Johnson et al. (1962) e Cargill e Stewart (1966) observaram quedas significativas na produção de leite de vacas, associadas ao aumento no valor de ITU. Da mesma forma, mais tarde, Hahn et al. (1985)

encontraram inter-relação entre a produção de leite e o valor de ITU. De acordo com Buffington et al. (1981), é o índice mais utilizado pela maioria dos pesquisadores para avaliação do conforto em animais, já que é de fácil obtenção. O ITU considera em seu cálculo a temperatura e a umidade relativa do ar, que são duas variáveis de obtenção fácil nas estações meteorológicas e nas unidades produtoras (propriedades rurais).

Em sua revisão sobre ambiente e produção de leite, Johnson (1965) citou uma série de estudos na Alemanha, Japão, Canadá e no Missouri (EUA) realizados em ambiente controlado (câmara climática) que demonstraram a influência dos fatores físicos do clima (Temperatura do ar, umidade relativa, vento, radiação) sobre a produção de leite. Tais estudos forneceram informações precisas dos efeitos das altas temperaturas do ar sobre a produção de vacas Holandesas e serviram de base para estudos posteriores que relacionaram o ITU com a produção de leite (Hahn e Osburn, 1969; Berry et al., 1964).

Kano (1968), no Japão, relatou que a produção de leite de vacas Holandesas declinou em temperaturas do ar acima de 20°C. Mieschke et al. (1979) expuseram em uma câmara climática, durante 20 dias, vacas em ambiente com temperatura do ar de 30°C e 40% de umidade e observaram redução de 18% na produção de leite. El-Khoja (1979) submeteu seis vacas por 10 dias em ambientes de 17,6°C e 32°C e verificaram produção de leite de 19,2 e 11,9 kg/dia, respectivamente.

Os valores considerados limites, para situações de conforto ou estresse, não são coincidentes entre os diversos pesquisadores. Johnson (1980) considerou que ITU a partir de 72 apresentava situação de estresse para vacas holandesas. Igono et al. (1992), entretanto, consideraram estressante para vacas com alta produção de leite, ITU acima de 76 em qualquer ambiente. Rosenberg et al. (1983) classificaram

o ITU da seguinte forma: entre 75 e 78 significa um alerta para o produtor e providências devem ser tomadas a fim de evitar perdas na produção; entre 79 e 84 significa perigo, principalmente para rebanhos confinados, e medidas de segurança devem ser tomadas para evitar perdas desastrosas; e, ao chegar ou ultrapassar o índice de 85, providências urgentes devem ser tomadas, para evitar mortes dos animais.

O Livestock Weather Safety Index (LWSI) do Livestock Conservation Institute/US classificou os valores de ITU em categorias de riscos para vacas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos valores do índice de temperatura e umidade (ITU) para animais domésticos, descrita por *Livestock Weather Safety Index (LWSI)*

Valor de ITU	Categorias LWSI
< 70	Normal
71-78	Alerta
79-83	Perigo
> 83	Emergência

Fonte: Du Preez et al., 1990

Segundo Hahn (1985), a classificação do ITU, conforme o LWSI, seria válida para animais domésticos em geral e não apenas para vacas. Porém, Silva (2000) ressalta que essa classificação do ITU foi feita com base em animais adaptados às condições climáticas presentes nos Estados Unidos da América.

A relação entre o declínio da produção de leite com o aumento do ITU foi estabelecida há mais de 40 anos, com dados obtidos sob condições controladas, com temperatura do ar constante, baixa velocidade do vento e sem o efeito da radiação solar. Segundo Johnson (1965), estes dados foram aplicados em condições de campo em diferentes regiões climáticas dos Estados Unidos e de modo geral confirmaram os resultados gerados em ambiente controlado.

No entanto, trabalhos norte americanos mais recentes (Whittier, 1993; Berman, 2005), não sustentam de forma clara as relações entre ITU e produção de leite. O suporte para tais pesquisas está no fato de que as respostas animais também são influenciadas pela velocidade do ar, radiação solar, além de outros fatores como a postura e densidade de animais, a produção de calor metabólico e a cobertura da capa (pelame e pele).

Embora seja o índice mais usado pelos pesquisadores, o ITU tem a limitação de levar em conta somente a temperatura e a umidade relativa do ar, embora a radiação térmica seja um dos fatores mais importantes para o conforto de animais em campo aberto. Silva (2000) observou que, se o ITU for usado para avaliar um determinado ambiente, não mostrará quaisquer diferenças para animais mantidos no interior de abrigos, à sombra e sob o sol direto.

Estudos recentes, realizados nas condições nacionais com animais mantidos em seu ambiente natural de criação, não evidenciaram as relações entre ITU e respostas fisiológicas. Silva et al. (2006), compararam as relações entre respostas fisiológicas de 359 vacas Holandesas e vários índices de conforto. Os autores concluíram que o ITU foi o índice que apresentou pior resultado comparado aos outros em estudo. Martello et al. (2004) analisaram as respostas fisiológicas de vacas Holandesas e relataram valores normais para frequência respiratória e temperatura retal em ambiente com ITU igual a 77.

Azevedo et al. (2005) trabalharam com 5 vacas de cada um dos diferentes graus genéticos, 1/2, 3/4 e 7/8 Holandes-Zebú, e estimaram valores críticos superiores para ITU iguais a 79, 77 e 76, respectivamente para os diferentes graus genéticos. Tais estimativas foram baseadas na resposta de frequência respiratória. Matarazzo (2004) avaliou vacas Holandesas de um rebanho comercial na região

Sudeste do Brasil e observou que, mesmo sob ambiente com ITU acima de 75, as variáveis temperatura retal e frequência respiratória não indicaram presença de estresse.

A vulnerabilidade de vacas de leite ao estresse térmico é bem evidenciada, promovendo prejuízos na produção, reprodução e bem-estar dos animais (Collier et al., 2006). No entanto, para as condições nacionais, as relações do ITU com as características desempenho animal e também os níveis críticos desse índice que indique que o animal esteja em estresse térmico ainda não está claro.

3.2.2 Índice de globo e umidade (ITGU)

Em climas tropicais as trocas térmicas por radiação entre os animais e seu meio assumem grande importância na determinação do conforto animal. Para a quantificação da radiação trocada pelo animal, supõe-se que este esteja no centro de um envoltório esférico infinitamente grande, cuja superfície interna seja um corpo negro mantido a uma temperatura conhecida, como a temperatura radiante média (T_{rm}). A T_{rm} é a temperatura média do conjunto de todas as superfícies ao redor do animal em um dado local e a quantidade de energia trocada entre o animal e as superfícies é denominada carga térmica radiante (CTR). A CTR é a quantidade total de energia térmica trocada por um indivíduo através de radiação com o meio ambiente (Silva, 2000).

De acordo com Kelly e Bond (1971), sob condições de clima tropical, o animal pode estar exposto a elevadas CTR, resultando em alto nível de desconforto. Nesse caso, somente o ITU não reflete o ambiente térmico e, portanto, não seria o mais adequado para avaliar o desconforto e perdas subsequentes na produção sob essas condições.

O globo negro é um dos instrumentos para determinação da CTR e da Trm, cuja temperatura indicada provê uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante procedente do meio ambiente em todas as direções possíveis.

Considerando a importância da temperatura de globo negro no conforto de animais, BUFFINGTON et al. (1981) propuseram uma modificação do ITU e desenvolveram o índice de globo e umidade, ITGU (Black Globe-Humidity Index, BGHI). O ITGU foi criado inserindo a TG no lugar da TBS na equação do ITU, conforme descrita no item 4.4.1.

Buffington et al. (1981) observaram os coeficientes de determinação (R^2) dos dois índices (ITU e ITGU) em relação às respostas fisiológicas das vacas. Concluíram que o ITGU foi um indicador mais acurado do conforto e da produção animal do que o ITU, sob condições de estresse calórico e para animais expostos à radiação solar. Porém, se os animais eram submetidos à condição de pouca ou moderada radiação térmica, o ITU e o ITGU apresentavam a mesma eficiência como indicadores do conforto animal.

Nas condições brasileiras, os sistemas de criação para produção de leite são geralmente caracterizados por instalações semi-abertas, as quais permitem que o animal tenha acesso a uma outra área, normalmente descoberta. Em razão disso, o ITGU tem sido bastante utilizado nas pesquisas nacionais (Silva, 1989; Roma Jr., 2001; Martello et al., 2004).

3.3 Aspectos fisiológicos e produtivos

Esmay (1982) estabeleceu que a quantidade de calor trocada entre o animal e sua circunvizinhança depende das condições termodinâmicas do ambiente. Se a temperatura é maior ou menor do que a faixa estabelecida como ótima de conforto, o sistema termorregulador é ativado para manter o equilíbrio térmico entre o animal e

o meio. Apesar de ser o meio natural de controle da temperatura do organismo, a termorregulação representa um esforço extra e, conseqüentemente, uma alteração na produtividade. A manutenção da homeotermia é prioridade para os animais e impera sobre as funções produtivas, como produção de leite e reprodução (Coppock e West, 1986).

A estratégia de termorregulação dos mamíferos é manter a temperatura corporal interna maior do que a temperatura ambiente para permitir um fluxo de calor entre o organismo e o ambiente externo (Collier et al., 2006). O fluxo ocorre por meio de quatro vias básicas de troca de calor: condução, convecção, radiação e evaporação. As três primeiras referem-se às formas sensíveis de transferência de calor e necessitam de um gradiente térmico para seu funcionamento. Dentro da zona de conforto essas vias correspondem a 75% das perdas de calor. Quando a temperatura ambiente se eleva, aproximando-se do valor da temperatura corporal, o gradiente de temperatura torna-se pequeno e reduz a eficiência das perdas de calor pela forma sensível, acionando o mecanismo de transferência de calor por processos evaporativos.

A evaporação refere-se à forma latente de transferência de calor, cujo fluxo é causado por gradiente de pressão de vapor, sendo que esta indica a quantidade de vapor de água contido em dado volume de ar (Baêta e Souza, 1997). Em situações de temperaturas ambientais elevadas (acima da zona de conforto) este mecanismo de transferência de calor torna-se a via principal para dissipação do calor, correspondendo a 80% das perdas de calor nessa situação. Segundo Rosenberg et al. (1983), a forma latente de troca de calor constitui o principal mecanismo de dissipação de calor (energia) em ambientes quentes. A respiração e sudação são as formas evaporativas utilizadas por esse mecanismo de transferência de calor.

Nos processos de troca de calor latente inicialmente ocorre movimentação de água no interior do corpo do animal até alcançar a epiderme, em taxa que depende do gradiente de pressão de vapor. A seguir ocorre a difusão do vapor de água para o ambiente a partir da pele e dos pulmões. A perda de calor ocorre na conversão para vapor, tanto do suor secretado pelas glândulas da pele quanto da umidade proveniente do trato respiratório (Curtis, 1983). Esse mecanismo justifica a importância da umidade relativa em ambientes caracterizados com elevada temperatura do ar. Quanto maior a umidade relativa, menor será o gradiente de pressão de vapor e isso irá reduzir a eficiência dos mecanismos evaporativos, diminuindo a evaporação de água pela pele e sistema respiratório (Sota, 1996).

A primeira resposta do animal ao estresse é o aumento da atividade dos mecanismos para perda de calor (TR, FR, TPE), enquanto simultaneamente reduz as funções de produção de calor (ingestão de alimentos e produção de leite).

Os efeitos do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas dos animais têm sido bastante estudados (Baêta et al., 1997; Silva 2000; Portugal et al., 2000; West et al., 2003; Martello et al., 2004). O maior desafio para vacas de alta produção de leite criadas em climas quentes é dissipar a produção de calor dos processos metabólicos. Vacas com produção de 18,5 e 31,6kg/dia de leite produzem 27,3 e 48,5% mais calor, respectivamente, do que vacas secas (Purwanto et al., 1990).

Vacas submetidas a condições de estresse, seja por calor ou frio, alteram suas respostas no que diz respeito ao consumo de matéria seca (CMS), frequência respiratória (FR), temperatura retal (TR) e temperatura da superfície corporal (TPE), entre outras variáveis relacionadas com a termorregulação.

O primeiro mecanismo acionado para perda de calor é a vasodilatação, o segundo é a sudação e a seguir a respiração, sendo este último o primeiro sinal

visível de animais submetidos ao estresse térmico. O aumento ou a diminuição da frequência respiratória está na dependência da intensidade e da duração do estresse a que estão submetidos os animais.

A frequência respiratória depende, principalmente, do período do dia, da temperatura ambiente e do nível de produção animal. Os valores normais de frequência para bovinos leiteiros adultos da raça holandesa situam-se entre 10 e 40 mov.min⁻¹ (Rodriguez, 1948 e Kelly, 1967). Segundo Hanh et al. (1997), entretanto, a frequência de 60 mov.min⁻¹ indica animais com ausência de estresse térmico ou que este é mínimo. Mas, se ultrapassam 120 mov.min⁻¹, refletem carga excessiva de calor e, acima de 160 mov.min⁻¹, medidas de emergência devem ser tomadas, como, por exemplo, molhar os animais. Stowell (2000) observou que 80 a 90 mov.min⁻¹ era uma clara indicação de que as vacas estariam submetidas ao estresse calórico.

O equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo pode ser inferido pela temperatura retal (TR). A medida da temperatura retal é usada freqüentemente como índice de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes (Silva, 2000). McDowell et al. (1958) realizaram uma revisão bibliográfica sobre o assunto e concluíram que a temperatura retal normal aceita para todas as raças bovinas é de 38,3°C, com alguma variação de acordo com a raça, idade, estágio de lactação, nível nutricional e estágio reprodutivo. Segundo Kolb (1987), a temperatura retal média para bovinos acima de um ano é de 38,5 ± 1,5°C. Esta temperatura é mantida mediante regulação cuidadosa do equilíbrio entre a formação de calor e sua liberação do organismo.

Bianca (1961), baseando-se principalmente pela resposta da temperatura retal, classificou os animais em categorias de estresse, conforme segue:

- estresse brando: mecanismos de termorregulação são eficientes para manter a temperatura corporal na faixa normal;
- estresse moderado: mecanismos de termorregulação intensificam-se e a temperatura corporal se estabiliza em uma faixa mais elevada do que a normal;
- estresse severo: mecanismos de termorregulação são ineficientes e a temperatura corporal aumenta continuamente;
- estresse excessivo: mecanismos de termorregulação são insuficientes, ocorre hipertermia acentuada e o animal morre.

A temperatura do núcleo corporal mantém-se bastante estável, não flutua rapidamente quando ocorrem as flutuações de temperaturas ambientais. Porém, ocorre variação de temperatura nas diferentes partes do organismo do animal, as quais são associadas a variações na quantidade de calor armazenado (Baêta e Souza, 1997).

Portanto, em razão das diferenças na atividade metabólica dos diversos tecidos, a temperatura varia de acordo com a região anatômica, evidenciando um gradiente térmico no organismo do animal (Silva, 2000). As regiões superficiais apresentam temperatura mais variável e mais sujeita às influências do ambiente externo.

Baccari (2001) relatou que, em temperaturas do ar amenas (estresse brando), os bovinos dissipam calor para o ambiente através da pele, utilizando os mecanismos de radiação, condução e convecção (formas sensíveis de transferência de calor). A pele protege o organismo do animal do calor ou do frio e sua temperatura varia de acordo com as condições ambientais de temperatura, umidade, radiação solar e velocidade do vento, bem como de fatores fisiológicos como

vasodilatação e sudação. A troca de calor através da pele é dependente do gradiente térmico entre esta e o ar.

A capa externa das vacas, constituída pelo pelame tem importância fundamental para as trocas térmicas entre o organismo e o ambiente. Nas regiões tropicais, o pelame dos animais assume funções mais ligadas à proteção mecânica da epiderme e à proteção contra a radiação solar. As relações entre o pelame e a termorregulação têm sido bem demonstradas por meio de experimentos de tosa (Silva, 2000).

A temperatura do pelame (TPE) é uma medida de fácil obtenção, desde que se tenha o revolver de infravermelho, além disso, pode ser registrada à distância sem precisar conter o animal. De acordo com Collier et al. (2006) o uso do revolver de infravermelho tem sido uma alternativa de baixo custo para estimar a temperatura do pelame dos animais. Segundo estes autores, se a temperatura do pelame for abaixo de 35°C, o gradiente de temperatura entre o organismo (temperatura retal) e o pelame é amplo o suficiente para que o animal use efetivamente as quatro vias de trocas de calor.

A análise do conforto e do bem-estar animal deve ser realizada continuamente, uma vez que esta é a resposta do animal ao ambiente a que ele está submetido. Essa análise pode auxiliar a avaliação da eficiência ou não do uso de eventuais recursos de climatização. Diante da necessidade de se avaliar constantemente o animal, com relação ao nível de conforto que apresenta, torna-se importante a investigação de outras formas de monitoramento da condição corporal, em busca da facilidade de coleta destas medidas, inclusive por parte dos produtores. Igono et al. (1985), com o objetivo de reduzir o trabalho e o tempo para monitorar temperatura corporal dos animais, que geralmente são necessários com a medida

da TR, avaliaram a temperatura do leite como uma alternativa. Os autores reportaram correlação positiva entre temperatura do leite e temperatura retal. West et al. (2003), baseados em informações de trabalhos anteriores, consideraram que a temperatura do leite seria um bom indicador da temperatura corporal. Bitman et al. (1982) implantaram sensores térmicos nos tecidos secretores do úbere e observaram alta correlação ($r=0,99$) entre a TR e a temperatura do úbere. Em estudo das temperaturas corporais de diferentes pontos anatômicos de vacas em lactação alojadas em uma instalação do tipo *free-stall*, Martello et al. (2005) observaram correlações positivas entre as temperaturas da base da cauda (TCAU) ($r=0,49$) e da vulva (TVU) ($r=0,45$) com a temperatura retal (TR). Davis et al. (2003) utilizaram a resposta da temperatura timpânica para avaliar os efeitos do estresse por calor em animais confinados. Esses registros foram obtidos por meio de data logger, pela inserção de um fio com termopar no canal do ouvido, e fixado próximo à membrana do tímpano do animal.

Os decréscimos observados na produção de leite em vacas sob estresse pelo calor ocorrem em virtude dos efeitos envolvidos na regulação térmica, no balanço de energia e nas modificações endócrinas (Johnson, 1985). Todas as alterações no organismo do animal objetivam a redução da produção de calor. Nesse sentido, as vacas leiteiras, sob condições ambientais desconfortantes, tendem a reduzir consideravelmente o consumo de matéria seca, na tentativa de diminuir a taxa metabólica e conseqüentemente a produção de calor metabólico (Collier e Beede, 1985; Chandler, 1987).

3.4 Efeitos do ambiente climático sobre as respostas do animal

Vários trabalhos atestaram os efeitos negativos do estresse calórico sobre as respostas fisiológicas, principalmente sobre TR, FR e TPE, e também sobre a produção de leite (Lee, 1965; Beed et al., 1981; Damasceno et al., 1998).

No entanto, o impacto da carga térmica sobre as perdas na produção mostra grande variação deste efeito, variando de pouco a nenhum efeito em condições de exposição rápida de estresse, ou até a morte do animal em situação de exposição a extremo estresse térmico (Hahn, 1985; Brown-Brandl et al., 2003).

3.4.1 Efeito sobre as respostas fisiológicas

Estudos que confrontaram vacas em lactação com exposição ao sol contra animais totalmente sombreados, relataram redução na frequência respiratória e aumento na produção de leite para os animais sombreados (Johnson, 1962; Roman-Ponce et al, 1977; Collier et al, 1981). Em estudo comparativo de tolerância ao calor em novilhas das raças Gir, Pardo Suíço, Jersey, Guernsey e Holandesa, realizado em Minas Gerais, Chquilloff (1964) analisou a temperatura retal à sombra e ao sol, e concluiu que a elevação da temperatura do ar induziu, em todas as raças, aumento da temperatura retal.

Aguiar et al. (1996) trabalharam com vacas holandesas durante o verão e relataram que as variáveis fisiológicas, TR, FR e TPE, foram mais elevadas a tarde. Os autores observaram que a frequência respiratória relacionou-se com as condições ambientes, com a ocorrência de taquipnéia sob estresse brando. Baccari et al. (1979) constataram que a temperatura retal acompanhou a temperatura do ar até determinado horário e que, a partir de então, a temperatura retal continuou a subir, enquanto a temperatura do ar diminuía. Os autores concluíram que a temperatura retal guardou maior relação com a hora do dia do que com a

temperatura do ar. Baccari et al. (1984) observaram que a temperatura retal média da tarde é, em geral, mais elevada que a da manhã.

Todos esses trabalhos foram conduzidos durante o verão, e indicaram um comportamento padrão da TR durante esta estação, segundo o qual, no período da tarde, a TR foi sempre mais alta do que de manhã. Diferentemente, West et al. (2003) avaliaram a influência do ambiente climático no período do inverno sobre o desempenho de vacas Holandesas e concluíram que as condições climáticas neste período tiveram pouco efeito sobre o animal.

Mesmo em situação de conforto, a temperatura corporal do animal homeotérmico não se mantém constante, apresentando uma variação circadiana ou um ritmo diurno, influenciados por mudanças na sua atividade física e no nível de metabolismo (Stanier et al., 1984). Em ovinos sob ambiente controlado, Hahn et al. (1986) observaram um ritmo monofásico circadiano da temperatura corporal, com picos em torno da meia noite e valores mínimos meio-dia, enquanto Silva e Minomo (1995) verificaram que durante o verão o pico máximo de TR ocorreu às 17h.

Os ritmos circadianos de seis vacas Holandesas em câmara climática com temperatura constante de 16,7°C foram estudados por Bitmam et al. (1984). Quatro das seis vacas mostraram um padrão bifásico caracterizado por dois picos, com elevada TR da meia noite até início da manhã (8h) e das 13h até às 20h. As baixas TR ocorreram pela manhã, entre as 9h e 11h, e novamente à noite, das 21h até às 23h. Já Pires et al. (2002) estudaram o comportamento da TR de vacas Holandesas em lactação alojadas em instalação de *free-stall* com acesso livre a um solário, na região de Coronel Pacheco (MG/Brasil), durante três anos consecutivos nas estações do inverno e verão. Nesses animais o pico de TR foi observado no horário das 15h, com valor de 39,4°C, porém, diferente do trabalho de Bitmam et al (1984),

não houve redução deste valor até o horário das 21h (30,3°C). Esse padrão foi verificado tanto no verão quanto no inverno, cujas TBS médias foram 25,6°C e 19,0°C respectivamente. Nienaber et al. (1999) relataram que de forma geral, os animais de produção apresentam uma variação diária de temperatura corporal, tipicamente na forma de um ritmo monofásico, o qual pode ser alterado por fatores estressores como temperaturas do ar e eventos climáticos adversos.

Ressalta-se que, embora o aumento da TR ou da FR nos animais submetidos a TBS ou ITU elevados seja evidente, é importante avaliar se tal aumento afeta o desempenho produtivo do animal. Os ruminantes utilizam os mecanismos termorregulatórios justamente para aliviar o acúmulo de calor e, dependendo do nível do estresse, tais mecanismos podem ser eficientes a ponto de evitarem prejuízo à produção. Igono et al. (1985) observaram valores de TR de 39,1 e 38,6°C para vacas alojadas em ambientes com ITU de 75,9 e 73,9 respectivamente. Martello et al. (2004) trabalharam com rebanho nacional, na região de Pirassununga/SP durante o verão, e detectaram TR maiores no período da tarde do que na manhã. Porém os autores observaram que os valores de TR estavam dentro da faixa considerada normal para bovinos (38,5 a 39,3°C, segundo Kolb, 1987). Portanto, a análise do efeito do ambiente sobre as respostas do animal deve considerar, além dos valores de cada variável fisiológica, as faixas de variação normal para cada variável biológica.

A influência das variáveis ambientais sobre a resposta animal deve ser avaliada em função do ambiente diurno e também do ambiente noturno. Segundo West (2003) embora as combinações de temperatura do ar, umidade relativa e radiação solar promovam efeito sobre a carga de calor incidente no animal, fica evidente que com suficiente resfriamento noturno os animais toleram relativamente

as altas temperaturas do ar ocorridas no período diurno. Igono et al. (1992) reportou que apesar das elevadas temperaturas do ar durante o dia, um ambiente mais fresco (21°C) durante 3h a 6h minimizaria o declínio da produção de leite. Lough et al. (1999) avaliaram vacas Holandesas em ambiente controlado, com TBS de 39°C durante o dia (da 8h até às 18h) e TBS de 20°C durante a noite (após as 18h30min). Os autores relataram que, embora a TR e a FR atingissem níveis estressantes (41,3°C e 110 mov.min⁻¹) ao final do dia (18h), no início da manhã seguinte estes valores estavam na faixa normal, sendo 38,6°C e 46 mov.min⁻¹, para TR e FR respectivamente. Foram necessárias aproximadamente 3h, após as 18h30min, para que a TR retornasse ao normal, e 90min, após as 18h30min, para que a FR retornasse ao normal. Frazzi et al. (2003) consideraram que a temperatura do ar, durante as horas quentes do dia, poderia exceder a capacidade de dissipação de calor dos animais. Porém, em determinadas condições, o período mais fresco (noturno, por exemplo) poderia favorecer a dissipação do calor ganho durante o dia e, neste caso, a produção de leite seria muito pouco afetada.

As correlações entre as variáveis fisiológicas, e entre elas e os fatores ambientais, também têm sido estudadas. Umphrey et al. (2001), na região da Flórida (EUA) correlacionaram a FR, a TR e a TPE entre si. Os autores observaram correlação negativa entre FR e TR de vacas Holandesas alojadas em *tie-stall*, indicando que o aumento da FR estaria associado à redução do calor interno do animal (menor TR). Os mesmos autores identificaram uma baixa repetibilidade para a medida da TPE e também uma correlação próxima de zero entre TR e TPE, sugerindo que TPE não seria um bom indicativo da temperatura corpórea do animal. Contrariamente, Morais et al. (2004) observaram correlações positivas entre TR e FR para animais que recebiam radiação solar direta e concluíram que, nos períodos

de maior estresse calórico, a TR aumentou e provocou taquipnéia. Os autores também observaram correlações positivas entre ITGU e FR e entre ITGU e TR.

3.4.2 Efeito sobre as respostas produtivas

Os efeitos deletérios do ambiente climático sobre a produção de leite são bastante conhecidos. Prover sombras parcialmente ou totalmente reduz a incidência de radiação solar sobre os animais e melhora seu desempenho na produção de leite (Hahn, 1985; Damasceno et al., 1998; Martello et al., 2004). Porém, os efeitos do ambiente sobre o desempenho animal não podem ser analisados por meio de variáveis isoladas, somente pela TBS ou pela TG, por exemplo. Kibler & Brody (1950) demonstraram que, conforme a TBS aumentava ou diminuía na presença de uma alta ou baixa UR, os mecanismos de termorregulação usados pelo animal se alternavam entre processos não evaporativos (convecção, condução e radiação) e processos evaporativos (sudação e ofego). West et al. (2003) observaram que a associação dos elementos climáticos seria mais crítica para o conforto e para o desempenho do animal, do que o elemento isolado, como, por exemplo, somente a TBS.

Os efeitos do ambiente climático sobre o desempenho animal também podem ser evidenciados alguns dias depois do agente estressor ter ocorrido. Linvill & Pardue (1992) encontraram correlação significativa entre produção de leite e o ITU de quatro dias anteriores à medida da produção de leite. West et al (2003), avaliaram os efeitos do ambiente estressante sobre o desempenho de vacas lactantes. Eles concluíram que o ITU médio de dois dias prévios à medida da produção de leite teve grande influência na produção, enquanto o efeito de dois dias prévios da TBS teve efeito sobre a ingestão de matéria seca. Holter et al. (1996) observaram maior correlação entre o ITU mínimo e a IMS, do que entre o ITU

máximo e a IMS. O efeito do ambiente de dias prévios sobre a produção de leite tem sustentação no fato de que a redução do consumo, que afeta diretamente a produção, é uma resposta ao estresse por calor e há um atraso entre o efeito desta suposta redução de consumo e a manifestação da produção de leite.

Em razão dos prejuízos causados na produção pelos efeitos negativos do ambiente climático, alguns trabalhos têm sido realizados na tentativa de estimar tais perdas, ou prever a ocorrência destes efeitos sobre os animais (Johnson, 1985; Baêta et al., 1987). Um exemplo mais recente é o trabalho de Frazzi et al. (2003) que estimaram os efeitos das variáveis ambientais sobre a variação na produção de leite. Os autores trabalharam com rebanhos comerciais localizados na Itália durante dois anos consecutivos com vacas de produção de 7.500 a 10.000kg de leite/ano. O melhor modelo selecionado por meio da regressão múltipla incluiu a temperatura mínima diária e seus quadrados, com um coeficiente de correlação (R^2) de 0,41.

O trabalho de Azevedo et al. (2005) teve como objetivo estimar valores críticos do ITU para vacas leiteiras de diferentes graus genéticos, com produção média superior a 10kg/vaca/dia. As vacas foram avaliadas durante dois invernos e dois verões nas instalações da Embrapa Gado de Leite, no município de Coronel Pacheco/MG. As análises de regressão múltipla incluíram as variáveis TR, FR e TPE e as variáveis climáticas. Os melhores modelos que explicaram os efeitos do ITU sobre as variáveis fisiológicas apresentaram R^2 iguais a 43,2; 62,1 e 31,2 para TR, FR e TPE.

3.5 Influência das instalações sobre o conforto animal

No Brasil as instalações para gado de leite são do tipo *free-stall* ou *tie-stall*. O *free-stall* é mais comumente encontrado, principalmente na região Sudeste do Brasil, sendo caracterizado pela presença de baias individuais com acesso livre dos

animais. As baias são providas de cama, com materiais diversos, podendo ser areia, casca de arroz, maravalha, entre outras.

Uma instalação bem projetada proverá um ambiente adequado para as vacas, permitindo que elas expressem todo o potencial de produção (LIFE series, 1995). O projeto ideal deverá considerar as dimensões de cocho, área de descanso (baias), área de movimentação, alocação dos bebedouros e as aberturas para ventilação. Adicionalmente os tipos de materiais construtivos, sobretudo os empregados na cobertura e piso, poderão contribuir para a melhor qualidade do ambiente. De acordo com West (2003), no sudoeste dos EUA, as modificações do ambiente para melhorar o conforto de vacas de leite têm dado ênfase nos projetos construtivos dos *free-stalls*. Instalações com telhados com elevada inclinação, geralmente com aberturas no cume, promovem uma boa ventilação e auxiliam a saída do ar quente interno por favorecer o efeito “sifão”, com a transferência do ar quente para cima.

O tipo de material de cobertura pode favorecer o isolamento térmico da instalação. Buckling et al. (1993) verificou redução de 2 a 3°C na temperatura interna de uma instalação totalmente fechada, sem ventilação, usando telhas com cobertura reflectiva. Porém, os autores ressaltaram que esta mesma cobertura usada em instalação com boa ventilação não trouxe benefícios à temperatura interna ou ao desempenho dos animais. A explicação para isso é que a altura do pé-direito, associada com o tipo de cobertura e aberturas laterais, pode promover benefícios ao ambiente interno das instalações. Recursos como pintura externa na telha ou uso de algum tipo de isolante térmico incorporado ao material têm sido estudados como alternativas para a redução do estresse térmico em construções rurais (Savastano Jr. 2001). Diversos tipos de coberturas para instalações rurais têm sido estudados

visando suas influências no conforto térmico do ambiente e no desempenho do animal (Sleutjes e Lizieiri, 1991; Roma Jr. et al., 2006).

As instalações rurais localizadas em regiões de clima tropical devem considerar a elevada temperatura do ar e radiação solar ocorridas durante o dia e prover o adequado isolamento destas variáveis para dentro da instalação. Por outro lado, a associação de alta umidade relativa (dias chuvosos) exige que as instalações apresentem boa ventilação para favorecer o conforto do ambiente interno. Além do tipo de cobertura (telha), o tipo de piso e cama dentro da instalação pode contribuir para um melhor ou pior ambiente interno, dependendo das características térmicas de cada um. Portanto, os estudos para determinação dos efeitos do ambiente sobre os animais, utilizando instalações comerciais, devem considerar os aspectos construtivos, procurando caracterizar os materiais utilizados naquela instalação.

3.6 Comentários adicionais

O estresse calórico evidenciado em vacas de leite é causado por uma série de combinações entre os vários elementos climáticos, e ainda pela associação destas combinações com os fatores genéticos, nutricionais e comportamentais dos animais. A caracterização de um ambiente quanto ao estresse animal vai além da determinação da faixa de temperatura do ar e da zona de conforto térmico dos animais. Nesse sentido, vários índices de conforto térmico têm sido desenvolvidos ou estudados. Porém, a maioria desses índices considera o efeito de uma ou mais respostas fisiológicas dos animais a uma dada condição do ambiente físico. Estudos anteriores (Linvill e Pardue, 1992; West et al., 2003) evidenciaram que as respostas fisiológicas dos animais podem ser influenciadas pelo ambiente climático ocorrido até quatro dias antes da referida resposta fisiológica. Além disso, existem grandes diferenças entre indivíduos da mesma espécie, o que dificulta determinar a exata

combinação dos elementos climáticos na qual o estresse térmico se inicia. Portanto, a necessidade cada vez maior de se estabelecerem condições adequadas para as vacas de leite expressarem seu potencial de produção sob condições de clima quente, como é o caso do Brasil, exige estudos das relações ambiente-animal, específicas para as condições do rebanho e do ambiente brasileiro.

Destaca-se a importância de melhores descrições sobre os efeitos sazonais do ambiente na fisiologia animal, que permitam estimar com precisão tais efeitos. O entendimento da interação ambiente-animal poderá auxiliar as técnicas de manejo e as práticas de resfriamento do ambiente, contribuindo para minimizar as perdas na produção.

Existe uma grande variação do microclima presente dentro de uma instalação, o que varia em razão dos materiais construtivos empregados, como tipo de cobertura, piso, cama, além do tipo de equipamentos climáticos (ventiladores e aspersores, por exemplo) e dos dimensionamentos adotados (pé-direito e área disponível por animal).

Enquanto os estudos em ambientes controlados (câmara climática) trazem informações precisas sobre as respostas animais, eles não consideram a radiação solar, o vento e a interação do animal com o ambiente natural. Para avaliação das respostas dos animais ao ambiente, torna-se fundamental a consideração dos aspectos envolvidos no ambiente natural e da interação destes aspectos com os animais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e instalações

O estudo foi realizado no Setor de Bovinocultura de Leite da Prefeitura do Campus Administrativo de Pirassununga (PCAPS) da Universidade de São Paulo. O município de Pirassununga encontra-se na altitude média de 630 m e coordenadas 21°57' 02" de latitude sul e 47° 27' 50" de longitude oeste. O clima da região é do tipo Cwa de Köppen, tropical, sazonal, com duas estações bem definidas, verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro), com raras ocorrências de geada. A temperatura média anual é de 22,0°C e a pluviosidade média anual está em torno de 1360 mm (Savastano Jr., 2001).

A instalação utilizada era do tipo *free-stall*, coberto com telha ondulada tipo calhetão de fibrocimento (espessura de 8 mm) e estrutura de madeira, com pé-direito de 3,2 m, área coberta total de 200 m² (16 x 13 m, orientação sudeste-noroeste) e com piso com declividade de 10% (Figuras 1 e 2).

A construção é composta por 20 baias de madeira, com livre acesso aos animais e com cama de areia (Figura 3). Os animais também tinham acesso a piquete sem cobertura, adjacente ao *free-stall*, com área de 400 m² (Figura 4). A extensão de cocho é de 80 cm por animal. O piso da área interna do *free-stall* é de cimento rugoso (Figura 5).



Figura 1 – Vista externa do *free-stall*



Figura 2 – Vista interna do *free-stall*



Figura 3 – Baias do *free-stall* construídas com madeira e com cama de areia



Figura 4 – Vista do piquete adjacente ao *free-stall*



Figura 5 – Detalhe do piso de cimento rugoso

4.2 Animais

Foram utilizadas vacas da raça Holandesa preta e branca entre o segundo e o sétimo mês de lactação do rebanho leiteiro da PCAPS. O experimento foi conduzido em três fases, divididas de acordo com as estações climáticas, durante os anos de 2003 e 2004, a saber:

- Primavera: com duração de 27 dias e início em 3 de outubro de 2003, com 18 animais, dos quais 15 vacas pluríparas, com média de produção de 25 kg leite/dia e peso vivo médio de 580 kg e três primíparas, com produção média diária de 20 kg de leite e peso vivo médio de 450kg.

- Verão: com duração de 30 dias e início em 5 de março de 2004, com o uso de 18 vacas, das quais 14 pluríparas, com média de produção de 23 kg leite/dia e peso vivo médio de 570 kg, e quatro primíparas, com produção média diária de 18 kg de leite e peso vivo médio de 520 kg.

- Inverno: com duração de 31 dias e início em 13 de julho de 2004, com a utilização de 19 vacas, sendo 18 pluríparas, com média de produção de 22kg de leite/dia e peso vivo médio de 570 kg, e uma primípara, produção média diária de 19kg de leite e com peso de 600kg.

4.3 Alimentação

A alimentação foi fornecida diariamente, dividida em duas refeições, após a ordenha da manhã (7h) e anterior à da tarde (15h). A ração continha 76% de NDT e 18% de PB na matéria seca (MS), e era composta de silagem de milho (35% de MS), feno de tifton (88% de MS) e concentrado (92% de MS). A dieta foi balanceada para fornecer os mesmos níveis de NDT e PB em todas as fases do experimento, com variação apenas da matéria-prima do concentrado.

Para determinação do consumo médio de matéria seca por animal, ao final de cada fase (estação) e durante três dias consecutivos, foi medido o consumo médio do grupo de vacas. Foram pesadas as quantidades de silagem e concentrado fornecidos bem como as sobras, que era coletada e pesada no dia seguinte. Para calcular o consumo de MS, as matérias secas da silagem e do concentrado foram determinadas, assim como a matéria seca da sobra.

4.4 Instrumentação e coleta de dados

4.4.1 Dados ambientais

No *free-stall* foi instalado um *data-logger* no centro do abrigo à altura de 2,0 m do piso, pouco acima da altura da cabeça das vacas (Figuras 6 e 7). Esse equipamento registrou automaticamente a temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura do termômetro de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e

temperatura de ponto de orvalho (TPO), durante 24h por dia, com intervalos de 15min.



Figura 6 – *Data-logger* e globo negro utilizados para medidas ambientais



Figura 7 – Posição do *data-logger* e globo negro dentro do *free-stall*

A partir dos registros climáticos, foram calculados os índices de conforto térmico, ITU, ITGU (Buffington, 1985) referentes ao ambiente interno da instalação.

As fórmulas utilizadas para o cálculo foram:

$$ITU = TBS + 0,36To + 41,5 \dots \dots \dots (1)$$

$$ITGU = TG + 0,36To + 41,5 \dots \dots \dots (2)$$

Onde:

TBS = temperatura de bulbo seco (°C);

To = temperatura do ponto de orvalho (°C), e

TG = temperatura do termômetro de globo negro (°C).

Além dos parâmetros médios diurnos, médios noturnos, máximos e mínimos de cada variável do mesmo dia em que houve a coleta dos dados fisiológicos, também foram estudados os efeitos das variáveis climáticas do dia anterior ao das coletas de FR, TR, TPE e produção de leite.

4.4.2 Dados fisiológicos e produtivos

Foram coletados e medidos dados de temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), temperatura da superfície corporal (pelame) (TPE), temperatura da base interna da cauda (TCAU), temperatura da pele da vulva (TVU), a temperatura auricular (TAU) e também a produção de leite (PL). Todas as variáveis fisiológicas foram coletadas às 7h, 13h e 18h, diariamente para todos os animais.

A temperatura retal foi coletada manualmente, em todos os animais, nas três estações do ano, com termômetro clínico digital inserido no reto, com o devido cuidado para evitar o estresse dos animais (Figura 8).

A TPE foi medida por meio de termômetro de infravermelho, na região do dorso, em todos os animais, a uma distância de aproximadamente 2 metros, nas três estações do ano (Figura 9).



Figura 8 – Registro da temperatura retal



Figura 9 – Registro da temperatura do pelame

A TCAU, TVU e TAU foram coletadas utilizando um termômetro de infravermelho digital de ouvido, no inverno e verão. Para obtenção da TCAU, levantou-se a cauda do animal e encostou-se o termômetro na parte inferior (interna) na base da cauda (Figura 10). A TVU foi medida na região da pele que circunda a

vulva (Figura 11) e a TAU com a inserção do termômetro na cavidade auricular (Figura 12).



Figura 10 – Registro da temperatura da base da cauda



Figura 11 – Mensuração da temperatura da vulva



Figura 12 – Mensuração da temperatura auricular

Para a medida de frequência respiratória registrarm-se, diariamente, em todas as estações do ano, os movimentos respiratórios (flanco), contados a cada 15s, e posteriormente calculada a FR por minuto.

Os animais foram ordenhados mecanicamente em uma sala de ordenha do tipo fosso, com capacidade para oito animais simultaneamente, onde a produção de leite foi medida individual e diariamente nas três estações do ano.

4.5 Análise estatística

Os efeitos das estações do ano e das variáveis fisiológicas e ambientais sobre a produção de leite foram avaliados por análise de variância, através do procedimento MIXED do software SAS[®] (SAS Institute Inc., Cary, NC). Para verificar a influência do estágio de lactação sobre as variáveis fisiológicas e a produção de leite, as vacas foram divididas em três classes, segundo os seguintes critérios: i) 30 a 90 dias de lactação, ii) 91 a 150 dias de lactação, iii) 151 a 210 dias de lactação.

As variáveis fisiológicas e a produção de leite foram analisadas como medidas repetidas no tempo (Crowder & Hand, 1990), utilizando animal como efeito

aleatório. As estruturas de (co)variâncias foram modeladas, sendo aplicada a estrutura de simetria composta (*compound simetry*), em função do melhor ajuste aos dados. As médias foram calculadas pelo método dos quadrados mínimos (LSMEANS) do *software SAS*[®].

As correlações simples entre os dados climáticos e as respostas fisiológicas foram calculadas utilizando as médias diárias de cada variável envolvida, para cada uma das estações estudadas, através do procedimento CORR do *software SAS*[®].

Para avaliação do ritmo diário das variáveis fisiológicas (FR, TR, TPE, TAU, TVU e TCAU) foram realizadas regressões dessas características em função do horário da avaliação (7, 14 e 18h), testando efeitos lineares e quadráticos.

Na busca de melhores entendimentos entre as relações de causa-efeito entre os diferentes grupos de variáveis (fisiológicas e ambientais), foi realizada uma análise multivariada para obtenção de estimativas das correlações canônicas. Essa técnica permite identificar, entre as “p” variáveis de um grupo (e.g. variáveis fisiológicas), quais estariam mais relacionadas com as “q” variáveis de um outro grupo (e.g. variáveis ambientais). Essa estatística identifica as associações entre dois conjuntos de variáveis, sumarizando-as em um valor único. Para a realização desta análise foi considerado todo o conjunto de dados (três estações), buscando captar o maior efeito dessas correlações em função de maiores flutuações das variáveis envolvidas, entre as diferentes estações do ano. O conjunto de dados foi agrupado de forma que as variáveis climáticas fossem correspondentes aos mesmos horários de coleta das variáveis fisiológicas. Para todas as análises de correlações canônicas, a proporção da variação acumulada nos dois primeiros pares canônicos (autovalores), foi sempre superior a 80%. Essas análises foram realizadas por meio do procedimento CANCORR *software SAS*[®].

A estimativa de um modelo para classificação dos níveis de estresse foi feita mediante a utilização de todo o conjunto de dados (três estações). Os animais foram agrupados em três classes de FR e três classes de TPE, totalizando nove classes de FR-TPE, sendo atribuído um nível de estresse para cada classe. Os intervalos de classe para TPE foram determinados com base na amplitude da variável dentro do conjunto de dados e a construção das classes da FR foram baseadas em referências fisiológicas de trabalhos anteriores (Kelly, 1967 e Hanh et al., 1997). As variáveis que mais se adequaram ao modelo foram selecionadas pelo método *stepwise* do procedimento REG do SAS®.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ambiente climático

Na Tabela 2, estão descritos os parâmetros das variáveis climáticas registradas durante o experimento dentro do *free-stall*. As médias diárias dos índices de conforto térmico (ITU e ITGU, 73 para ambos) da primavera e do verão caracterizaram, de acordo com os dados da literatura, ambientes potencialmente estressantes para vacas leiteiras da raça Holandesa. De acordo com Johnson (1987) o ITU acima de 72 implicaria em redução de produção de leite. No entanto, a caracterização do ambiente por meio da TBS média diária indicou um ambiente sem estresse térmico, sendo 26, 25 e 19°C para primavera, verão e inverno, respectivamente. Baêta e Souza (1997) consideraram estressante, para vacas Holandesas, temperaturas acima de 27°C, porém os autores ressaltaram que os valores de TBS poderiam variar em razão da adaptação do animal ao calor, do tempo de exposição ao estresse e do nível de produção.

Neste estudo as temperaturas máximas foram muito acima da temperatura de conforto durante a primavera e o verão (38 e 37°C, respectivamente). As temperaturas mínimas de TBS e TG, durante a primavera e o verão, foram semelhantes (16°C), enquanto os valores de UR foram mais elevados durante o verão (Tabela 2).

No inverno, os valores de TBS, ITU e ITGU médios estiveram dentro da faixa de conforto térmico. No entanto, os valores máximos dessas variáveis estiveram acima da faixa de conforto.

Tabela 2 – Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos de temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) nas diferentes estações do ano estudadas.

Fase	Parâmetros	Variáveis				
		TBS (°C)	TG (°C)	UR (%)	ITU	ITGU
Primavera	Média	26	26	50	73	73
	Desvio padrão	5	5	22	5	5
	Mínimo	16	16	24	61	61
	Máximo	38	37	95	84	84
Verão	Média	25	25	67	73	73
	Desvio padrão	5	5	19	5	6
	Mínimo	16	16	28	62	63
	Máximo	37	38	99	86	86
Inverno	Média	19	19	58	64	64
	Desvio padrão	7	7	23	8	8
	Mínimo	5	4	24	48	47
	Máximo	35	36	95	81	81

Ao analisar os valores diurnos e noturnos das variáveis climáticas (Tabela 3), os valores diurnos de TBS, TG, ITU e ITGU foram semelhantes na primavera e no verão, com menores valores durante o inverno ($p < 0,01$). A TBS e a TG médias diurnas foram 4°C menores no inverno comparadas ao verão e à primavera. Os valores diurnos da TBS, durante a primavera e o verão (31°C para ambos), são considerados estressantes para vacas Holandesas, enquanto o valor médio de TBS no inverno (27°C) está no limite crítico de conforto.

Os valores de ITU médio diurno na primavera, no verão e no inverno foram iguais a 78, 79 e 72, respectivamente. Johnson et al. (1980) relataram que ITU a partir de 72 reduziu a produção de leite e que os efeitos indesejáveis eram maiores para ITU acima de 76. Portanto, no período diurno, durante a primavera e o verão, as vacas foram expostas a condições de estresse dentro do *free-stall*, enquanto, durante o inverno, as condições diurnas do ambiente interno estiveram no limite da faixa de conforto.

A UR diurna atingiu seu maior valor durante o verão comparado com a primavera e o inverno, o que já era esperado em razão da maior incidência de chuvas durante o verão. Não houve diferença entre a UR média da primavera e do inverno.

Tabela 3 – Médias e desvios-padrões diurnos e noturnos de temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).

Variáveis	Parâmetros	Diurno			Noturno		
		Primavera	Verão	Inverno	Primavera	Verão	Inverno
TBS (°C)	Média	31 ^a	31 ^a	27 ^b	24 ^A	22 ^B	16 ^C
	Desvio padrão	4	3	4	4	3	5
TG (°C)	Média	31 ^a	31 ^a	27 ^b	24 ^A	22 ^B	16 ^C
	Desvio padrão	4	3	5	4	3	5
UR (%)	Média	36 ^b	47 ^a	36 ^b	57 ^C	77 ^A	70 ^B
	Desvio padrão	14	13	12	21	13	19
ITU	Média	78 ^a	79 ^a	72 ^b	70 ^A	70 ^A	61 ^B
	Desvio padrão	4	3	5	4	4	6
ITGU	Média	78 ^a	79 ^a	72 ^b	70 ^A	70 ^A	61 ^B
	Desvio padrão	3	4	5	4	4	6

^{a,b,c} Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem ($p < 0,01$) entre si.

^{A,B,C} Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem ($p < 0,01$) entre si.

No período noturno, foram observadas maiores médias ($p < 0,01$) de TBS e TG durante a primavera (24°C para ambas), seguidas do verão (22°C para ambas) e inverno (16°C para ambas). A UR foi maior ($p < 0,01$) durante o verão (77%), seguida do inverno (70%) e da primavera (57%). O maior valor de TBS e TG durante a primavera não implicou maior valor de ITU e ITGU para essa estação, em comparação ao verão. Isso indica que a maior UR, durante o verão, contribuiu para o maior valor dos índices nesta estação. Durante o período noturno, os valores médios de TBS, TG e ITU não indicaram condição de estresse para vacas Holandesas em nenhuma das três estações avaliadas.

Uma análise mais geral do ambiente das três estações do ano indica que a maior diferenciação entre o período da primavera e do verão, seja noturno ou diurno, ocorreu em decorrência dos valores de UR, que estiveram sempre mais elevados no

verão. O ambiente noturno ou diurno não foi diferenciado pelas temperaturas do ar ou de globo negro, sendo que TG e TBS foram semelhantes entre si. Portanto, a temperatura de globo negro, obtida dentro do *free-stall*, não diferenciou o ambiente térmico ao ser comparada à temperatura do ar, nas três estações estudadas.

5.2 Efeito do ambiente climático sobre as variáveis fisiológicas

5.2.1 Variação sazonal das variáveis fisiológicas

A variação sazonal das variáveis fisiológicas foi analisada de acordo com as médias de FR, TPE e TR em cada estação do ano (Tabela 4). Valores de FR, TPE e TR no inverno ($30\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, $30,9^{\circ}\text{C}$ e $37,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente) foram menores ($p<0,01$) do que os da primavera ($46\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, $33,7^{\circ}\text{C}$ e $38,3^{\circ}\text{C}$ para FR, TPE e TR respectivamente) e verão. No verão, a TR ($38,6^{\circ}\text{C}$) e a FR ($55\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$) foram maiores ($p<0,01$) em relação à primavera, enquanto a TPE foi semelhante nestas duas estações. Esses resultados são coerentes com os dados ambientais, uma vez que os valores médios de TBS e ITU indicaram a primavera e o verão mais estressantes do que o inverno.

De acordo com esses resultados, é possível observar, de forma bem definida, a variação sazonal na TR, FR e TPE, que indica valores maiores para estas variáveis nos períodos mais quentes do ano (primavera e verão), comparados com período de ambiente térmico mais ameno.

Tabela 4 – Médias, desvios-padrões, mínimos e máximos de frequência respiratória (FR), temperatura do pelame (TPE) e temperatura retal (TR) nas diferentes estações do ano.

Fase	Parâmetros	Variáveis		
		FR (mov.min ⁻¹)	TPE (°C)	TR (°C)
Primavera	Média	46 ^b	33,7 ^a	38,3 ^b
	Desvio padrão	12,39	2,73	0,52
	Mínimo	24	21,3	36,6
	Máximo	88	42,7	40,3
Verão	Média	55 ^a	33,6 ^a	38,6 ^a
	Desvio padrão	16,05	2,28	0,64
	Mínimo	20	23,8	36,0
	Máximo	108	42,1	41,2
Inverno	Média	30 ^c	30,9 ^b	37,8 ^c
	Desvio padrão	8,82	3,37	0,73
	Mínimo	12	17,7	35,1
	Máximo	80	53,0	39,4

^{a,b,c} Médias seguidas de letras distintas na mesma coluna diferem ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey.

5.2.2 Ritmo diurno de TR, FR e TPE

Houve efeito de estação do ano para todas as variáveis fisiológicas ($p < 0,01$). Em virtude disso, o ritmo diurno das variáveis fisiológicas foi estudado separadamente em cada uma das estações do ano.

Foi observado um efeito quadrático ($p < 0,001$) para as três variáveis fisiológicas estudadas em relação à hora do dia em que foram realizadas as avaliações. As equações de regressão, que descrevem o comportamento das variáveis nos horários do dia, estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Equações de regressão para estimar as temperaturas retal (TR), frequência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE) em função da hora do dia

Característica	R ²	S _{x,y}	Intercepto	Hora	Hora * Hora
Primavera					
TR	0,33	0,43	36,9075	0,1623	-0,0038
FR	0,14	11,4	14,1897	4,6381	-0,1492
TPE	0,47	1,98	21,5650	1,7437	-0,0549
Verão					
TR	0,43	0,48	36,7662	0,2097	-0,0046
FR	0,06	15,5	21,1944	5,3467	-0,1894
TPE	0,58	1,47	18,6299	2,4104	-0,0858
Inverno					
TR	0,52	0,48	35,7571	0,2385	-0,0051
FR	0,30	7,38	3,4490	3,5896	-0,1031
TPE	0,50	2,37	14,5670	2,3844	-0,0768

$Y = a + bx + cx^2$, sendo:

Y = TR, FR e TPE

a = intercepto

b = coeficiente da hora (linear)

c = coeficiente hora*hora (quadrático)

x = hora da avaliação

S_{x,y} = Erro padrão da estimativa

5.2.2.1 Temperatura retal

A partir da equação de regressão obtida, foram estimados os valores de TR para os diferentes horários durante a primavera (Figura 13). As médias das TR observadas e estimadas variaram de 37,8 e 38,6°C. A variação da TBS nas horas do dia também está representada na Figura 13 e variaram de 21 a 31°C, sendo que a TBS mais elevada ocorreu às 13h.

Durante o verão, os valores estimados e observados da TR variaram de 38 a 39°C, enquanto a TBS variou entre 19 e 31°C, sendo mais elevada às 14h (Figura 14).

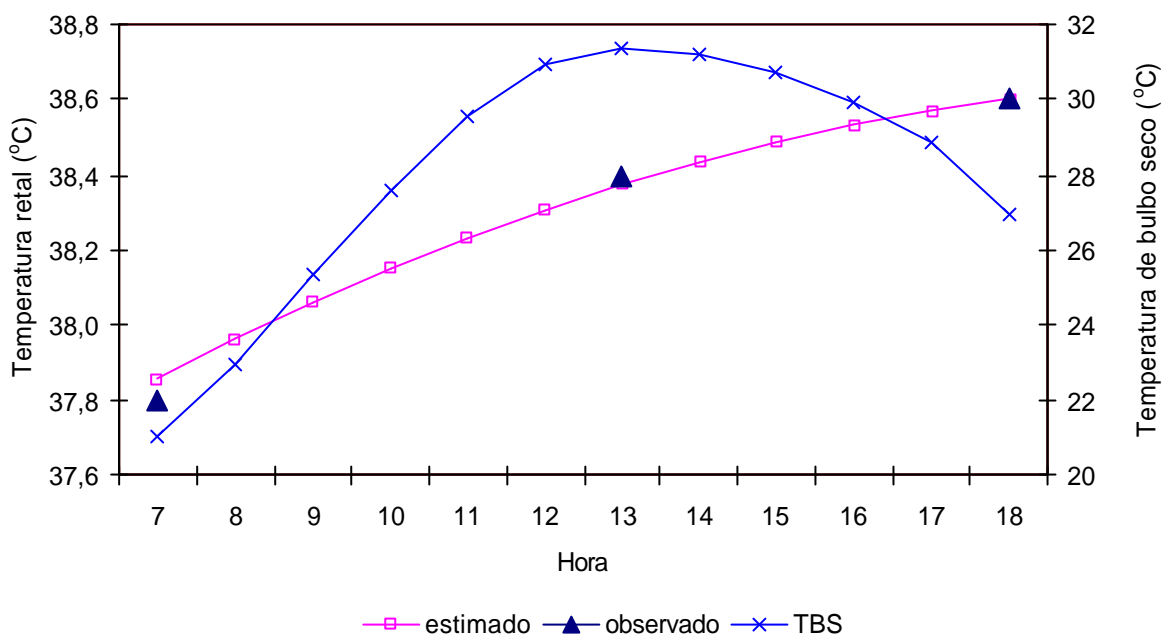


Figura 13 – Valores estimados e observados de temperatura retal e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera nos diferentes horários.

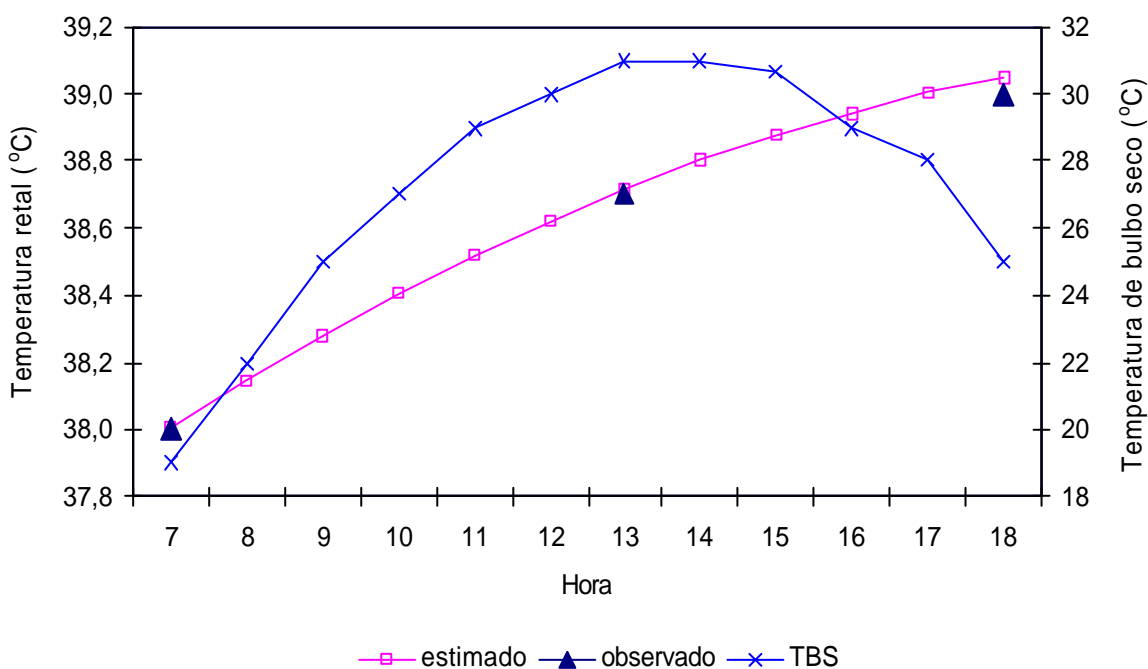


Figura 14 – Valores estimados e observados de temperatura retal e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão nos diferentes horários.

As médias estimadas e observadas de TR, durante o período do inverno, variaram de 37,2 a 38,4°C (Figura 15). A TBS variou entre 11 e 25°C e a temperatura mais elevada ocorreu às 14h.

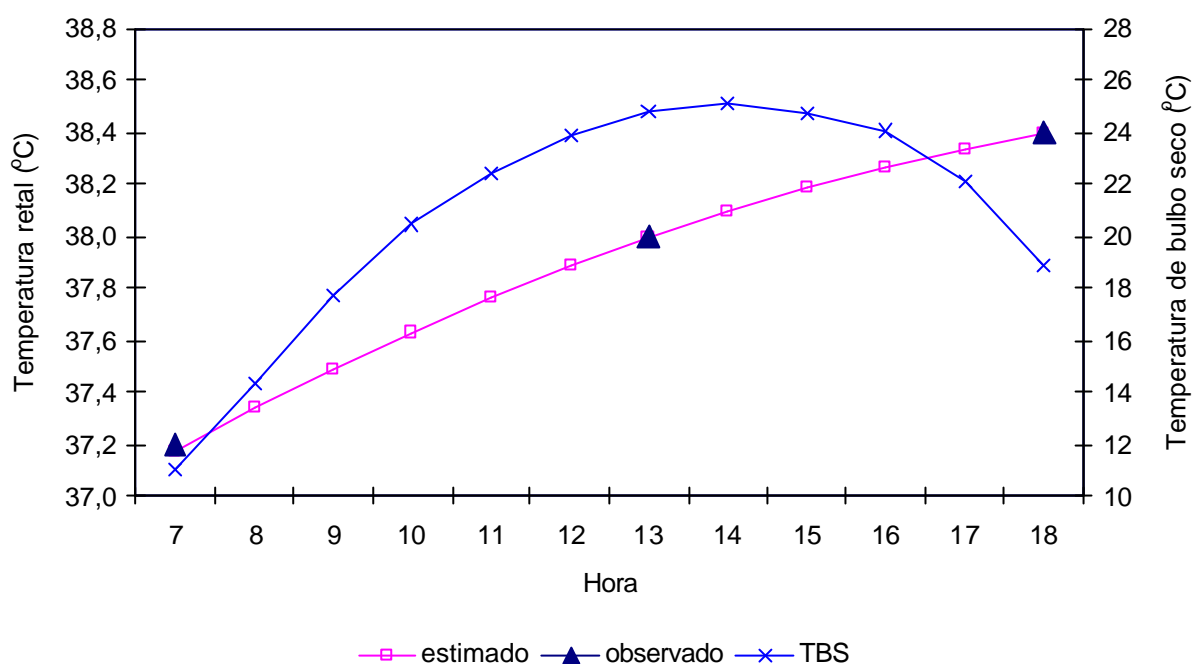


Figura 15 – Valores estimados e observados de temperatura retal durante o inverno nos diferentes horários.

Os ritmos diurnos da TR foram semelhantes nas três estações do ano. No período da manhã (7h) os valores absolutos de TR foram menores do que no final do dia (18h) em todas as estações. Durante a primavera e o verão, a TR situou-se numa faixa mais elevada em relação ao inverno, conforme comentado anteriormente. Esse resultado é coerente com os valores mais altos de ITU, ITGU e TBS, observados na primavera e no verão, comparados com o inverno, demonstrando que um ambiente mais estressante, em termos de calor, ocasiona maior acúmulo de calor interno no animal.

Em todas as estações do ano, os valores mais elevados de TR não foram observados nos horários mais quentes do dia, ou seja, de TBS mais elevada. Os pontos de máximas TR estimados para a primavera, verão e inverno ocorreram às 21, 23 e 22h, respectivamente. Embora os pontos de máxima TR tenham ocorrido fora do espaço observado (7h às 18h), biologicamente pode ser aceito que a temperatura retal tenha continuado a subir até os referidos horários.

Da mesma forma, Pires et al. (2002) estudaram o comportamento da TR de vacas Holandesas em instalação de *free-stall* com acesso livre a um solário, portanto em instalação semelhante ao do presente estudo. Os autores relataram TR de 38,9°C às 9h e 39,3°C às 21h, concluindo que a TR mais elevada à noite (21h) ocorreu em razão dos animais ainda não terem se recuperado dos efeitos da alta TBS ocorrida no período da tarde. Esse resultado também está de acordo com o observado por Martello et al. (2004), que em ambiente considerado estressante para vacas lactantes (ITU de 75), encontraram valores de TR maiores no final da tarde (18h) do que no período da manhã. Os autores observaram que a TBS e a TR aumentaram até às 13h e, a partir de então, a TBS declinou enquanto a TR continuou a subir. Esses fatos demonstraram que o efeito do ambiente climático sobre a TR não foi imediato.

A TR é uma variável fisiológica que expressa a quantidade de calor acumulado pelas vacas durante um período, sendo tanto maior ao final do dia, quanto maior for o estresse a que o animal tiver sido submetido durante o dia. Por outro lado, diferentemente destes resultados, Bitman et al. (1984), encontraram um ritmo bifásico com dois picos de TR, sendo um no início da manhã (8h) e outro às 13h. Estes resultados evidenciam as diferenças apresentadas no padrão diário da TR, possivelmente em razão da grande variação dos fatores ambientais que circundam o animal e sua associação com as características fisiológicas de cada animal, que passam por processos de adaptação fisiológica ou aclimatização.

Neste estudo, embora o ambiente climático, durante as estações mais quentes (verão e primavera), seja considerado estressante para vacas em lactação, com TBS de 31°C, ITU e ITGU entre 78 e 79, respectivamente, a TR manteve-se dentro de uma faixa considerada normal para vacas lactantes. Kolb (1987) e Silva

(2000) reportaram que a TR até 39,3°C pode ser considerada como normal para vacas de leite. Martello et al. (2004) também não observaram valores de TR estressantes para vacas lactantes alojadas em instalações com cobertura na área do cocho e laterais abertas, cujo ambiente foi caracterizado com ITU e ITGU entre 75 e 76.

No presente experimento, tal resultado pode estar relacionado com o fato das vacas utilizadas serem mais adaptadas ao ambiente, já que são provenientes de rebanho que vem sendo selecionado há vários anos dentro da fazenda. Outra explicação pode estar relacionada com o nível médio de produção de leite desses animais, uma vez que a produção de calor metabólico se intensifica com a maior capacidade produtiva das vacas. Vacas com produção de leite entre 18,5 e 31,6kg/dia geram entre 27,3 e 48,5% mais calor, respectivamente, do que vacas secas (Purwanto et al., 1990). No presente trabalho, a produção média das vacas foi de 25kg de leite/dia.

Por outro lado, o tipo de instalação utilizada no presente estudo (construção do tipo *free-stall* com laterais totalmente abertas), provavelmente minimizou os efeitos negativos do ambiente durante o período mais quente do dia. Adicionalmente, essas características construtivas favoreceram a manutenção de um ambiente noturno confortável, com TBS de 24 e 22°C para primavera e verão respectivamente e ITU de 70 para ambas as estações. Esse ambiente pode ter favorecido a dissipação do calor endógeno, conforme pode ser observado pela normalização da TR pela manhã. A compensação do ambiente noturno para os animais, permitiu eliminar o calor interno e contribuiu para a manutenção de TR em níveis abaixo do considerado estressante.

5.2.2.2 *Frequência respiratória*

A Figura 16 representa a FR observada e estimada e as TBS médias correspondentes aos horários do dia. As FR, durante o período da primavera, estiveram na faixa de 39 a 50mov.min⁻¹, com maior valor estimado às 15h30min. Conforme comentado anteriormente, durante a primavera, a TBS mais elevada (31°C) ocorreu às 13h.

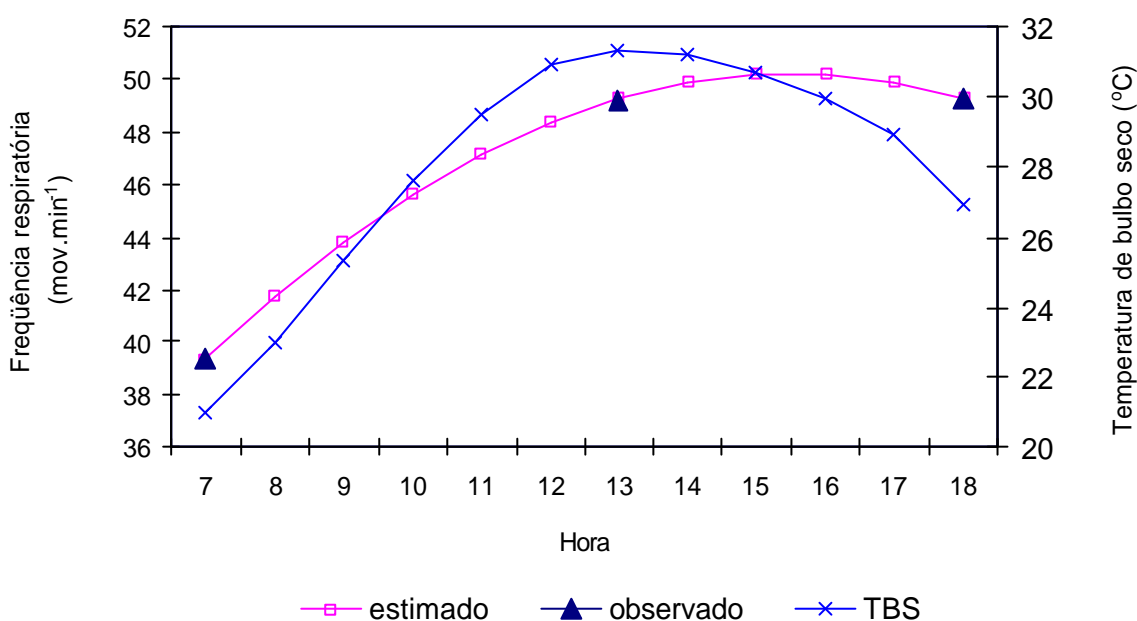


Figura 16 – Valores observados e estimados de frequência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera em diferentes horários.

Os valores de FR, observados e estimados para o período do verão, registraram valores entre 49 e 58mov.min⁻¹, sendo que o valor mais alto estimado foi às 14h10min, enquanto o valor mais elevado da TBS (31°C) ocorreu às 14h (Figura 17).

Durante o inverno, as FR estimadas e observadas estiveram entre 23 e 34mov.min⁻¹, sendo que o horário estimado para o maior valor de FR foi às 17h20min (Figura 18).

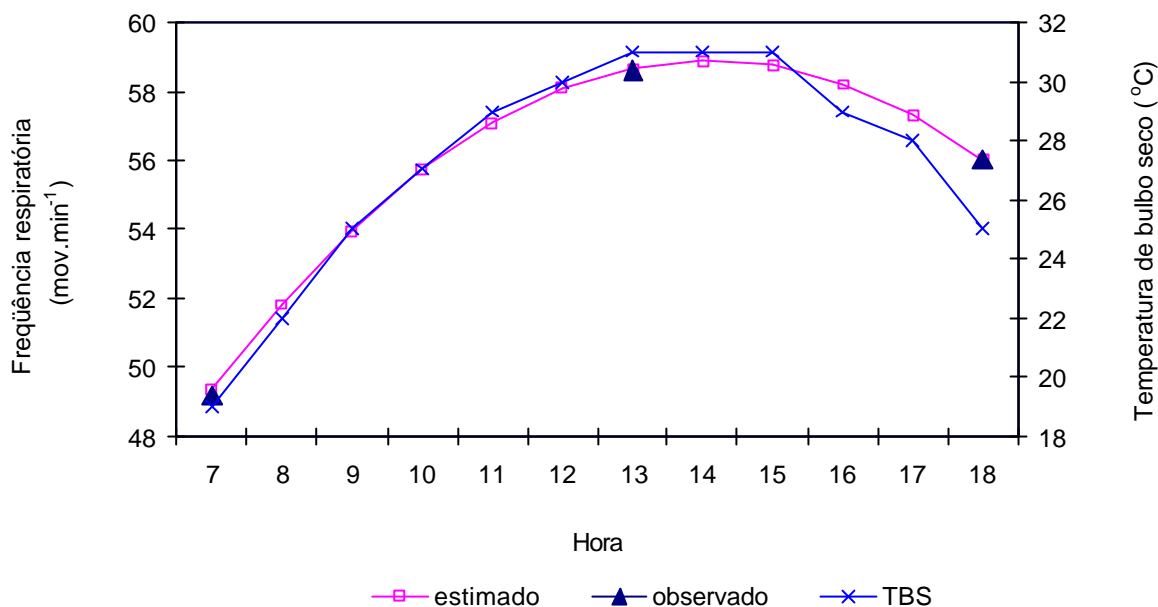


Figura 17 – Valores observados e estimados de freqüência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão em diferentes horários.

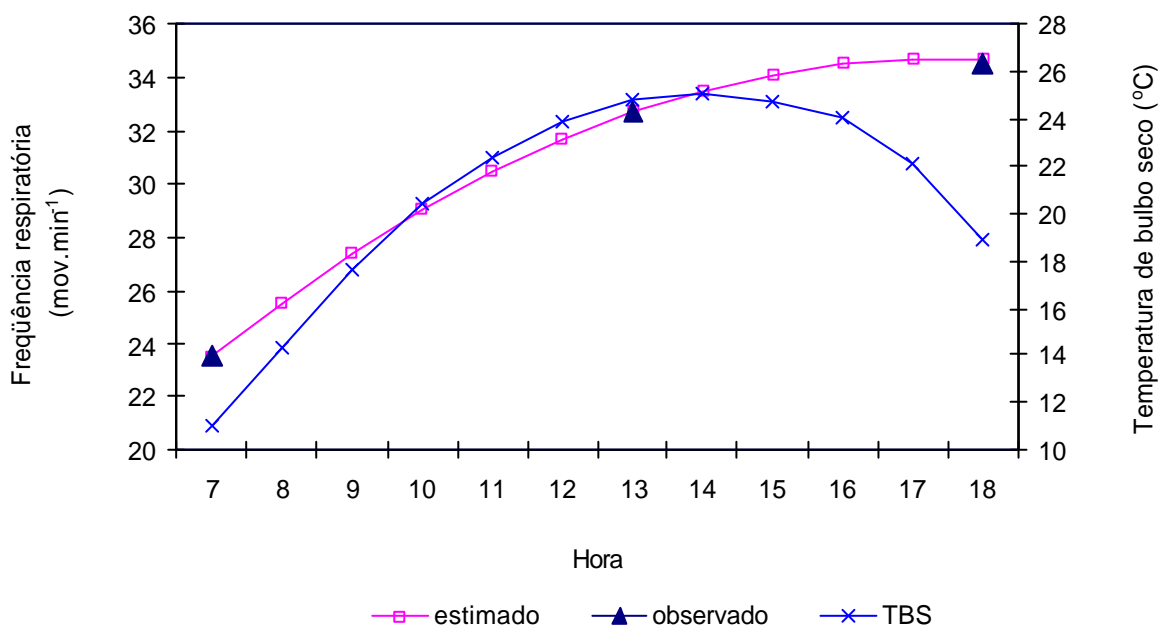


Figura 18 – Valores estimados e observados de freqüência respiratória e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o inverno em diferentes horários.

Diferente do ritmo diário da TR, que apresentou comportamento semelhante nas 3 estações, a FR indicou uma variação no comportamento em relação às estações climáticas do ano. Nas estações de temperaturas mais elevadas (primavera e verão), a variação da FR ao longo do dia acompanhou a variação da

TBS, uma vez que nos horários mais quentes do dia foram observadas FR maiores. No período considerado de menor estresse calórico (inverno), com TBS média de 27°C e ITU de 72, a maior FR não ocorreu nos horários de maiores TBS. A maior FR foi observada no final do dia (17h20min), quando as temperaturas ambientais estavam mais amenas (19°C).

Os valores normais de FR para bovinos leiteiros adultos da raça holandesa situam-se entre 10 e 40mov.min⁻¹ (Rodriguez, 1948 e Kelly, 1967). Entretanto, segundo Hanh et al. (1997) a frequência de 60mov.min⁻¹ indica ausência de estresse térmico ou que este é mínimo. No presente estudo, os maiores valores de FR observados durante os períodos mais quentes (primavera e verão), estiveram na faixa de 50 e 58mov.min⁻¹, respectivamente, ou seja, abaixo do considerado estressante. Esses resultados estão de acordo com os observados na TR, que também não apresentou valores considerados estressantes no verão ou na primavera.

5.2.2.3 Temperatura do pelame

Durante a primavera, foram observadas temperaturas do pelame de 31°C até 35,4°C, sendo que a maior TPE ocorreu às 16h, horário em que a TBS já estava em declínio (Figura 19).

Durante o verão, a TPE acompanhou a variação da TBS ao longo do dia, conforme se observa na Figura 20. A TPE variou de 31°C até 36°C, sendo que a temperatura mais elevada ocorreu às 14h, ao mesmo tempo em que foi registrada a TBS mais elevada.

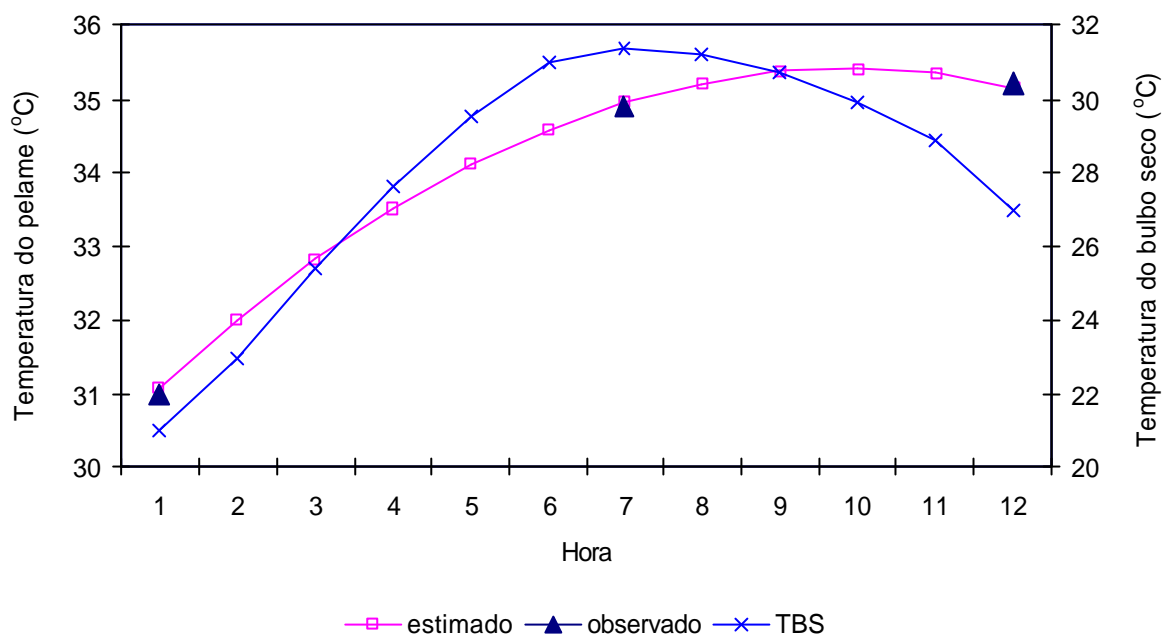


Figura 19 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante a primavera em diferentes horários.

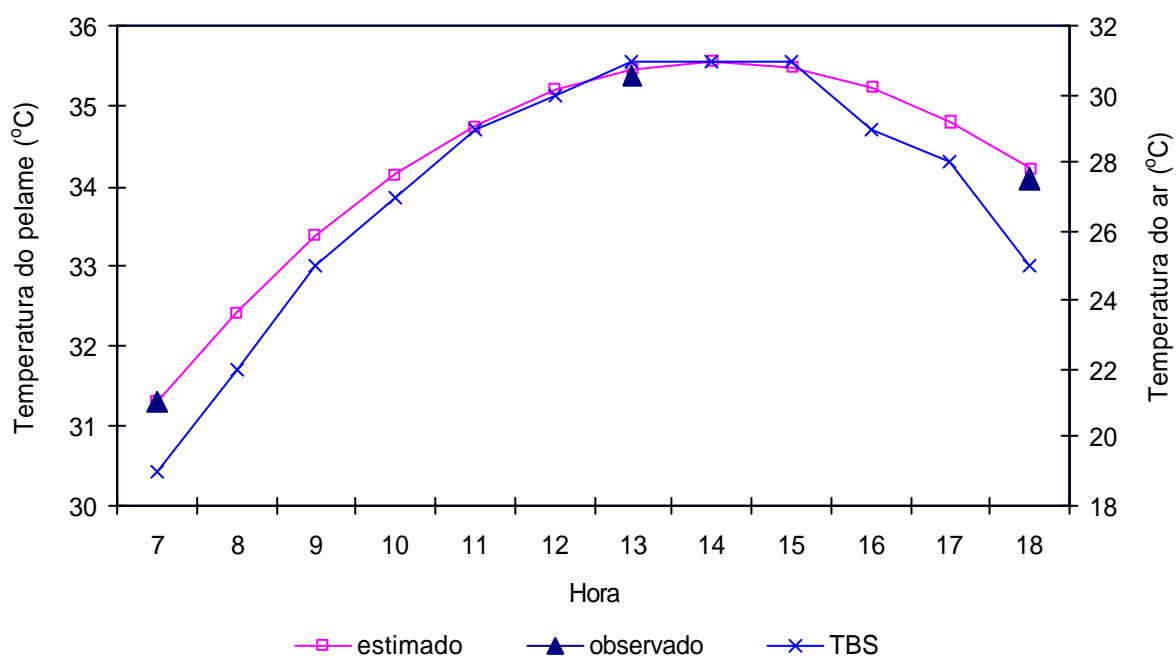


Figura 20 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o verão em diferentes horários.

No inverno, a TPE variou de 27 a 33°C, com temperatura mais elevada às 15h30min (Figura 21).

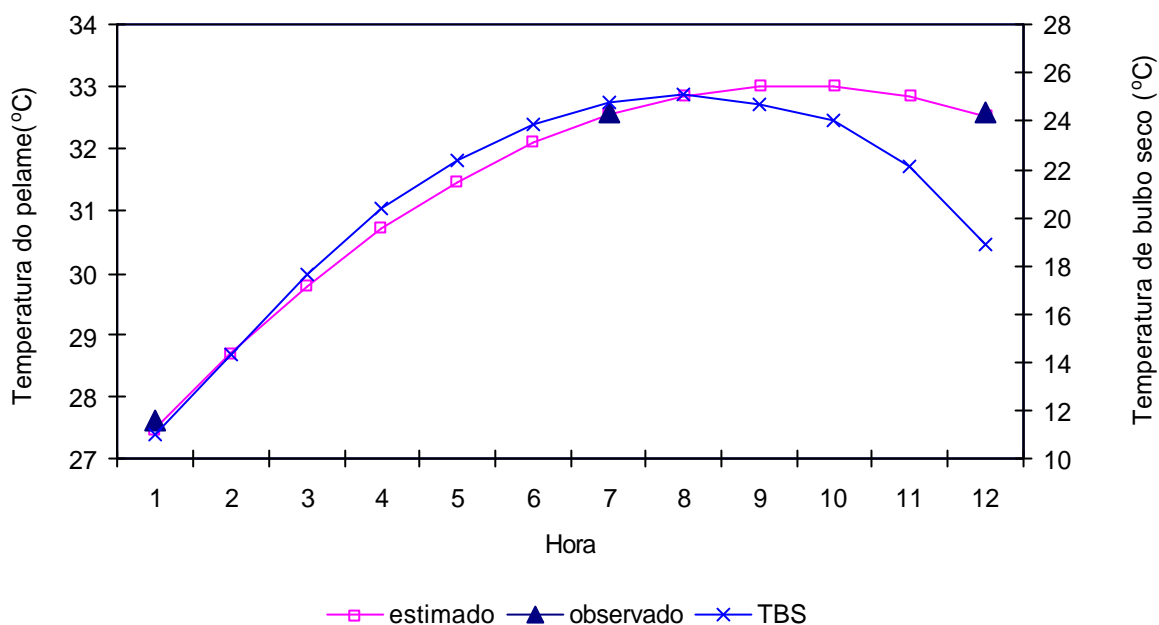


Figura 21 – Valores estimados e observados de temperatura do pelame e temperatura de bulbo seco (TBS) durante o inverno em diferentes horários.

5.2.3 Comportamento das temperaturas corporais em diferentes pontos anatômicos de acordo com o ambiente climático

Com o intuito de investigar outras formas de avaliar o estresse animal e disponibilizar aos produtores medidas de fácil coleta, que indiquem uma condição de estresse, foram estudados os padrões de comportamento das variáveis TAU, TCAU e TVU.

5.2.3.1 Variação sazonal – TCAU, TVU e TAU

Na Tabela 6, estão descritos os parâmetros de TVU, TCAU e TAU durante o verão e o inverno, no período do experimento. As médias para as três variáveis foram menores no inverno do que no verão.

Esses resultados indicaram um padrão claro de comportamento das temperaturas corporais, cujos valores máximos aconteceram no período do verão e os valores mínimos ocorreram durante o inverno, o que demonstra a ocorrência de

um ciclo anual de TAU, TVU e TCAU, assim como para TR em bovinos. Tais resultados estão de acordo com os observados por Silva & Minomo (1995), em ovinos da raça Corriedale sob ambiente tropical, que relataram valores máximos de temperatura retal no verão e mínimos no inverno.

Tabela 6 – Parâmetros de temperatura da vulva (TVU), temperatura da base da cauda (TCAU) e temperatura auricular (TAU) nas diferentes estações do ano.

Fase	Parâmetros	Variáveis		
		TVU	TCAU	TAU
Verão	Média	32 ^a	34 ^a	32 ^a
	Desvio padrão	3	2	3
	Mínimo	20	23	19
	Máximo	38	38	37
	Amplitude (máx. – mín.)	18	15	18
Inverno	Média	26 ^b	26 ^b	26 ^b
	Desvio padrão	5	5	5
	Mínimo	11	11	11
	Máximo	37	35	38
	Amplitude (máx. – mín.)	26	24	27

^{a,b} – Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey.

5.2.3.2 Variação diária – TCAU, TVU e TAU

Houve efeito de estação para TAU, TVU e TCAU ($p < 0,01$) e, dessa forma, os ritmos diários das variáveis fisiológicas foram estudados separadamente em cada uma das estações do ano.

Houve efeito quadrático para as três variáveis fisiológicas estudadas em relação à hora do dia. As equações de regressão que descrevem o comportamento das variáveis fisiológicas nos horários do dia estão descritas na Tabela 7.

Os valores de TAU no verão e no inverno (Figura 22) indicam que o ciclo desta variável segue padrão semelhante nas duas estações, com menores valores no início e no final do dia e maiores valores no meio da tarde (às 14h30min no verão e às 15h no inverno).

Tabela 7 – Equações de regressão para estimativa das temperaturas da vulva (TVU), da base da cauda (TCAU) e auricular (TAU), utilizando medidas obtidas diretamente no animal.

Característica	R ²	S _{x,y}	Intercepto	Hora	Hora * Hora
Inverno					
TVU	0,62	3,26	- 4,1143	4,4648	- 0,1479
TCAU	0,50	3,61	-1,0333	4,1821	-0,1409
TAU	0,61	3,22	-4,2740	4,5530	-0,1525
Verão					
TVU	0,54	1,9548	15,8882	2,5759	-0,0883
TCAU	0,45	1,7313	21,5000	1,8836	-0,0644
TAU	0,54	1,97	15,6872	2,5901	-0,0887

$Y = a + bx + cx^2$, sendo:

Y = TR, FR e TPE

a = intercepto

b = coeficiente da hora (linear)

c = coeficiente hora*hora (quadrático)

x = hora da avaliação

S_{x,y} = Erro padrão da estimativa

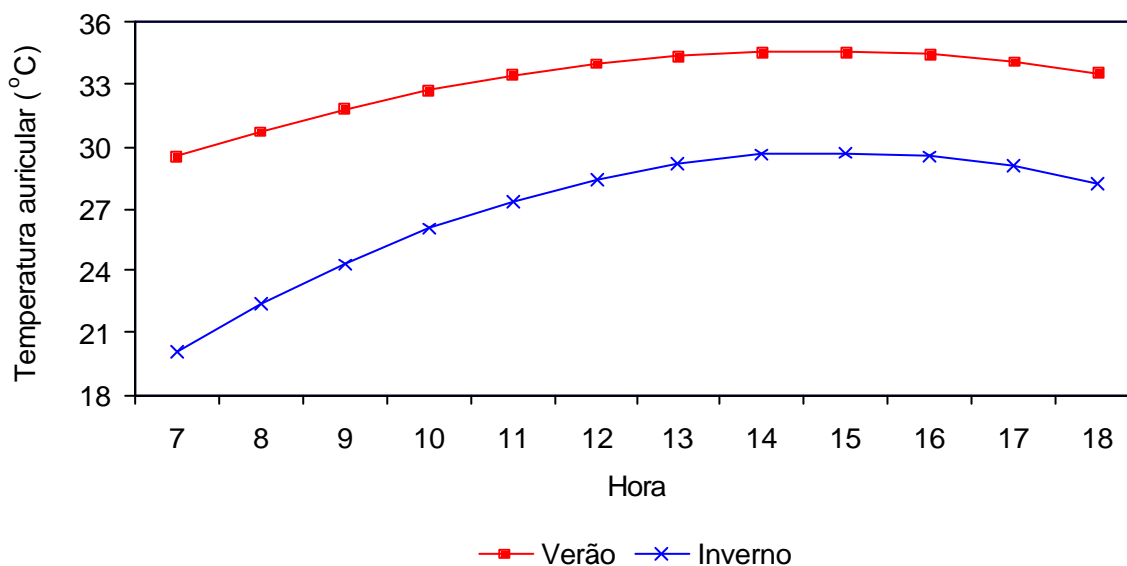


Figura 22 – Valores médios horários de temperatura auricular das vacas durante os períodos de verão e inverno.

A TVU também apresentou um padrão semelhante durante o dia, tanto no verão como no inverno (Figura 23), com valores mais elevados entre as 14h30min e

às 15h, para o verão e o inverno respectivamente, e menores valores no início e no final do dia.

Semelhante ao ocorrido com a TAU e TVU, os valores mais elevados da TCAU ocorreram às 14h30min e às 15h, para verão e inverno, respectivamente (Figura 24).

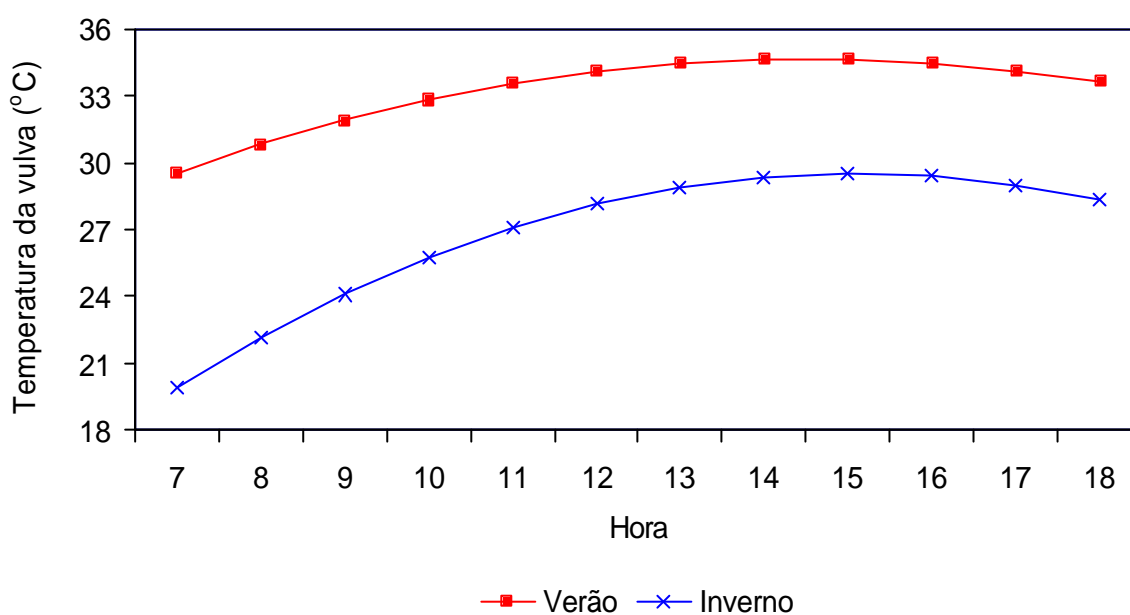


Figura 23 – Valores médios horários de temperatura da vulva das vacas durante os períodos de verão e inverno.

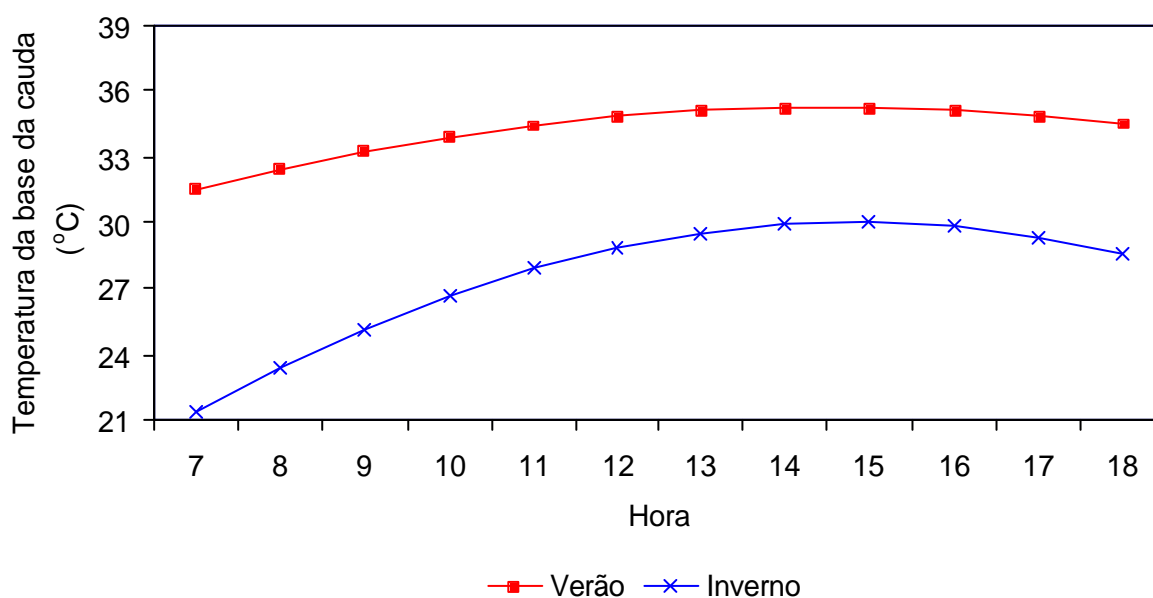


Figura 24 – Valores médios horários de temperatura da base da cauda das vacas

durante os períodos de verão e inverno.

5.2.4 Correlações entre as variáveis fisiológicas

As correlações entre as temperaturas obtidas em diferentes pontos anatômicos, FR e TPE estão apresentadas na Tabela 8. Foram observadas correlações medianas entre TR e TAU, TVU, TCAU e TPE, com valores variando entre 0,59 a 0,63. As correlações da TR com a TVU e com a TCAU foram positivas ($p < 0,0001$), com coeficientes de 0,63 e 0,59, respectivamente, indicando que o aumento da TR esteve moderadamente associado com o aumento da TVU e da TCAU.

Tabela 8 – Correlações entre temperatura retal (TR), auricular (TAU), vulva (TVU), cauda (TCAU), superfície corporal (TPE) e frequência respiratória (FR) ($p < 0,0001$).

Variáveis	TVU	TCAU	TR	TPE	FR
TAU	0,94805	0,93836	0,62817	0,71497	0,63169
TVU	-	0,96899	0,63319	0,71733	0,63577
TCAU		-	0,59252	0,66204	0,63395
TR			-	0,63922	0,55108
TPE				-	0,53446

A TAU apresentou correlação de 0,63 com a TR, o que indica aumento da temperatura auricular com o aumento da TR. Os valores de TAU apresentaram amplitude de 27°C, com os menores valores registrados durante o inverno. Para TR, a amplitude foi de 6°C (de 35 a 41°C), conforme Tabela 4. A amplitude encontrada no presente estudo (27°C) para a TAU é maior do que a observada no trabalho de Davis et al. (2003) para a temperatura timpânica, cuja variação foi de 2°C. Porém, no estudo de Davis et al. (2003), os valores de temperatura timpânica foram registrados por meio de *data-loggers*, pela inserção de um fio com termopar no canal do ouvido, e fixado próximo à membrana do tímpano do animal. Provavelmente, a maior

amplitude nos valores de TAU, no presente estudo, tem relação com a metodologia da coleta, realizada por meio de termômetro de infravermelho.

Outra explicação pode ter relação com o fato de que, quanto mais externa em relação ao corpo do animal for a medida de temperatura, maior a sensibilidade às variáveis ambientais, ocorrendo maior amplitude entre as medidas. SILVA (2000) relatou que, em razão das diferenças na atividade metabólica dos diversos tecidos, a temperatura não é homogênea no corpo todo e varia de acordo com a região anatômica. As regiões superficiais apresentam temperaturas mais variáveis e sujeitas à influência do ambiente externo.

A TPE esteve associada positivamente ($r=0,63$) com a TR, o que indica aumento da TPE com o aumento da TR. A amplitude observada na TPE foi de 36°C, com variação de 17 a 53°C (Tabela 4).

As correlações entre TPE e TAU e entre TPE e TVU foram semelhantes entre si, com valores de 0,71 e 0,72 respectivamente (Tabela 8). A correlação entre TPE e TCAU foi de 0,66. Essas correlações foram maiores do que as observadas entre todas elas e a TR. Esse resultado sugere que os mecanismos de transferência térmica de TAU, TVU e TCAU devem estar mais associados ao mecanismo de transferência que ocorre com a TPE do que com o da TR. Tal mecanismo está relacionado com o fato das temperaturas corporais mais próximas da superfície externa serem mais influenciadas pelas temperaturas ambientais, e, portanto, menos estáveis do que a temperatura corporal profunda, representada pela TR.

As correlações entre TAU, TVU e TCAU e frequência respiratória variaram de 0,63 a 0,64 e foram superiores às observadas entre FR e TR (0,55) e entre FR e TPE (0,53), conforme Tabela 8. Porém, todas as temperaturas corporais estudadas foram positivamente associadas à FR, o que indica que houve aumento nos valores

dessas temperaturas com o aumento da FR. Umphrey et al. (2001) estudaram a inter-relação entre as variáveis fisiológicas de vacas holandesas em instalações de *tie-stalls*, com laterais abertas, e encontraram resultados diferentes do presente trabalho. Os autores observaram correlações menores e negativas entre a FR e a TR ($r=-0,11$) e concluíram que o aumento da FR esteve associada com um leve resfriamento das vacas. Dependendo das condições do ambiente noturno ou do período de exposição ao estresse, os mecanismos de termorregulação, FR por exemplo, pode ser suficiente para manter a TR em condições normais e nesta situação a correlação entre estas duas variáveis poderá ser negativa, como ocorreu no trabalho de Umphrey et al. (2001). Por outro lado, Collier et al. (2006) observaram correlação de 0,73 entre FR e TPE e concluíram que esta seria uma boa medida para análise do micro ambiente que envolve o animal.

A TCAU, a TAU e a TVU foram correlacionadas positivamente com a FR e a TR, o que sugere que estão relacionadas com as trocas térmicas entre os animais e o ambiente. Porém, a grande amplitude evidenciada nos valores de TCAU, TVU e TAU indica a necessidade de maior padronização das coletas, bem como a repetição dessas medidas em maior número de animais.

5.2.5 Efeito dos fatores ambientais sobre as variáveis fisiológicas

As médias das variáveis fisiológicas em cada horário de coleta e em cada estação estão apresentadas na Tabela 9. Às 7h, os valores de TR, na primavera e no verão, foram semelhantes, com valores de 37,8 e 38,0°C, respectivamente. Nos períodos mais quentes do dia (13h e 18h), as TR foram maiores ($p<0,01$) durante o verão comparado à primavera. Esses resultados estão de acordo com dados do ambiente climático, pois conforme mencionado no item 5.1, o ITU máximo durante o verão foi de 86, enquanto a primavera apresentou ITU de 84. Ou seja, o período

diurno do verão apresentou picos de ITU mais elevados e, conseqüentemente maior TR.

Tabela 9 – Médias de temperatura retal (TR), freqüência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE) nas estações do ano nos três horários observados.

Variáveis	Horário	Estação do ano		
		Primavera	Verão	Inverno
TR (°C)	7	37,8 ^a	38,0 ^a	37,2 ^b
	13	38,4 ^b	38,7 ^a	38,0 ^c
	18	38,6 ^b	39,0 ^a	38,4 ^c
FR (mov.min ⁻¹)	7	38 ^b	50 ^a	23 ^c
	13	48 ^b	60 ^a	34 ^c
	18	50 ^a	55 ^a	35 ^b
TPE (°C)	7	31,0 ^a	31,3 ^a	27,6 ^b
	13	34,9 ^b	35,5 ^a	32,6 ^c
	18	35,2 ^a	34,2 ^b	32,7 ^c

^{a,b,c} Médias seguidas de letras distintas na mesma linha diferem ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey.

Semelhante ao observado com a TR, a FR apresentou menores valores ($p < 0,01$) durante o inverno em todos os horários, comparados às demais estações. Na primavera, as FR das 7h e das 13h (38 e 48mov.min⁻¹, respectivamente) foram menores ($p < 0,01$) que as do verão nestes mesmos horários (50 e 60mov.min⁻¹, às 7h e às 13h, respectivamente). A FR foi semelhante entre primavera e verão às 18h.

Os valores de TPE durante o inverno também foram menores ($p < 0,01$) em todos os horários, comparados aos da primavera e verão. Às 7h, a TPE da primavera e do verão foram semelhantes (31 e 31,3°C). Porém, às 13h a TPE do verão foi maior ($p < 0,01$) do que a da primavera, ocorrendo uma inversão às 18h, uma vez que, neste horário a TPE da primavera foi maior ($p < 0,01$) do que a do verão.

Em análise mais ampla, esses resultados indicaram valores de TR, FR e TPE menores durante o inverno e maiores durante as estações mais quentes, sugerindo que o ambiente térmico exerceu influência nas respostas fisiológicas das vacas. As comparações das respostas fisiológicas entre primavera e verão se alternaram, ora

maiores em uma estação, ora maiores em outra, ou ainda com valores semelhantes entre si, dependendo da variável estudada e do horário correspondente. Esses resultados estão de acordo com as variáveis climáticas, que indicaram ambientes mais amenos para o inverno e mais estressantes e semelhantes para primavera e verão.

Os valores médios de TR e FR estiveram abaixo do considerado crítico para vacas lactantes, o que indicou que esses animais, alojados no *free-stall*, não estavam em processo de estresse calórico. No entanto, ocorreram alguns registros de TR e FR estressantes, o que pode ser observado pelos valores máximos destas variáveis nas três estações (Tabela 4). Provavelmente para estes animais, houve uma compensação do ambiente noturno, o que permitiu que essas variáveis retornassem ao nível normal logo pela manhã. Lough et al. (1999) trabalharam em câmara climática e avaliaram a TR e a FR de vacas Holandesas em ambiente estressante durante o dia (até 39°C), seguido por ambiente de conforto durante a noite (20°C). Os autores concluíram que, embora a TR e a FR atingissem níveis estressantes (41,3°C e 110mov.min⁻¹) durante o dia, eram necessários aproximadamente 3h e 90min, respectivamente, para TR e FR, em ambiente de conforto, para que essas variáveis retornassem ao normal.

5.2.5.1 Efeito das variáveis ambientais sobre as respostas fisiológicas

As correlações simples entre as variáveis ambientais e fisiológicas consideraram as médias diárias das respostas fisiológicas de cada vaca e as médias diurnas ou noturnas das variáveis ambientais, seja do mesmo dia ou do dia anterior. Para essas análises as relações entre as variáveis ambientais e a TR, a FR e a TPE foram analisadas separadamente para cada uma das estações do ano, em razão do efeito ($p < 0,01$) entre a estação do ano e as variáveis fisiológicas.

5.2.5.1.1 Temperatura retal x variáveis ambientais

Com relação ao ambiente do mesmo dia, a TBS e a TG médias noturnas foram os parâmetros mais associados com a TR durante a primavera e o verão ($r=0,50$ e $0,68$, respectivamente), enquanto, durante o inverno, a maior correlação foi entre TBS e TG máximas e TR (Tabela 10). Os registros climáticos noturnos referem-se às noites que antecederam as coletas de TR. Esses parâmetros foram positivamente associados, ou seja, quanto maior a TBS e a TG maior a TR.

Tabela 10 – Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e temperatura retal (TR), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Parâmetros	Temperatura retal		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	TBS	Média diurna	0,34715	0,56003	0,76474
		Média noturna	0,50396	0,68288	0,49911
		Máxima	0,34293	0,58211	0,77045
		Mínima	0,21940	0,18601	0,16769
	TG	Média diurna	0,31835	0,56516	0,77220
		Média noturna	0,49891	0,70695	0,47284
		Máxima	0,30665	0,59532	0,77146
		Mínima	0,22769	0,24834	0,15061
	UR	Média diurna	-0,20282	-0,40379	-0,39377
		Média noturna	-0,23191	-0,22052	-0,20364
		Máxima	-0,00748	0,15401	0,01818
		Mínima	-0,19510	-0,42130	-0,39670
Dia anterior	TBS	Média diurna	-0,06865	-0,13561	0,62223
		Média noturna	-0,06809	-0,30061	0,24437
		Máxima	0,00527	-0,17522	0,61102
		Mínima	-0,10804	0,11220	-0,05051
	TG	Média diurna	-0,09696	-0,11931	0,61866
		Média noturna	-0,07272	-0,32182	0,19938
		Máxima	-0,02855	-0,16028	0,61185
		Mínima	-0,09916	-0,02119	-0,06783
	UR	Média diurna	0,17801	0,22085	-0,44182
		Média noturna	0,24864	0,39685	-0,39830
		Máxima	0,30881	0,23443	-0,32034
		Mínima	0,15905	0,24545	-0,43770

As maiores correlações entre UR e TR, para as três estações, foram associadas de modo negativo, ou seja, quanto mais elevada a UR, menor a TR. A relação entre UR e TR é dependente do valor da TBS. Se a temperatura ambiente ultrapassa os valores máximos de conforto para o animal, a UR assume fundamental importância na dissipação do calor. Nessa condição, a elevada UR, associada à TBS alta, inibe a perda de água (evaporação) por meio da pele e do sistema respiratório, reduzindo a dissipação do calor interno, o que proporciona um ambiente ainda mais estressante para o animal (Sota, 1996).

Portanto, em ambiente com TBS acima da crítica, é de se esperar que o aumento da UR promova o aumento da temperatura corporal, o que não ocorreu no presente estudo. Uma possível explicação para isso pode ter relação com o fato das elevadas TBS, registradas durante o dia, estarem associadas às baixas umidades relativas registradas no mesmo período (36% para inverno e primavera e 47% no verão). Por outro lado, as maiores UR ocorreram durante a noite, quando as TBS eram mais amenas (16 a 24°C). Isso sugere que, como as elevadas TBS, registradas durante o dia, não foram associadas a altas UR, o ambiente não caracterizou uma condição de estresse para as vacas a ponto de elevar a TR a níveis altos. Tal resultado está de acordo com os valores de TR encontrados neste trabalho.

Com relação ao ambiente do dia anterior, os parâmetros da TBS e da TG de maior correlação com a TR durante a primavera foi a TBS e a TG mínimas ($r=-0,10$ e $r=-0,09$, respectivamente), enquanto, no verão os parâmetros de TBS e TG mais correlacionados com TR foram os noturnos ($r =0,30$ e $r=-0,32$ respectivamente). Além de fracas, as correlações foram negativas durante a primavera e verão, o que sugere um baixo efeito do ambiente do dia anterior, em termos de TBS e TG, sobre

a variação de TR. No entanto, durante o inverno, ocorreram correlações mais elevadas entre a TBS e TG diurnas e a TR, com valores de 0,62 e 0,61 respectivamente, sugerindo ocorrer alguma relação entre estas variáveis do dia anterior com a TR durante o inverno.

Os parâmetros de UR do dia anterior foram correlacionados positivamente com a TR durante a primavera e o verão, embora com correlações fracas ou medianas. Durante o inverno, as correlações entre os parâmetros de UR e TR foram associadas negativamente.

5.2.5.1.2 Frequência respiratória x variáveis climáticas

Com relação ao ambiente do dia da coleta de dados fisiológicos, as maiores correlações entre TBS e TG com FR, durante a primavera, foram com as médias do dia ($r=0,56$ e $r=0,54$ para TBS e TG respectivamente) (Tabela 11). Para o verão e o inverno, os dados noturnos de TBS e TG foram os mais associados. Todos eles foram associados positivamente com FR, sendo que quanto mais elevada a TBS ou a TG, maior a FR. A UR média do dia apresentou correlação negativa com a FR ($r=-0,47$) durante a primavera, enquanto, durante o verão a UR máxima do dia foi associada positivamente com a FR ($r=0,30$). No inverno, a maior correlação foi entre a UR noturna e a FR ($r=0,16$). A relação entre a UR e a FR não ficou muito clara nesse estudo, pois ocorreram correlações positivas e negativas entre elas. Provavelmente, a associação de baixa UR e alta TBS registrada durante o dia, e a associação de alta UR e baixa TBS durante a noite (Tabela 3), causou um confundimento sobre qual seria o real efeito da UR sobre as variáveis fisiológicas. Este resultado está de acordo com o trabalho de Kibler & Brody (1950), realizado em câmara climática, que demonstrou que a UR não seria um fator de grande influência na produção de calor de vacas submetidas a ambiente de baixas temperaturas, por

apresentar efeito pouco consistente sobre a FR. Porém esses autores relataram que a elevação da UR em um ambiente com variação de temperatura, de 24°C para 38°C, acarretou um aumento da taxa respiratória das vacas.

Tabela 11 – Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e frequência respiratória (FR), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Parâmetros	Frequência respiratória		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	TBS	Média diurna	0,56875	0,47249	0,59689
		Média noturna	0,51940	0,70890	0,79297
		Máxima	0,54972	0,49033	0,60512
		Mínima	0,01552	0,28265	0,56012
	TG	Média diurna	0,54347	0,49254	0,59223
		Média noturna	0,51898	0,74275	0,78866
		Máxima	0,52238	0,50798	0,60121
		Mínima	0,01997	0,32729	0,54696
	UR	Média diurna	-0,47166	-0,27849	-0,03142
		Média noturna	-0,31500	-0,00004	0,16290
		Máxima	0,07166	0,30325	-0,04023
		Mínima	-0,43740	-0,29171	-0,03034
Dia anterior	TBS	Média diurna	-0,03807	0,16383	0,45299
		Média noturna	-0,15187	0,01026	0,66360
		Máxima	0,03199	0,12339	0,44389
		Mínima	-0,22042	0,18961	0,50823
	TG	Média diurna	-0,05756	0,20036	0,43679
		Média noturna	-0,15066	0,00550	0,65088
		Máxima	0,01339	0,15754	0,43413
		Mínima	-0,19386	0,08648	0,49374
	UR	Média diurna	0,19618	0,03462	0,06453
		Média noturna	0,27737	0,39124	0,17073
		Máxima	0,35362	0,32199	-0,10445
		Mínima	0,19477	0,04968	0,07429

As correlações entre o ambiente do dia anterior e a FR, durante a primavera, foram baixas ou negativas para TBS e TG, sugerindo que a TBS ou a TG do dia anterior tiveram pouca influência sobre a variação da FR. A UR máxima foi positivamente correlacionada com a FR ($r=0,35$), indicando que quanto maior a UR máxima do dia anterior, maior a FR.

Durante o verão, os parâmetros de TBS, TG e UR do dia anterior foram positivamente correlacionados com FR, ou seja, quanto maiores esses valores, maiores os de FR. No entanto, as correlações são consideradas baixas, pois a maior delas foi observada entre a UR noturna e a FR ($r=0,39$).

Semelhante ao ocorrido entre a TR e ambiente do dia anterior, no inverno, ocorreram coeficientes medianos entre FR e as variáveis ambientais. Os parâmetros do dia anterior mais correlacionados com a FR foram a TBS ($r=0,66$), a TG ($r=0,65$) e a UR ($r=0,17$) noturnas, sugerindo que, assim como para a TR, o ambiente do dia anterior durante o inverno influenciou a respostas da FR.

5.2.5.1.3 Temperatura do pelame x variáveis ambientais

Durante a primavera, para o ambiente do mesmo dia, os parâmetros de TBS e TG mais associados com TPE foram os diurnos ($r=0,50$ e $r=0,49$, respectivamente), enquanto, no verão, foram os noturnos ($r=0,68$ e $r=0,70$ para TBS e TG respectivamente) (Tabela 12). No inverno, TBS e TG diurnas foram as mais correlacionadas com TPE ($r=0,48$ e $r=0,45$, respectivamente). Essas correlações positivas indicam que quanto maior a TBS ou a TG, maior a temperatura do pelame. Os coeficientes de correlação entre TPE e TBS e TG foram mais altos durante o verão, comparados com o inverno e a primavera. Já, entre a UR e TPE foram observadas correlações negativas e positivas nas três estações do ano.

Semelhante ao que ocorreu entre FR e TBS e TG do dia anterior, as correlações entre o ambiente do dia anterior e TPE, durante a primavera e o verão, foram baixas ou negativas, sugerindo que a TBS ou a TG do dia anterior tiveram pouca influência sobre a variação da TPE. Ressalta-se que, em comparação com o verão, durante o inverno, a TBS e a TG máximas do dia anterior apresentaram maiores coeficientes de correlação com a TPE, sendo que quanto maiores os

valores dessas variáveis, maior a TPE. Da mesma forma do que observado entre FR e variáveis do dia anterior, entre UR e TPE foram observadas correlações negativas e positivas nas três estações do ano.

Tabela 12 – Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR) e a temperatura do pelame (TPE), em cada estação do ano, com variáveis do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Parâmetros	Temperatura do pelame		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	TBS	Média diurna	0,50976	0,64792	0,48363
		Média noturna	0,43825	0,68230	0,46299
		Máxima	0,49063	0,66734	0,47743
		Mínima	-0,05211	0,33570	0,29830
	TG	Média diurna	0,49067	0,67157	0,45764
		Média noturna	0,43603	0,70092	0,45213
		Máxima	0,48268	0,69247	0,45019
		Mínima	-0,04332	0,34432	0,28584
	UR	Média diurna	-0,38471	-0,30871	-0,27541
		Média noturna	-0,29933	0,06081	-0,21823
		Máxima	0,06943	0,38961	-0,21329
		Mínima	-0,36413	-0,30543	-0,27212
Dia anterior	TBS	Média diurna	-0,10742	-0,03090	0,52173
		Média noturna	-0,20873	-0,12970	0,28594
		Máxima	-0,04891	-0,04959	0,53200
		Mínima	-0,22804	0,22267	0,03366
	TG	Média diurna	-0,12756	-0,01629	-0,53842
		Média noturna	-0,21119	-0,14595	0,24656
		Máxima	-0,07493	-0,04187	0,55401
		Mínima	-0,20374	0,13463	0,01219
	UR	Média diurna	0,13449	0,21749	-0,28738
		Média noturna	0,17854	0,52048	-0,22363
		Máxima	0,24462	0,46403	-0,04440
		Mínima	0,12521	0,22055	-0,29773

De forma geral, esses resultados não demonstraram de modo claro a influência das variáveis ambientais de um dia prévio sobre as respostas fisiológicas, durante as estações mais quentes (primavera e verão).

5.2.5.1.4 Respostas fisiológicas x variáveis ambientais - correlações canônicas

Para cálculo das correlações canônicas entre fatores ambientais e respostas fisiológicas foi utilizado todo o conjunto de dados (três estações), com o objetivo de obter maior variação das respostas fisiológicas em decorrência de maiores flutuações das variáveis envolvidas nas diferentes estações (Tabela 13).

Tabela 13 – Estimativas dos pares canônicos e das correlações canônicas entre as variáveis fisiológicas e variáveis ambientais, considerando todas as estações do ano.

Variáveis avaliadas	Pares canônicos		
	1º	2º	3º
Grupo 1			
FR	0,3152	1,1410	0,3873
TPE	0,7272	-0,8740	0,7319
TR	0,0938	-0,0350	-1,3614
Grupo 2			
TBS	2,9348	1,7207	-27,0351
TG	-1,7748	-0,6584	27,1464
UR	0,2243	1,5603	0,0412
Correlações	0,8008	0,3825	0,1171
Significância	p<0,01	p<0,01	p<0,01

Para o primeiro par canônico, a maior estimativa de TPE foi associada com maiores TBS, sendo que o coeficiente de correlação foi de 0,80. Este resultado está coerente com o resultado da correlação simples entre TPE e variáveis ambientais (Tabela 12), que mostrou que a TBS média do dia foi a variável que mais influenciou a TPE.

No segundo par canônico, as maiores FR estiveram associadas com maiores TBS, enquanto menores TPE foram associadas com UR mais elevadas. Os valores

mais elevados de umidade relativa ocorreram durante a noite, quando as TBS eram mais baixas, e, por consequência, mantendo a TPE com baixos valores.

Como os dois primeiros pares canônicos retiveram grande parte da variação das estimativas (0,9930), não existe consistência para a discussão das associações ocorridas no terceiro par.

Esses resultados sugerem que a FR e TPE foram as variáveis fisiológicas mais sensíveis às alterações climáticas dentro do *free-stall* ao longo do dia, e que a TBS foi a variável climática que mais influenciou o comportamento dessas variáveis fisiológicas. A variação da TR não foi associada com o comportamento das variáveis climáticas nesta análise.

A estratégia de termorregulação das vacas é manter a temperatura corporal interna mais elevada do que a temperatura ambiente para permitir um fluxo de calor para fora do corpo (Collier et al., 2006). A perda de calor pelos animais ocorre por quatro vias: condução, convecção, radiação e evaporação. As três primeiras são dependentes do gradiente de temperatura e são eficientes para manutenção do equilíbrio de calor em ambientes cujas TBS não ultrapassam a temperatura crítica superior (zona de conforto). Em ambientes com TBS acima da crítica, o animal utiliza a via evaporativa (respiração e sudação). Caso esses mecanismos não sejam eficientes, ocorre o aumento da TR acima da faixa normal (39,3°C).

No presente estudo, embora as TBS diurnas tenham chegado a 31°C (verão e primavera), ou seja, acima das temperaturas consideradas críticas, as TR se mantiveram em uma faixa normal para vacas lactantes, sugerindo, neste caso, que os mecanismos de termorregulação foram eficientes para a dissipação do calor animal. Segundo Bianca (1961), se os mecanismos de termorregulação são eficientes para manter a TR na faixa de normalidade, o estresse térmico é

classificado como brando. Conforme discutido no item TR x variáveis ambientais, altas TBS não foram associadas com altas UR e isso provavelmente contribuiu para a condição de estresse brando nas vacas em estudo.

5.2.5.2 Efeito dos índices de conforto térmico sobre as respostas fisiológicas

5.2.5.2.1 Temperatura retal x índices de conforto

Durante a primavera o ITU com maior correlação com a TR foi o noturno ($r=0,47$), enquanto, no inverno e no verão o ITU máximo foi o que apresentou maior correlação com a TR ($r=0,77$ e $r=0,59$, respectivamente) (Tabela 14). Kokubo et al. (2004) correlacionaram a TR com o ITU e com o ITGU, medidos no mesmo horário das coletas fisiológicas, e encontraram correlações mais baixas do que a do presente estudo ($r=0,50$ e $r=0,49$ para ITU e ITGU, respectivamente). A TR é uma variável fisiológica que acumula calor durante o dia e provavelmente maiores correlações entre o ambiente e essa variável ocorrerão entre medidas climáticas que caracterizem o calor acumulado do ambiente, como a temperatura máxima, por exemplo.

Para o ITGU, as maiores correlações com a TR foram observadas com os mesmos parâmetros do ITU. Isso indicou que o ITU e o ITGU estiveram associados e que, em instalações semelhantes à do presente estudo (*free-stall* com laterais abertas), os dois índices caracterizam o ambiente de forma semelhante. Resultado similar foi relatado por Silva et al. (2006) com vacas de leite, que observaram correlações muito próximas, além de baixas, entre TR e ITU ($r=0,053$) e TR e ITGU ($r=0,054$).

Todos os parâmetros de ITU e ITGU do mesmo dia foram correlacionados de maneira positiva com TR. Esses resultados estão de acordo com os relatados por

Morais et al. (2004), que encontraram correlações positivas entre o ITGU médio do dia e a TR.

Tabela 14 – Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura retal (TR), em cada estação do ano, com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Parâmetros	Temperatura retal		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	ITU	Média diurna	0,38954	0,57612	0,76968
		Média noturna	0,47402	0,58273	0,44127
		Máxima	0,40762	0,59222	0,77821
		Mínima	0,28920	0,21522	0,17367
	ITGU	Média diurna	0,35909	0,57884	0,77873
		Média noturna	0,47137	0,60747	0,42228
		Máxima	0,36832	0,60211	0,77990
		Mínima	0,29099	0,26466	0,15963
Dia anterior	ITU	Média diurna	-0,01784	-0,10168	0,58060
		Média noturna	0,03941	-0,14233	0,17115
		Máxima	0,09436	-0,14201	0,56857
		Mínima	0,00640	0,12282	-0,06601
	ITGU	Média diurna	-0,04599	-0,08682	0,58059
		Média noturna	0,03414	-0,16425	0,13959
		Máxima	0,07466	-0,12974	0,57101
		Mínima	0,01650	0,02838	-0,08005

As baixas correlações entre o ambiente do dia anterior e a TR, tanto para os parâmetros do ITU como para os parâmetros do ITGU, nas estações da primavera e do verão, reforçam a observação feita no item anterior (5.2.5.1) sobre a fraca influência do ambiente de um dia prévio às respostas fisiológicas ocorridas neste estudo durante as estações mais críticas em termos de calor.

5.2.5.2.2 Frequência respiratória x índices de conforto

O parâmetro que apresentou maior correlação com a FR durante a primavera foi o ITU diurno ($r=0,56$), enquanto, para o verão e o inverno a maior correlação foi entre a FR e o ITU noturno ($r=0,69$ e $r=0,79$, respectivamente) para ambas as estações (Tabela 15).

Resultados similares foram relatados por Buffington et al. (1981) em vacas Holandesas alojadas em uma estrutura com sombreamento parcial durante o verão na Flórida (EUA), e encontraram correlações de 0,49 entre ITGU diurno e FR e de 0,33 entre ITU diurno e FR.

Tabela 15 – Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e frequência respiratória (FR), em cada estação do ano com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Características	Frequência respiratória		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	ITU	Média diurna	0,56788	0,51203	0,72964
		Média noturna	0,43775	0,69470	0,79735
		Máxima	0,55631	0,52319	0,74106
		Mínima	0,06533	0,33404	0,56916
	ITGU	Média diurna	0,53991	0,52870	0,72395
		Média noturna	0,43996	0,72474	0,79232
		Máxima	0,52102	0,54177	0,73312
		Mínima	0,06268	0,37158	0,55831
Dia anterior	ITU	Média diurna	0,02787	0,22921	0,58592
		Média noturna	-0,05764	0,16422	0,67461
		Máxima	0,13198	0,17920	0,58165
		Mínima	-0,12304	0,23107	0,51242
	ITGU	Média diurna	0,00957	0,26182	0,56949
		Média noturna	-0,05752	0,15683	0,66389
		Máxima	0,12742	0,20969	0,56459
		Mínima	-0,10670	0,16048	0,50127

De maneira geral, as correlações do presente estudo entre a FR e os índices de conforto foram positivas, indicando aumento da FR de acordo com o aumento dos índices.

Semelhante ao observado para a TR e os índices do dia anterior, as correlações entre FR e ITU e ITGU do dia anterior indicaram baixa relação entre esta resposta fisiológica e o ambiente de um dia prévio durante a primavera e o verão. No entanto, durante o inverno, os coeficientes foram medianos, indicando que sob condições de temperaturas amenas, o ambiente de um dia prévio pode exercer alguma influência sobre as respostas fisiológicas.

Diferente deste resultado, West et al. (2003) relataram que as condições climáticas tiveram efeito relativamente baixo no desempenho de vacas lactantes durante o inverno. Porém, os mesmos autores observaram que sob temperaturas amenas, o ITU médio de três dias anteriores apresentou uma relação de 27% com a temperatura do leite. A maior correlação registrada durante o inverno pode ter relação também com a maior amplitude dos valores da TBS durante o inverno (Tabela 2), que permitiu uma maior captação dos possíveis efeitos.

Esses dados têm implicações para as equações de predição de estresse animal, que utilizam as medidas ambientais do mesmo dia e não consideram a particularidade de cada estação do ano.

5.2.5.2.3 Temperatura do pelame x índices de conforto

Todas as correlações entre a TPE e os índices do mesmo dia foram positivas, com exceção do parâmetro mínimo, indicando que o aumento no valor dos índices promoveu o aumento da TPE em todas as estações (Tabela 16). No entanto, os maiores coeficientes entre TPE e ITU e ITGU foram observados durante o verão, comparados com a primavera e o inverno. Esses resultados estão de acordo com o observado entre TPE, TBS e TG, os quais também apresentaram maior coeficiente de correlação durante o verão.

Quanto mais externa em relação ao corpo do animal for a medida de temperatura, maior a sua sensibilidade às variáveis ambientais. Da mesma forma, Kokubo et al. (2004) relataram que a temperatura de pele esteve altamente correlacionada com a TBS, a ITU e a ITGU ($r=0,83$ para as três variáveis) e que a TPE, comparada à FR e à TR, foi a variável fisiológica que mais sofreu influência do ambiente climático. Span & Spiers (1996) trabalharam com novilhas Holandesas e

obtiveram correlações de 0,58 entre a TBS e a TPE, concluindo que a TPE aumentou de acordo com a elevação da TBS. Os autores também atribuíram que a elevação da TPE não ocorreu somente em razão de uma maior carga térmica sobre a pele, mas seria também consequência do maior fluxo de sangue periférico, em função dos ajustes circulatórios para perda de calor.

Tabela 16 – Correlações simples entre índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e temperatura do pelame, em cada estação do ano com parâmetros do mesmo dia e do dia anterior.

Dia	Variáveis	Características	Temperatura do pelame		
			Primavera	Verão	Inverno
Mesmo dia	ITU	Média diurna	0,52055	0,73938	0,48740
		Média noturna	0,33285	0,69181	0,41554
		Máxima	0,51769	0,75128	0,48065
		Mínima	-0,02443	0,39188	0,29397
	ITGU	Média diurna	0,49978	0,75624	0,46485
		Média noturna	0,33333	0,70973	0,40749
		Máxima	0,50437	0,77461	0,45453
		Mínima	-0,02435	0,40478	0,28457
Dia anterior	ITU	Média diurna	-0,09323	0,05425	0,50722
		Média noturna	-0,16743	0,06898	0,23175
		Máxima	0,00824	0,02632	0,51411
		Mínima	-0,18038	0,28526	0,03216
	ITGU	Média diurna	-0,11393	0,06422	0,52483
		Média noturna	-0,17018	0,05091	0,20381
		Máxima	-0,00378	0,02987	0,53466
		Mínima	-0,16447	0,22364	0,01482

Semelhante ao ocorrido com FR e TR, em relação ao ambiente do dia anterior, as correlações para TPE e índices de conforto do dia anterior foram baixas e negativas durante a primavera e o verão, enquanto, no inverno, foram positivas e medianas.

Uma análise mais ampla dos fatores ambientais (variáveis e índices de conforto) sobre as respostas fisiológicas dos animais indica que as variáveis ambientais e os índices de conforto tiveram impacto semelhante sobre as respostas fisiológicas. Legates et al. (1991) relataram que a temperatura do ar apresentou

maior impacto sobre as respostas fisiológicas de vacas Holandesas. Da mesma forma, West et al. (2003), em análise do efeito das variáveis ambientais (TBS e UR) e do ITU sobre respostas fisiológicas de vacas, identificaram a TBS média como a variável de maior impacto sobre a temperatura do leite ($R^2=0,34$).

Os valores diurnos, noturnos e máximos das variáveis ambientais e índices de conforto do mesmo dia da coleta dos dados fisiológicos apresentaram um efeito sobre as respostas fisiológicas. Porém, o ambiente do dia anterior parece não ter influenciado a TR, a FR ou a TPE durante o verão e primavera, mas influenciou as variáveis fisiológicas durante o inverno.

Considerando a TBS e o ITU registrados durante o verão (31°C e 79, respectivamente), esperava-se uma maior evidência de estresse nas respostas de TR, FR e TPE, o que não ocorreu, já que os valores dessas variáveis se mantiveram dentro de uma faixa normal. Conforme já discutido, uma possível explicação pode estar relacionada com a compensação do ambiente noturno, fato este reforçado pelos coeficientes de correlações obtidos entre os parâmetros noturnos e variáveis fisiológicas.

Destacam-se também as semelhanças de comportamento entre a TBS e a TG e entre o ITU e o ITGU. Isso indica que o termômetro de globo não diferenciou o ambiente dentro do *free-stall*, o que explica a semelhança entre os valores de ITU e ITGU.

As correlações canônicas e simples indicaram que, de forma geral, a TPE e a FR foram as variáveis fisiológicas mais influenciadas pelo ambiente.

5.3 Efeito do ambiente climático sobre a produção de leite.

A produção média de leite por animal na primavera, no verão e no inverno, foi de 25,2, 19,6 e 23,7kg/dia, respectivamente. A produção de leite foi maior na

primavera do que no verão ($p < 0,05$) e no inverno ($p < 0,05$), e maior no inverno do que no verão ($p < 0,05$).

Foram obtidas as correlações simples entre as variáveis ambientais (TBS, UR e TG) e os índices de conforto do mesmo dia com a produção de leite para cada estação (Tabela 17). Os resultados indicaram correlações muito baixas entre todas as variáveis e a produção de leite.

Tabela 17 – Correlações simples entre temperatura do ar (TBS), temperatura de globo negro (TG), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) do mesmo dia e a produção de leite em cada estação do ano.

Variáveis	Características	Produção de leite		
		Primavera	Verão	Inverno
TBS	Média diurna	-0,01695	-0,01348	0,00552
	Média noturna	-0,00102	0,01339	0,04542
	Máxima	-0,02162	-0,01227	0,00568
	Mínima	0,02957	0,02100	0,04500
TG	Média diurna	-0,01815	-0,01500	0,00445
	Média noturna	0,00184	0,01134	0,04573
	Máxima	-0,02048	-0,01199	0,00586
	Mínima	0,03497	0,02042	0,04422
UR	Média diurna	0,00138	0,01583	0,03622
	Média noturna	-0,03185	-0,00511	0,06095
	Máxima	-0,04338	-0,01426	0,00076
	Mínima	-0,00724	0,01676	0,03718
ITU	Média diurna	-0,02340	-0,01069	0,02216
	Média noturna	-0,01936	0,01141	0,05505
	Máxima	-0,02886	-0,00869	0,02298
	Mínima	0,01648	0,01713	0,04562
ITGU	Média diurna	-0,02494	-0,01234	0,02080
	Média noturna	-0,01652	0,01002	0,05499
	Máxima	-0,02781	-0,00891	0,02214
	Mínima	0,02149	0,01706	0,04513

As correlações entre variáveis ambientais e índices de conforto de um dia prévio sobre a produção de leite não foram significativas, além de terem sido muito baixas, por isso não são apresentadas. Diferentemente, Linvill & Pardue (1992) relataram que o efeito do ambiente climático de um dia prévio apresentou maior

impacto sobre a produção de leite. No entanto, os autores basearam-se em simulações que incluíram no modelo o total de horas em que o ITU esteve acima de 80 durante o dia prévio.

Quanto maior a duração do estresse térmico mais evidente será o efeito do ambiente sobre o animal, o que justifica porque no presente estudo não foi observado efeito do dia anterior sobre a produção de leite. Apenas o registro de altas TBS durante o dia não implica necessariamente no impacto negativo sobre o animal se este estresse não for prolongado durante algumas horas.

Outra explicação para os baixos efeitos do ambiente sobre a produção de leite pode estar relacionada com o nível médio de produção de leite das vacas utilizadas neste estudo, que foi, no máximo, 25kg/dia. Armstrong (1994) investigou o efeito do ambiente climatizado sobre a produção diária de leite de vacas com níveis de produção alto (acima de 38,5kg), médio (29,5 a 38,5kg) e baixo (menor do que 29,5kg), e observou um maior benefício da climatização sobre a produção de vacas de alta produção.

Johnson et al. (1963) e Hahn et al. (1969) observaram o declínio da produção de leite em função do ITU, com coeficiente de correlação de 0,65. No presente estudo, as correlações foram bem menores ($r=0,02$) do que as observadas na literatura para o ITU médio diurno e a produção de leite. Mas, ressalta-se que grande parte das pesquisas que estabeleceram os efeitos do ITU sobre a produção de leite foi realizada em condições de ambiente controlado, com temperaturas constantes, sem nenhum efeito da velocidade do ar (Berry et al., 1964; Johnson et al., 1963 e Kano, 1968).

5.3.1 Produção de leite x ITU

O ITU médio diurno foi classificado em quatro classes de estresse: ITU menor do que 72, ambiente em condição de conforto (CO), ITU entre 73 e 76 indicando ambiente com estresse mínimo (EMIN), ITU entre 77 e 79 ambiente de estresse moderado (EMO) e ITU maior que 80, ambiente com estresse severo (ESE). As médias de produção de leite por categoria de ITU estão apresentadas na Figura 25.

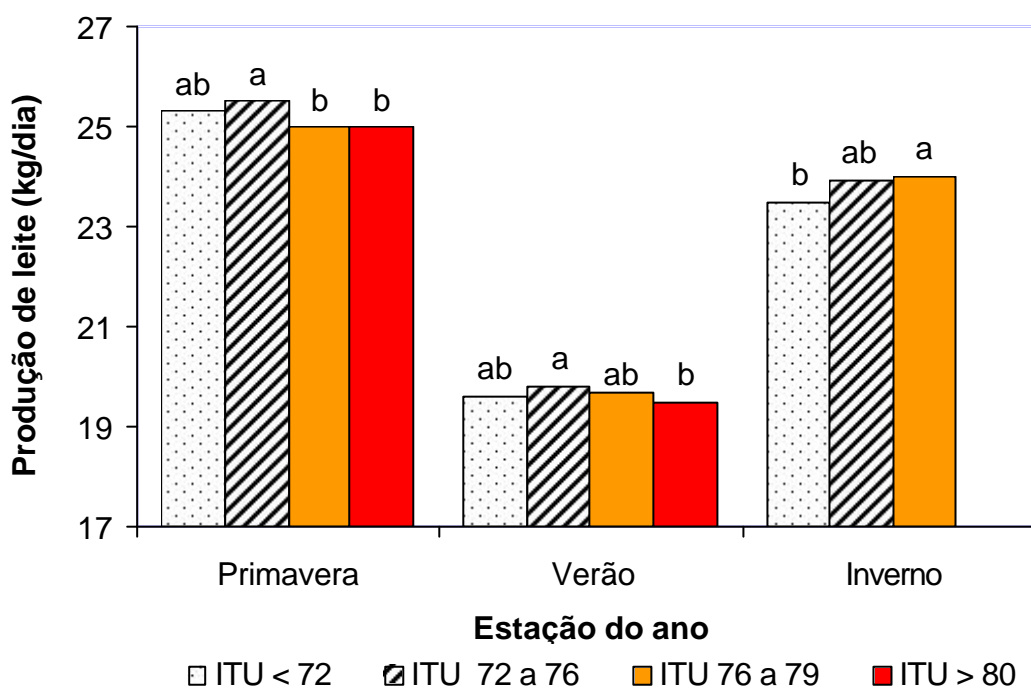


Figura 25 – Produção média de leite por estação do ano em função das classes de ITU

Durante a primavera, as produções de leite das vacas submetidas ao ambiente de CO, EMIN, EMO e ESE foram 25,3, 25,5, 24,9 e 25,0kg/dia, respectivamente. A produção de leite do ambiente EMIN e CO foram semelhantes entre si. A produção de leite sob a condição do EMIN foi maior ($p < 0,001$) em relação a EMO e ESSE, sendo que entre os dois últimos as produções de leite não foi diferente.

Não houve diferença na produção entre os ambientes CO (19,6kg/dia), EMIN (19,8kg/dia) e EMO (19,7kg/dia), durante o verão. Vacas submetidas ao ambiente ESE (19,5kg/dia) tiveram menor produção ($p < 0,05$) do que as do ambiente EMIN (19,8kg/dia).

No inverno, os ambientes foram caracterizados apenas com os três primeiros níveis de ITU, ou seja, CO (23,5kg/dia), EMIN (23,9 kg/dia) e EMO (24kg/dia). A produção de leite sob ambiente CO e EMIN não foram diferentes entre si, porém a produção de leite no ambiente CO (ITU < 72) foi menor do que do ITU entre 76 e 79 (EMO).

De forma geral, as comparações das produções de leite das vacas submetidas a diferentes ambientes térmicos indicaram que a condição de estresse moderado (ITU entre 72 e 79) não apresentou diferença na produção de leite comparado ao ambiente de conforto (ITU < 72). A produção sob EMO no inverno foi maior do que a sob ambiente CO. Muitos fatores além dos climáticos, interferem na produção de leite. Em condições de ambiente confortável (clima ameno), a alimentação interfere em mais de 70% na variação da produção de leite (McDowell et al., 1968) e o controle rigoroso deste fator pode contribuir para a visualização mais clara dos efeitos do ambiente na produção de leite.

Esses resultados sugerem que a caracterização do ambiente por meio do ITU médio diurno não foi eficaz para diagnosticar possíveis reduções na produção de leite. Provavelmente vacas submetidas a apenas um dia de estresse calórico não apresentam reduções na produção. Uma explicação para isso poderia ser a compensação do ambiente noturno mais confortável, permitindo que o animal restabeleça a condição normal do organismo. No presente estudo, foi observado ambiente noturno dentro das faixas de conforto térmico.

5.4 Proposta de um modelo para caracterização do estresse baseado em respostas fisiológicas

Determinar se um animal está em condição de estresse ou não é de extrema importância para permitir que o produtor tome providências para minimizar os efeitos negativos sobre a produção de leite. Medidas fisiológicas realizadas no próprio animal podem servir como ferramentas para caracterizar os níveis de estresse de determinado rebanho em uma dada instalação. As respostas fisiológicas ao estresse não são isoladas e o maior número de variáveis avaliadas pode ajudar a descrever melhor o que está acontecendo, em termos fisiológicos, com aquele animal.

Nesse sentido, para classificar os animais em termos de conforto ou níveis de estresse, foram utilizadas as duas medidas fisiológicas, FR e TPE, que sofreram maior influência das variáveis ambientais. A Tabela 18 descreve a atribuição dos níveis de estresse de acordo com as classes de FR e TPE.

As classes 1 a 4 indicam que o animal está em conforto, enquanto as classes de 5 a 7 indicam que o animal utiliza o seu sistema de termorregulação e apresenta estresse mínimo. As classes 8 e 9 indicam uma condição de alerta, com os animais em condição de estresse moderado a severo, quando as temperaturas corporais estão aumentando.

Tabela 18 – Atribuição dos níveis de estresse em relação às classes de frequência respiratória (FR) e temperatura do pelame (TPE)

FR (mov.min ⁻¹)	TPE (°C)		
	< 24,0	24,0 a 33,0	>33,0
< 40,0	1	2	3
40,0 a 60,0	4	5	6
> 60,0	7	8	9

	Classes 1 a 4 – animal em conforto
	Classes 5 a 7 – animal em estresse mínimo
	Classes 8 e 9 – animal em estresse moderado

A atribuição dos níveis de estresse foi feita de forma que os níveis foram aumentando dentro de uma mesma classe de FR em relação às classes de TPE. Essa forma de atribuição foi julgada mais conveniente, uma vez que os valores normais e de estresse com base na FR são bastante comprovados por estudos anteriores (Rodriguez, 1948; Kelly, 1967; Hanh et al., 1997), sendo esperado que animais com maiores FR apresentem maior nível de estresse. Ao contrário, se a atribuição seguisse uma tendência de aumento de estresse dentro da mesma classe de TPE, um animal com nível três de estresse, por exemplo, apresentaria FR maior (acima de $60\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$) do que um animal do nível 7 (menor do que $40\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$).

A equação para estimar as classes de estresse proposta (Tabela 18), considerando a TPE e a FR, está descrita na Tabela 19.

Tabela 19 – Equação de regressão das variáveis climáticas de maior influência sobre as classes de estresse.

Variáveis	Equação	R ² parcial	R ² do modelo
Intercepto	5,1186		
TBS*	-0,4253	0,337	0,33
TBS ²	0,0112	0,085	0,42
UR**	-0,0459	0,002	0,42
TBS*UR	0,0044	0,011	0,43

* Temperatura de bulbo seco;

** Umidade relativa

O modelo proposto para estimativa das classes de estresse incluiu as variáveis independentes TBS e UR e suas interações e apresentou um R² mediano (0,43), indicando uma boa aderência desse modelo ao conjunto de dados. Outros trabalhos propuseram equações para estimar a influência de variáveis ambientais sobre o desempenho animal. Frazzi et al. (2003) estimou a variação na produção de leite utilizando as variáveis TBS mínima e TBS máxima e obtiveram R² semelhantes ao do presente estudo, com valores de 0,41 a 0,47 para as equações propostas.

Azevedo et al. (2005) estudaram as respostas ao estresse de vacas Holandesas mestiças com diferentes graus genéticos e as equações para predição de FR e TPE apresentaram R^2 de 0,62 e 0,31 respectivamente. Todos esses estudos foram realizados com animais alojados em instalações comerciais, como no presente estudo.

Estudos anteriores, como os de Johnson (1985) e Baêta et al. (1987), estimaram os efeitos do ambiente sobre a produção de leite e obtiveram R^2 mais elevados do que o do presente trabalho, com valores acima de 0,77. Porém estes dois estudos foram conduzidos em câmara climática, que de modo geral acentuam os efeitos do estresse e, embora, apresentem informações mais precisas, não consideram as várias interações animal-ambiente que ocorrem quando os animais são avaliados em instalações típicas de seu sistema de criação.

Portanto, a presente classificação (tabela18) pode servir como uma ferramenta simples para caracterização do nível de estresse do animal, utilizando duas medidas fisiológicas de fácil obtenção, como a FR e a TPE, desde que se tenha o revólver de infravermelho. Por exemplo, se o registro de TPE de um animal dentro de um *free-stall* indicar temperatura de 30°C e FR de 60mov.min⁻¹, este animal estará inserido na classe 5, indicando que pode estar em início de estresse (estresse mínimo) e o produtor poderá adotar a medida de acionar os ventiladores e aspersores, por exemplo.

De outro modo, se o produtor não possuir o revólver de infravermelho, mas existirem os registros de TBS e UR dentro da instalação é possível estimar em qual classe os animais daquele ambiente seriam classificados. Por exemplo, em ambiente com TBS de 30°C e UR de 77%, substituindo na equação proposta (Tabela 19): $Y = 5,1186 - 0,4253 * TBS + 0,0112 * TBS^2 - 0,0459 * UR +$

0,044*TBS*UR, o resultado seria o valor 9, cuja classe indica condição de estresse moderado.

O rápido diagnóstico das condições de estresse pode auxiliar o produtor a adotar medidas para minimizar os efeitos negativos sobre os animais, como por exemplo, o acionamento de ventiladores e ou aspersores. Os índices de conforto têm sido largamente propostos para caracterização do ambiente interno das instalações. O ITU é um dos índices de conforto mais utilizados por ter sido relacionado com o desempenho animal em diversos trabalhos anteriores (Johnson, 1980; Hahn, 1985 e Igono et al.,1992). No entanto, trabalhos mais recentes com vacas Holandesas no Brasil, não atestam a relação do ITU com o desempenho animal com tanta clareza (Martello et al., 2004; Matarazzo, 2004 e Silva et al., 2006). Esse fato está principalmente relacionado com a classificação do ITU quanto aos níveis de estresse sugeridos por Igono et al. (1992) e Johnson (1985), classificação que pode ser aceita para países e animais provenientes de zonas temperadas, mas não necessariamente para países de clima tropical e animais mais aclimatados para esta situação. Segundo Collier et al. (2006), o ITU e o ITGU são índices adequados para estimar as condições ambientais externas às instalações.

A Tabela 20 apresenta os dados descritivos de todas as variáveis fisiológicas e ambientais dentro de cada um dos três níveis de estresse, sugeridos neste estudo (Tabela 18).

A TR média e máxima dos animais classificados no nível de conforto (classes 1 a 4) foram 37,8 e 39,6°C, indicando coerência com a condição de conforto sugerida neste trabalho. Du Preez (2000) referiu-se à TR de 39,5°C como uma condição normal. Nos níveis de estresse mínimo (classes 5 a 7) e moderado

(classes 8 e 9), as TR médias e máximas foram aumentando de acordo com as maiores classificações.

Tabela 20 – Dados descritivos de frequência respiratória (FR), temperatura da pele (TPE), temperatura retal (TR), temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo e umidade (ITGU)

Parâmetros	Variáveis							
	FR (mov.min ⁻¹)	TPE (°C)	TR (°C)	TBS (°C)	TPO (°C)	UR (%)	ITU	ITGU
	Situação de conforto (classes 1 a 4)							
Média	29	31	37,8	19,0	11	65	64	64
Máximo	48	53	39,6	36,7	22	99	83	83
Mínimo	12	18	36,0	5,8	4	24	49	48
	Situação de estresse mínimo (classes 5 a 7)							
Média	47	34	38,3	25,0	15	57	72	72
Máximo	56	43	40,4	36,7	21	98	85	85
Mínimo	40	24	36,0	12,0	4	24	57	56
	Situação de estresse moderado (classes 8 e 9)							
Média	73	35	38,8	27,0	16	55	75	75
Máximo	108	40	41,2	37,0	22	99	85	85
Mínimo	64	26	36,8	17,0	6	24	62	62

Por outro lado, em todos os níveis de estresse, ocorreram valores de ITU e ITGU elevados, principalmente com relação aos valores máximos que ficaram acima de 83. Esse resultado reforça a hipótese de que é necessária maior adequação à aplicação desses índices para caracterizar o ambiente climático a fim de expressar condição de presença ou não de estresse em vacas nos rebanhos nacionais.

Outro aspecto importante é que para extrapolar as equações de predição ou qualquer modelo para classificação de estresse para outros rebanhos, deve-se considerar condições semelhantes às descritas no trabalho de origem. Por exemplo, o uso da metodologia proposta no presente trabalho para classificação de estresse,

deve ser utilizada para vacas Holandesas, com produção média entre 20 a 25 kg/dia, confinadas em uma instalação do tipo *free-stall*, obtendo resultado mais acurado conforme maior semelhança com estes fatores. Além disso, as equações de predição podem ser consistentes somente em determinada região e é preciso ter cuidado para poder extrapolar os resultados para localidades diferentes daquela que originou os registros.

Estimar o ambiente climático que envolve o animal é a chave para o conhecimento das necessidades de resfriamento ou não destes animais. Os aspectos das instalações, tais como, tipo de coberturas, piso, tipo de cama, posicionamento em relação ao sol, aberturas para ventilação, dimensionamento (pé-direito, área de cocho) devem ser considerados para a aplicação de toda ferramenta que visa caracterizar o ambiente que envolve o animal.

6 CONCLUSÕES

Os efeitos do ambiente climático sobre as variáveis fisiológicas foram mais evidentes na comparação entre as duas estações antagônicas, verão e inverno. Os valores de TR, FR e TPE foram mais elevados no verão do que no inverno. Entre a primavera e o verão, os efeitos do ambiente sobre as variáveis fisiológicas não apresentaram grandes diferenças, uma vez que os dois ambientes climáticos foram semelhantes entre si.

Para a TAU, a TVU e a TCAU, os valores máximos ocorreram no período do verão e os valores mínimos ocorreram durante o inverno, o que mostrou a ocorrência de um ciclo anual destas variáveis, e sinalizou que essas temperaturas possuem um padrão sazonal de comportamento. Estudos mais detalhados devem ser conduzidos para avaliar a aplicabilidade dessas variáveis na caracterização do estresse térmico de animais.

Os efeitos das variáveis ambientais sobre a TR, a FR e a TPE mostraram que a TPE e a FR foram as mais influenciadas pelo ambiente climático em todas as estações do ano. O ambiente noturno foi associado às variações da TR, da FR e da TPE. Não houve evidência de efeitos de uma variável ambiental isolada sobre as variáveis fisiológicas, o que indicou a complexidade das relações entre o animal e o ambiente climático.

O efeito do ambiente do dia anterior sobre a TR, FR e TPE foi observado durante a estação mais amena (inverno), enquanto nas estações mais estressantes

(verão e primavera) o ambiente do dia anterior foi pouco correlacionado com as variáveis fisiológicas.

Mesmo com ITU acima do considerado estressante para vacas, não foram evidenciados valores estressantes para TR e FR. Isso indicou que os limites críticos estabelecidos e desenvolvidos em países norte-americanos não devem ser utilizados para as condições nacionais, mesmo ao se utilizarem animais de origem europeia, como os da raça Holandesa, por exemplo.

O ITU e o ITGU apresentaram registros muito semelhantes entre si, sugerindo que, para este tipo de instalação (*free-stall* com cobertura de telhas de fibrocimento), a utilização de um ou outro índice não diferencia o ambiente.

As variáveis climáticas do mesmo dia e do dia anterior não explicaram as variações na produção de leite.

Não houve diferença na produção de leite entre os dias de estresse moderado (ITU entre 76 e 79) e os dias de conforto (ITU < 72).

A classificação de estresse animal, baseada nas medidas de TPE e FR, sugeridas neste trabalho, indicou que mesmo sob ambiente com ITU da ordem de 83, os animais guardavam condição de conforto.

O modelo proposto neste trabalho para classificar os animais quanto ao estresse térmico mostrou boa aderência ao conjunto de dados e pode ser utilizado como uma ferramenta simples e rápida por produtores e técnicos. No entanto, outros estudos devem ser conduzidos para validar o modelo proposto em outros rebanhos e regiões.

7 IMPLICAÇÕES

A limitação do ambiente sobre o desempenho animal é decorrente de complexa interação entre os fatores ambientais, o que é difícil de separar em observações e experimentos de campo. Por outro lado, os resultados do presente estudo indicaram que os parâmetros dos índices de conforto e de temperatura do ar considerados, pela literatura, como limitantes para a produção de leite, não devem ser extrapolados para as condições nacionais. Da mesma forma, também não parece possível encontrar um parâmetro único, seja em termos de ITU ou ITGU, para as condições nacionais.

Desta forma, estudos regionalizados, de acordo com o tipo de animal, as condições ambientais e o manejo poderão contribuir para os avanços tecnológicos que visam minimizar os efeitos negativos do clima quente sobre a produção animal.

8 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, I.S.; BACCARI JR.; GOTTPHEALK A.F. Produção de leite de vacas holandesas em função da temperatura do ar e do índice de temperatura e umidade In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1996. p.17-619.
- ARMSTRONG D.V. Heat stress interaction with shade and cooling, **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2045-2050, 1994.
- AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; SATURNINO, H.M.; LANA, A.M.Q.; SAMPAIO, I.B.M.S.; MORATO, L.E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.6, p. 2000-2008, 2005.
- BACCARI JR.F.; CAMPOS NETO, O.; ROCHA, G.P. Variação fisiológica da temperatura retal das 8 às 18 horas em bovinos holandeses – correlação com a temperatura ambiente e hora do dia. In: JORNADA CIENTÍFICA DA ASSOCIAÇÃO DOS DOCENTES DO CÂMPUS DE BOTUCATU, 7, Botucatu, 1979. **Anais...** Botucatu, p.5-8. 1979.
- BACCARI, F.JR.; FRÉ, C.A.; ASSIS, R.S.; GARCIA, E.A. Valores fisiológicos da temperatura retal em vacas holandesas em clima tropical de altitude. In: ENCONTRO DE PESQUISAS VETERINÁRIAS, 1, Londrina, 1984. **Anais...**Londrina, p.15-22. 1984.
- BACCARI JR. F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: Ed.UEL,142p. 2001
- BAÊTA, F.C.; MEADOR, N.F.; SHANKLIN, MD.; JOHNSON, H.D. Paper presented Meeting of the ASAE, june 28 – july 1, 1987, Baltimore, 21p., mimeo.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: UFV, 246 p.1997.
- BEEDE, D.K.; MALLONEE, P.G.; COLLIER, R.J.; WILCOX, C.J. Milk yield, feed intake, and physiological responses of dairy cows to varying dietary potassium during heat stress. **Journal Animal Science**, v.53, supl.1:381p. 1981.
- BERMAN A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, v.83, p. 1377-1384, 2005.
- BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D.; JOHNSON, H.D. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. **Transactions of ASAE**, n. 7. p. 329, 1964.

- BIANCA, W. Heat tolerance in cattle its concepts: measurements and dependence on modify factors. **International Journal of Biometeorology**, v.5,p. 5-30, 1961.
- BITMAN, J.; LEFCOURT. A.; WOOD, D.L; STROUD, B. Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science** v.67 (Suplemento 1): 191. 1982.
- BITMAN, J.; LEFCOURT, A.; WOOD, D.L.; STROUD, B. Circadian and Ultradian temperature rhythms of lactatin dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 67, p. 1014-1023, 1984.
- BROWN-BRANDL, T.M.; NIENABER, J.A.; EIGENBERG, R.A.; HAHN, G.L.; FREETLY H. Thermoregulatory responses of feeder cattle. **Journal Thermal Biology**. V.28, p.149-157, 2003.
- BUCKLING, R.A.; BOTTCHER, R.W.; VAN WICKLEN, G.L.; CZARICK, M. Reflective roof coatings for heat stress relief in livestock and poultry housing. **App. Eng. Agriculture**, v.9, p. 123-129, 1993.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; TAHTCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (ITGU) as confort equation for dairy cows. St. Joseph, MI, USA. **Transactions of ASAE**, v.24, n. 3. p. 711-14. 1981.
- CARGILL, B.F.; STEWART, R.E. Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows. **Transactions of ASAE**, v.9. p.701-706, 1966.
- CHANDLER, P.T. Problems of heat stress in dairy cattle examined. *Feedstuff*, v.59, n.25, p.15-16.1987.
- CHQUILOFF, M.A.G. Estudo comparativo da tolerância de novilhas das raças Gir, Pardo Suíço, Jersey, Guersey e Holandesa P.B. às condições climáticas de Pedro Leopoldo, Minas Gerais. *Arquivos da Escola de Veterinária*, v.16, p. 19-95. 1964.
- COLLIER, R.J.; ELEY, R.M.; SHARMA, A.K.; PEREIRA, T.M.; BUFFINGTON, D. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein an Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, v.64, p.844-849, 1981.
- COLLIER, R.J.; BEEDE, D.K. Thermal stress as a factor associated with nutrient requirements and interrelationships. In: McDowell, L.R. *Animal feeding and nutrition – a series of monographs*. Academic Press, inc. 1985, p. 59-71.
- COLLIER, R.J.; DAHL, G.E.; VANBAALE, M.J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1244-1253, 2006.
- COPPOCK, C.E.; WEST, J.W. Nutritional adjustments to reduce heat stress in lactating dairy cows. **Proc. Georgia Nutrition Conference for the Feed Industry**. Atlanta, 1986.

- CROWDER, M.J.; HAND, P.J. Analysis of repeated measures. London: Chaman & Holl, 1990. 257p.
- CURTIS, S.E. Environmental management in animal agriculture. Illinois: Animal Environment Services, 1983. 409p.
- DAMASCENO, J.C.; TARGA. L.A. Definição de variáveis climáticas na determinação da resposta de vacas holandesas em um sistema “free-stall”. Engenharia na Agricultura, p. 12-25, v.12(2), 1998.
- DAVIS, M.S; MADER, T.L.; HOLT, S.M.; PARKHURST, A.M.; Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. Journal Animal Science, v.81, p.649-661, 2003.
- DU PREEZ, J.H.; GIESECKE, W.H.; HATTINGH, P.J.; EISENBERG, B.E. Heat stress in dairy cattle under Southern African Conditions. II. Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observe true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Journal Veterinarian Research**, v.57, p. 183-187, 1990.
- DU PREZZ, J.H. Parameters for determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. **Ondertepoort Journal Veterinary Research**, v.67, p. 263-271, 2000.
- EL-KHOJA, M. **Effect of Environmental temperature on lactating dairy cows fed high and low fiber rations**. 1979. Thesis – University of Missouri, Columbia, 1979.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport:Avi Publishing Company Inc., 1982, 325p.
- FEHR, R.L.; PRIDDY, K.T.; McNEILL, S.G.; OVERHULTS, D.G. Limiting swine stress with evaporative cooling in the southeast. **Transactions of ASAE**, v.26, n.4, p.542-545, 1993.
- FRAZZI, E.; CALAMARI, L.; CALEGARI, F. Assessment of a thermal comfort index to estimate the reduction of milk production caused by heat stress in dairy cow herds. In: INTERNATIONAL DAIRY HOUSING PROCEEDINGS, 15. Fort Worth, 2003. **Anais...**Fort Worth, 269 – 276, 2003.
- FURQUAY J.W. Heat stress and it affects animal production. **Livestock Environment**, v.2, p. 1133-1137, 1997.
- HAHN, G.L., OSBURN, D.D. Feasibility of summer environmental control for dairy cattle based on expected production losses. **Transactions of ASAE**. v.12, p. 448, 1969.
- HAHN, G.L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOSEF, M,K, (ed), **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC PRESS, 1985, p.151-174.

- HAHN, G.L.; NIENABER, J.A.; KLEMCHE, H.G.; GOSE, G.L. Body temperature fluctuations in meat animal. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, paper n. 86-4009, Sr.Joseph, 1986.
- HAHN , G.L.; PARKHURST, A.M.; GAUGHAN, J.B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of ASAE**. Paper, n° MC 97-121, 1997.
- HOLTER, J. B.; West. J.W.; McGilliard, M. L.; Pell, N.A. Predicting ad libitum dry matter intake and yields of Jersey cows. **Journal Dairy Science**, v.79, p.912–921, 1996.
- HUBER, J.T. **Alimentação de vacas de alta produção sob condições de stress térmico**. In: HUBER, J.Y. Bovinocultura leiteira. Piracicaba: FEALQ, p. 33-48, 1990.
- IGONO, M. O.; STEEVENS, B.J.; SHANKLIN, M.D.; JOHNSON, H.D. Spray cooling effects on milk production, milk and rectal temperatures of cows during a moderate summer season. **Journal Dairy Science**, v. 68, p.979–985, 1985.
- IGONO, M.O.; BJTVEDT, G.; SANFORD-CRANE, H.T. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holsteins cows in desert climate. **International Journal Biometeorology**, v.36, p. 77-8, 1992.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. Effect of various temperature-humidity combinations on milk production of Holstein cattle. **Missouri Agricultural Experimental Station Research Bulletin**, p.791, 1962.
- JOHNSON, H.D.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. Temperature-humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of Holstein cattle, *Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bul.* 846, 1963.
- JOHNSON, HD. Response of animals to heat. *Meteorological Monography*, 109 p. 1065.
- JOHNSON, H.D. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. **International Journal of Biometeorology**. v.24, p.65-78, 1980.
- JOHNSON, H.D. **Physiological responses and productivity of cattle**. In: YOUSEF, M.K. *Stress physiology in livestock*, v.2, Boca Raton Fla: CRC Press. 1985, p. 3-22.
- JOHNSON, H.D. **Bioclimatology and the adaptation of livestock**. Columbia: Elsevier, 1987, 219p.
- KANO, Y. Study on the effects of environmental temperature on changes in the amount of lactation. **Japan Journal of Veterinarian Science**, v30, p.299- 310, 1968.
- KELLY, W,R. *Veterinary clinical diagnosis*. London: Bailliére Tindal and Cassel, 1967, 247p.

- KELLY, C.F.; BOND, T.E. Bioclimatic factors and their measurement. In: National Academy of Sciences: a guide to environmental research on animals. Washington, 1971.
- KIBLER, H. H.; BRODY, S. Environmental physiology with special reference to domestic animals, x Influence of temperature, 5° to 95°F, on evaporative cooling from the respiratory and exterior surfaces in Jersey and Holstein cows. **Missouri Agricultural Experimental Station Research Bulletin**. 461, Columbia, 1950.
- KOKUBO, M.A; MARCONATO, A.P.; GUARNIERI, E.H.S.; MARTELLO, L.S.; DI CAMPOS, M.S.; DELSIN, H.R.J.; SAVASTANO JR., H. Correlações entre as variáveis ambientais e fisiológicas de vacas em lactação alojadas em instalação tipo free-stall. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 12, Piracicaba, 2004. **Anais...Piracicaba**. 2004.
- KOLB, E. **Fisiologia Veterinária**, 4a ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987, 612p.
- LEE, D.H.R. Climatic stress indices for domestic animals. **International Journal of Biometeorology**, p. 9-29, 1981.
- LEGATES, J.E.; FARTHING, B.R.; CASADY, R.B.; BARRADA, M.S. Body temperature and respiratory rate of lactating dairy cattle under field and chamber conditions. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.2491-2500, 1991.
- LIVESTOCK INDUSTRY FACILITIES & ENVIRONMENT (LIFE). Free stall housing for livestock. Iowa State University – extension, pm-1610, junho, 1995.
- LINVILL, D.E.; PARDUE, F.E. Heat stress and milk production in the South Carolina Coastal plains. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2598-2604, 1992.
- LOUGH, D.S.; BEED, D.L.; WILCOX, C.J. Effects of feed intake and thermal stress on mammary blood flow and other physiological measurements in lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.73, p. 235-332, 1999.
- MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JR., H.; SILVA, S.L.; TITTO, E.A.L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.181-191, 2004.
- MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JR.H.; SILVA, S.L.; MARCONATO, A.P. Correlações entre temperaturas corporais de bovinos leiteiros obtidas em diferentes pontos anatômicos. In: REUNIÃO DE LA ASOCIACIÓN LATINO AMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 29. Tampico, 2005, **Anais...Tampico**.
- MATARAZZO, S.V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento tipo freestall para vacas em lactação**. 2004. 143p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

- McDOWELL, R.E.; LEE, D.H.K.; FOHRMAN, M.H. The measurement of water evaporation from limited areas of a normal body surface. **Journal of Animal Science**, v.17, p. 405-420, 1958.
- MIESCHKE, B.; JOHNSON, E.H.; WENIGER, J.H.; STEINHAUF, D. The effect of heat stress on thermoregulation and performance of lactating cows. **Z. Tierz. Zuchtungsbiologic**, v. 95, p.295, 1979.
- MORAIS, D.A.E.F.; SILVA, R.G.; SOUZA JR., S.C.; GUILHERMINO, M.M.; LIMA, P.O. Correlações entre variáveis ambientais e parâmetros físicos e fisiológicos de adaptação de vacas leiteiras na região semi-árida, In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, Campo Grande, 2004. **Anais...** Campo Grande: SBZ, p.1-3, 2004.
- NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone Ed., 1989.
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; EIGENBERG, R.A. Quantifying livestock responses for heat stress management: a review. **International Journal of Biometeorology**. v.42, p.183- 188, 1999
- PIRES, M.F.A; FERREIRA, A.M.; SATURNINO, H.M.; TEODORO, R.L.Taxa de gestação em fêmeas da raça Holandesa confinadas em *free-stall*, no verão e inverno. **Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária**, v.54, n.1, 2002.
- PORTUGAL J.A.B.; PIRES, M.F.A.; DURÃES, M.C. Efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar sobre a frequência de ingestão de alimentos e de água e de ruminação em vacas da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.52, n.2, p. 1 – 7, 2000.
- PURWANTO, V.P.; ABO, Y.; SAKAMOTO, R.; FURUMOTO, F.; YAMOMOTO, S. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. **Journal Agriculture Science**. V.142, p. 114-139, 1990.
- RODRIGUEZ, T. **Patología general y exploración clínica de los animales domesticos**. 3 ed. Barcelona: Labor, 1948, 325p.
- ROMA JÚNIOR, L.C.; SILVA, I.J.O.; PINHEIRO, M.G.; PIEDADE, S.M.S. Avaliação física do sistema de resfriamento diabático evaporativo (SRAE) em instalações do tipo freestall para bovinos de leite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001.
- ROMA JUNIOR, L.C.; SAVASTANO JR., H.; MARTELLO, L.S.; PINHEIRO, M.G. Cobertura de fibrocimento não-convencional e sistema de climatização: análise física do ambiente de instalações rurais abertas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 4. 2006. Ribeirão Preto. **Anais...**Ribeirão Preto: SBBio, 2006. 1 CD-ROM.
- ROMAN-PONCE, H.; THATCHER, W.W.; BUFFINGTON, D.E.; WILCOX, C.J.; VAN HORN, H.H. Physiological and production responses of dairy cattle to a shade

- structure in a subtropical environment. **Journal of Dairy Science**, v.60, p.424-30, 1977.
- ROSENBERG, L.J.; BIAD, B.L.; VERNIS, S.B. **Human and animal biometeorology**. In: Microclimate-the biological environment, 2,ed. New York: Wiley-Interscience, 1983, p.425-467.
- SAVASTANO JR.; H.; SILVA, I.J.O.; LUZ, P.H.C.; FARIA, D.E. Desempenho de alguns sistemas de cobertura para aviários. **Engenharia Rural**, v.8, n.1, p. 1-11, 1997.
- SAVASTANO JR., H. Sustainable cement based materials and techniques for rural construction. In: AGRIBUILDING 2001, Campinas/SP, **Proceedings**, Concórdia/SC, 2001, p.8-27 (em CD-ROM) /Invited lecture).
- SILVA, O.R.B.; SILVA, R.G.; SCOLAR, J.; GUEDES, J.M.F. Utilização de um índice de conforto térmico no zoneamento bioclimático da ovinocultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.24, n. 5, p.661-669, 1995.
- SILVA, R.G. Equações para estimativa da carga térmica mediante através do globo negro. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE BIOCLIMATOLOGIA ANIMAL, 2, 1989, Jaboticabal. 1989.
- SILVA, R.G.; MINOMO, F.R. Circadian and seasonal variation of the body temperature of sheep in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v.39, p.69-73, 1995.
- SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000, 286p.
- SILVA, R.G.; MORAIS, D.A.E.; GUILHERMINO, M.M. Escolha de índices de estresse térmico para vacas leiteiras em ambiente tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 4. 2006. Ribeirão Preto. **Anais...Ribeirão Preto: SBBio, 2006. 1 CD-ROM.**
- SLEUTJES, M.A.; LIZIERIE, R.S. Conforto térmico do gado leiteiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÕES RURAIS - AGRIBUILDING, 1., 1991, Campinas. **Anais... Campinas:UNICAMP, 1991.**
- SOTA, R.L.Fisiologia ambiental: mecanismos de respostas del animal al estress calórico. In: JORNADA DE MANEJO DEL ESTRSSE CALÓRICO, 1, La Plata, 1996. **Anais...La Plata: EDULP, 1996. p. 1-43.**
- SPAIN, J.N.; SPIERS, D.E. Effects of supplemental shade on thermoregulatory response of calves to heat challenge in a hutch environment.**Journal Dairy Science**, v.79, p.639-646, 1996.
- STOWELL, R.R. Heat stress relief and supplemental cooling. In: DAIRY HOUSING AND EQUIPMENT SYSTEM CONFERENCE, Ithaca, 2000. **Proceedings**, New York: NRAES, 2000.
- THOM, E.C. The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, p. 57-59, 1959.

- UMPHREY, J.E.; MOSS, B.R.; WILCOX, C.J.; VAN HORN, H.H. Interrelationships in Lactating Holsteins of Rectal and Skin Temperatures, Milk Yield and Composition, Dry Matter Intake, Body Weight, and Feed Efficiency in Summer in Alabama. **Journal of Dairy Science**, v.84, p.2680-2685, 2001.
- WEST, J.W.; MULLINIX, B.G.; BERNARD, J.K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p. 232-242, 2003.
- WEST, J.W. Effects of heat stress on production in dairy cattle. **Journal Dairy Science**, v. 86, p. 2131-2144, 2003.
- WHITTIER, J.C. **Hot weather livestock stress**. University Missouri, Mt. Vernon, 1993. Extension Bulletin. G2099.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)