

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TERMORREGULAÇÃO DE
VACAS HOLANDÊS (PB) EM AMBIENTE TROPICAL**

Patric André Castro
Zootecnista

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TERMORREGULAÇÃO DE
VACAS HOLANDÊS (PB) EM AMBIENTE TROPICAL**

Patric André Castro

**Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro
Campos Maia**

**Coorientador: Dr. Vinícius de França
Carvalho Fonseca**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia

2018

C355r Castro, Patric
Respostas fisiológicas e termorregulação de vacas
Holandês (PB) em ambiente tropical / Patric Castro. --
Jaboticabal, 2018
49 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientador: Alex Maia
Coorientador: Vinicius Fonsêca

1. Radiação solar.. 2. Conforto térmico.. 3. Frequência
respiratória., 4. Vacas Holandês., I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TERMORREGULAÇÃO DE VACAS HOLANDÊS (PB) EM AMBIENTE TROPICAL

AUTOR: PATRIC ANDRÉ CASTRO

ORIENTADOR: ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

COORIENTADOR: VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

Pós-doutorando VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. SHEILA TAVARES NASCIMENTO
Departamento de Medicina Veterinária / UnB - Brasília / DF

Prof. Dr. MARCELO SIMÃO DA ROSA
Departamento de Medicina Veterinária / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do SUI de Minas Gerais, Muzambinho

Jaboticabal, 26 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Possui formação técnica e Agroindústria e Gestão pelo Centro Estadual de Educação Profissional Assis Brasil em Clevelândia/Paraná e graduação em Zootecnia com ênfase em produção animal sustentável pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Campus de Chapecó. Com experiência em bioclimatologia, etologia e bem-estar animal. Integrante do Grupo de Ambiência e Bem-Estar Animal (GABA) e egresso do Grupo PETZOO, no qual designou suas atividades de pesquisa e ensino (monitoria voluntária em bioclimatologia animal) nas áreas da bioclimatologia, etologia e bem-estar animal. Integrou a equipe responsável pelo projeto de implantação da Empresa Junior no Curso de Zootecnia (Zootec Jr.), também atuou como Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento desta EJ. Atualmente mestrando em Biometeorologia Animal pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus Jabotical (FCAV-UNESP) - São Paulo. Integrante do Grupo de Inovação em Biometeorologia Animal (INO BIO).

Epígrafe

Não encontre defeitos. Encontre soluções.
Qualquer um sabe queixar-se.

Henry Ford

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças que meu deu ao longo da minha vida, principalmente pelas pessoas que passaram na minha vida, principalmente pela minha família.

Aos meus pais, Pedro e Delci Castro, pela educação, carinho e amor que me deram.

Ao meu filho, Diogo H. de S. Castro pelo carinho, amor, compreensão, confiança e amizade incondicional.

As minhas irmãs Simone, Giselle e Suellen pelo amor, carinho e até mesmo pelas cobranças e atritos que tivemos, pois nos transformamos em quem somos devido as pessoas que nos cercam.

A toda a minha família, Avó (Etermidia Locatelli), tios (Dalgoci, Iraci e Nanci) por todo apoio incondicional sempre que precisei.

As professoras Carolina M. Baretta e Maria Luísa A. N. Zotti pelos conselhos, direcionamento e apoio durante a graduação.

Aos meus colegas amigos e colegas de trabalho do laboratório de Bioclimatologia Animal, Ângela, Ana, Bruno, Carolina, Cíntia, Eric, Gustavo, Elivânia e Tarsys por todo apoio, ajuda e confiança.

Ao Professor Marcelo Simão da Rosa , toda a equipe do setor de bovinocultura de leite e ao Instituto Federal do Sul de Minas - Campus de Muzambinho , por permitirem a apoiarem a execução da pesquisa.

Ao Professor Alex Sandro Campos Maia pelos ensinamentos, compreensão e confiança.

Ao Vinícius de França Carvalho Fonseca pela amizade, ensinamentos, confiança e apoio incondicional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por me conceder uma bolsa, indispensável para a execução da pesquisa (Processo FAPESP N° 2016/11810 - 1).

SUMÁRIO

Certificado da Comissão Interna de Biossegurança	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ABREVIACÕES.....	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Sistemas de Produção e adaptação de Bovinos leiteiros no Brasil	2
2.2. Termorregulação de bovinos leiteiros em ambiente tropical	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Animais, local e desenho experimental.....	13
3.2. Variáveis meteorológicas.....	15
3.3. Variáveis fisiológicas.....	16
3.4. Determinação do equilíbrio térmico	16
3.5. Análise Estatística.....	17
4. RESULTADOS	17
5. DISCUSSÃO	27
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS.....	30
ANEXOS	35
8. MATERIAL SUPLEMENTAR	35
8.1. Animais e Instalações	35
8.2. Habituação e condicionamento de animais	37
8.3. Dados do teste piloto.....	38
8.3.1. 1° Dia: Calibração do espirômetro	38
8.3.2. 2° Dia: Teste do sistema com os animais	39
8.3.3. Gases (O ₂ , CO ₂ e CH ₄)	39
8.3.4. Medidas respiratórias (F , V_E e V_{RC}) e espirômetro	40
8.4. Coletas de dados	42
8.5. Determinação do equilíbrio térmico.....	46
8.5.1. Temperatura radiante média.....	46
8.5.2. Perdas sensíveis de calor	47

8.5.3. Perdas latentes de calor	47
8.5.4. Metabolismo	48
8.6. Estação Meteorológica.....	49
8.7. Produção de Leite	49

Certificado da Comissão Interna de Biossegurança

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS**CERTIFICADO**

Certificamos que o projeto intitulado "Variação circadiana da emissão de metano (CH₄) entérico associado as respostas fisiológicas de vacas holandesas submetidas a um sistema de resfriamento evaporativo visando a economia de água", protocolo nº 7.810/16, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 06 de julho de 2016.

Vigência do Projeto	01/07/2016 a 20/12/2017
Espécie / Linhagem	Bovinos/Holandês
Nº de animais	16 animais
Peso / Idade	600kg / 4, 5 e 6 anos
Sexo	Fêmeas
Origem	FCAV/Unesp

Jaboticabal, 06 de julho de 2016.


Prof.ª Dr.ª Lizandra Amoroso
Coordenadora – CEUA

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TERMORREGULAÇÃO DE VACAS HOLANDÊS (PB) EM AMBIENTE TROPICAL

RESUMO - O estudo dos efeitos do ambiente térmico radiante sobre as respostas fisiológicas e termorregulação de animais sob diferentes ambientes em região tropical pode resultar em achados relevantes sobre a adaptação a esse meio. O presente estudo teve como objetivo investigar as respostas termorregulatórias de vacas da raça Holandesa expostas e protegidas da radiação solar direta. Foram utilizadas doze vacas Holandesas multíparas com produção média de leite de 20 kg, 676 kg de peso vivo e 120 dias de ordenha, foram distribuídas aleatoriamente em quatro quadrados latinos 6x6 sob duas condições ambientais distintas, sendo seis animais destinados a um piquete com pastagem e seis estabulados em galpão tipo Free Stall. As variáveis meteorológicas avaliadas foram temperatura do ar (T_{AR} , °C), umidade relativa (U_R , %), radiação solar (R_S , $W\ m^{-2}$), temperatura radiante média (T_{RM} , °C) e velocidade do vento (V_V , $m\ s^{-1}$). Dados fisiológicos, incluindo frequência respiratória (F_R , resp min^{-1}), ventilação (V_E , $L\ s^{-1}$), proporções dos gases respiratórios (oxigênio, O_2 ; dióxido de carbono, CO_2 ; metano, CH_4), temperatura retal (T_R , °C), da epiderme (T_{EP} , °C) e temperatura superficial (T_S , °C). Ao caracterizar o ambiente térmico radiante foi evidenciado que há um menor gradiente de temperatura entre T_S e T_{RM} em comparação ao gradiente entre T_S e T_{AR} mesmo em animais protegidos da radiação solar direta. A exposição das vacas a radiação solar direta influenciou na elevação das temperaturas profundas e conseqüentemente em maiores perdas de calor de forma sensível e latente em comparação aos animais protegidos da radiação solar, no entanto, a F_R dos animais em ambos os ambientes ficaram numa faixa considerada de normalidade, entre $30,24 \pm 0,45$ a $40,17 \pm 0,72$ resp min^{-1} . As perdas de calor por evaporação do trato respiratório tiveram baixa representatividade no equilíbrio térmico das vacas nos dois ambientes. As perdas de calor por vias sensíveis somadas a evaporação respiratória contribuem para a dissipação de menos de 30% do calor produzido pelo metabolismo, tanto para animais protegido quanto expostos a radiação solar direta.

Palavras-chave: radiação solar, conforto térmico, taxa respiratória

PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND THERMOREGULATION OF HOLSTEIN COWS IN TROPICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT - The study of the effects of radiant thermal environment on the physiological responses and thermoregulation of animals under different environments in a tropical region may result in relevant findings on the adaptation to this environment. This work aimed to investigate the thermoregulatory responses of Holstein cows protected and exposed to direct solar radiation. Twelve multiparous Holstein cows with average milk yield of 20 kg, 676 kg of live weight, and 120 days in milking, were randomly assigned in four 6x6 latin square design under two management system, being six subjects managed on pasture and six in housed system. The following variables were evaluated: air temperature (A_T , °C), relative humidity (R_H , %), solar radiation (S_R , $W\ m^{-2}$), mean radiant temperature (M_{RT} , °C) and wind speed (W_S , $m\ s^{-1}$). Physiological data including respiratory rate (R_R , $breaths\ min^{-1}$), ventilation (V_E , $L\ s^{-1}$), proportions of respiratory gases (oxygen, O_2 ; carbon dioxide, CO_2 ; methane, CH_4). Additionally, rectal (T_R , °C), skin (T_{EP} , °C), and hair coat surface temperature (T_S , °C) were also collected. In characterizing the radiant thermal environment it was evidenced that there is a lower temperature gradient between T_S and T_{RM} compared to the gradient between T_S and T_{AR} even in animals protected from direct solar radiation. The exposure of cows to direct solar radiation influenced the elevation of deep temperatures and consequently greater heat losses in a sensitive and latent way in comparison to the protected animals of solar radiation, however, the RF of the animals in both environments were in a range considered of normal, between 30.24 ± 0.45 to $40.17 \pm 0.72\ resp\ min^{-1}$. The evaporative heat losses of the respiratory tract had low representativeness in the thermal equilibrium of cows in both environments. Heat losses by sensible routes combined with respiratory evaporation contribute to the dissipation of less than 30% of the heat produced by metabolism, both for protected animals and exposed to direct solar radiation.

Key words: solar radiation, thermal comfort, respiratory rate

LISTA DE ABREVIACOES

A = rea da superfície corporal (m^2)

CH_4 = Metano

CH_{4ATM} = Metano inspirado (%)

CH_{4EXP} = Metano liberado no sistema respiratório (%)

CO_2 = Dioxido de carbono (%)

CO_{2ATM} = Proporo de CO_2 na atmosfera (%)

CO_{2EXP} = Proporo de CO_2 no ar expirado (%)

d = dimenso característica do corpo(m)

ECH_4 = Emissão de metano ($L s^{-1}$)

F_R = Frequência respiratória (resp min^{-1})

h_C = Coeficiente de convecção ($W m^{-2} K^{-1}$)

h_G = Coeficiente de convecção do globo negro ($W m^{-2} K^{-1}$)

k = Condutividade térmica do ar ($W m^{-1} ^\circ C^{-1}$)

Nu = Número adimensional de Nusselt.

O_{2ATM} = Proporção de oxigênio na atmosfera (%)

O_{2EXP} = Proporção de oxigênio do ar expirado (%)

Q_{O_2} = Coeficiente calórico do oxigênio ($J L^{-1}$)

$P_{P\{T_{AR}\}}$ = Pressão parcial de vapor a temperatura do ar (kPa)

$P_{S\{T_{EXP}\}}$ = Pressão de saturação do ar expirado (kPa)

$P_{S\{T_S\}}$ = Pressão de saturação da temperatura da superfície (kPa)

Q_{CO_2} = Coeficiente calórico do dioxido de carbono ($J L^{-1}$)

q''_{CONV} = Fluxo de calor por convecção ($W m^{-2}$)

q''_{ER} = Perda de calor por evaporação respiratória ($W m^{-2}$)

q''_{ES} = Perda de calor por evaporação da superfície do animal ($W m^{-2}$)

q''_{MET} = Metabolismo ($W m^{-2}$)

q''_{RL} = Fluxo de calor por radiação ($W m^{-2}$)

R_S = Radiação de solar ($W m^{-2}$)

T_A = Temperatura do ar ($^\circ C$)

T_{EP} = Temperatura da epiderme ($^\circ C$)

T_{EXP} = Temperatura do ar expirado ($^{\circ}C$)

T_S = Temperatura da superfície ($^{\circ}C$)

T_R = Temperatura retal ($^{\circ}C$)

T_{RM} = Temperatura radiante média ($^{\circ}C$)

T_{RMSOL} = Temperatura radiante média ao sol ($^{\circ}C$)

T_G = Temperatura do globo negro ($^{\circ}C$)

ϵ_G = Emissividade do globo negro

U_R = Umidade relativa da atmosfera (%)

V_{RC} = Volume respiratório corrente ($L \text{ resp.}^{-1}$)

λ = Calor latente ($J \text{ g}^{-1}$)

σ = Constante de Stefan-Boltzman ($W \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

Ψ_{ATM} = Umidade absoluta da atmosfera ($g \text{ m}^{-3}$)

Ψ_{EXP} = Umidade absoluta do ar expirado ($g \text{ m}^{-3}$)

Ψ_S = Umidade absoluta do ar que passa pelo interior da cápsula ($g \text{ m}^{-3}$)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perda de calor latente (o) e sensível (+) de vacas Holandesas manejadas em ambiente tropical como função da temperatura do ar. Adaptado de Maia et al. (2005a).	7
Figura 2 - Layout do delineamento experimental.	14
Figura 3- Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da velocidade do vento (V_V , $m\ s^{-1}$), temperatura do ar (T_{AR} , $^{\circ}C$), umidade relativa (U_R , $^{\circ}C$), temperatura radiante média (T_{RM} , $^{\circ}C$) e radiação solar (R_s , $W\ m^{-2}$).	18
Figura 4 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da diferença entre oxigênio do ar expirado ($O_{2\ EXP}$, %) e oxigênio do ar da atmosfera ($O_{2\ ATM}$, %), diferença entre o dióxido de carbono do ar expirado ($CO_{2\ EXP}$, %) e dióxido de carbono do ar da atmosfera (CO_{2ATM} , %), fluxo de calor metabólico (q_{MET} , $W\ m^{-2}$).	22
Figura 5 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura do ar expirado (T_{EXP} , $^{\circ}C$), temperatura retal (T_R , $^{\circ}C$), temperatura da epiderme (T_{EP} , $^{\circ}C$), temperatura superficial (T_S , $^{\circ}C$), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura do ar ($T_S - T_{AR}$, $^{\circ}C$), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura radiante média ($T_S - T_{RM}$, $^{\circ}C$).	24
Figura 6 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) do fluxo de calor metabólico (q^{MET} , $W\ m^{-2}$), fluxo de calor por convecção (q^{CONV} , $W\ m^{-2}$), fluxo de calor por evaporação respiratória (q^{ER} , $W\ m^{-2}$), fluxo de calor radiação de ondas longas (q^{RL} , $W\ m^{-2}$), fluxo de calor de forma sensível (q^{CONV} , $W\ m^{-2} + q^{RAD}$, $W\ m^{-2}$).	25
Figura 7 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da pressão de saturação de vapor do ar expirado ($P_S \{T_{EXP}\}$, kPa), pressão de parcial de vapor do ar da atmosfera ($P_P \{T_{ATM}\}$, kPa), diferença entre ($P_S \{T_{EXP}\}$ e $P_P \{T_{ATM}\}$, kPa), fluxo de calor pela evaporação no trato respiratório ($W\ m^{-2}$).	27
Figura 8 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura do ar expirado (T_{EXP} , $^{\circ}C$), temperatura retal (T_R , $^{\circ}C$), temperatura da epiderme (T_{EP} , $^{\circ}C$), temperatura superficial (T_S , $^{\circ}C$), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura do ar ($T_S - T_{AR}$, $^{\circ}C$), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura radiante média ($T_S - T_{RM}$, $^{\circ}C$).	27
Figura 9 - Animais em ambiente protegido da radiação solar direta.....	36
Figura 10 - A) Suplementação de vacas expostas à radiação solar direta; B) Área de pastagem.	36
Figura 11 - Condução de vacas para a área de pastagem.	37
Figura 12 - A) Condicionamento de vacas expostas à radiação solar direta; B) Condicionamento de vacas protegidas da radiação solar direta.	38

Figura 13 - Volume injetado com seringa em intervalos de 10 minutos (Obs: os pontos referem-se a duas curvas selecionadas).....	39
Figura 14 - Teste e calibração dos equipamentos A) Animal protegido da radiação solar direta. B) Animal exposto à radiação solar direta.	39
Figura 15 - Medidas dos gases no baseline às 19:00 h.....	40
Figura 16 - Customização dos dados de ventilação e frequência.....	41
Figura 17 - Trecho extraído.....	41
Figura 18- Plot $F * V_E$	42
Figura 19 - Plot $F * V_{RC}$	42
Figura 20 - Representação esquemática do sistema de medidas fisiológicas. (A) máscara facial, (B) cabeçal de fluxo, (C) câmara misturadora de ar, (D) analisador de vapor de H ₂ O, (E) sensor de temperatura do ar expirado, (F) sistema de aquisição de dados, (G) espirômetro, (H) computador, (I) dissecante, (J) terminal para termistores, (K) são as bombas aspiradoras de ar, (L) coletor de saliva, (CO ₂) analisador de CO ₂ , (O ₂) analisador de O ₂ , (CH ₄) analisador de CH ₄ , (H ₂ O) analisador de vapor de H ₂ O.....	45
Figura 21 - A) Registo de dados de vacas protegidas da radiação solar direta; B) Registo de dados de vacas expostas à radiação solar direta.....	45
Figura 22 - A) Sensor de temperatura da epiderme; B) Sensor da temperatura da superficial; C) Cápsula ventilada.....	46
Figura 23 - A) Analisadores de gás (CH ₄ , CO ₂ e O ₂) e pressão de vapor (atmosfera, ar expirado e cápsula ventilada); B) Visão geral do sistema de medição fisiológica (SMF).....	46
Figura 24 - Estação meteorológica colocada perto da área do pasto.	49
Figura 25 - A) Vista frontal da disposição das vacas na sala de ordenha; B) Ordenha das vacas; C) Avaliação da produção de leite.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de correlação de seis índices bioclimáticos calculados para vacas de Holandesas e Jersey, com respostas dos animais a um ambiente tropical.	10
Tabela 2. Composição nutricional dos alimentos	15

1. INTRODUÇÃO

Devido a evolução de vacas Holandês Preta e Branca (PB) em regiões tropicais, alterações na frequência gênica da população resultaram em modificações nas características morfológicas, fisiológicas e produtivas. Ao ponto que, animais como vacas Holandês Preto e Branco (PB) em região tropical são bem diferentes de exemplares contemporâneos ou animais da mesma raça manejados em clima temperado, Maia et al., (2005b). Resultado da exposição desses animais as condições ambientais dessas regiões, como elevados níveis de carga térmica radiante, temperatura do ar e umidade relativa.

A exposição a essas condições ambientais podem refletir na elevação dos custos energéticos para a exigência de manutenção. Acarretando em ajustes fisiológicos no intuito de garantir a manutenção da homeotermia, no entanto, funções reprodutivas e produtivas podem ser comprometidas (Renaudeau et al., 2011; Bernabucci et al., 2010). O ambiente térmico radiante em região tropical pode afetar até mesmo as respostas fisiológicas e termorregulação de vacas Holandês (PB) oriundas dessas regiões. De forma que a termorregulação desses animais em ambiente tropical tem sido frequentemente investigada e determinada por diversos autores, (daSilva et al., 1989; daSilva, 1999; daSilva, 2000; Maia et al., 2005b; Maia et al., 2005c; daSilva et al., 2007; Maia et al., 2008; daSilva e Maia, 2011; Oliveira et al., 2014; Nascimento et al., 2017; Santos et al., 2017).

Maia et al. (2005b) determinaram o equilíbrio térmico de vacas Holandesas protegidas da radiação solar, numa faixa de temperatura do ar entre 10 a 35 °C e temperatura radiante média alcançando valores máximos de 40 °C. De acordo com esses autores, a perda de calor por evaporação cutânea foi responsável por 20-30% da perda total de calor quando a temperatura do ar esteve entre 10 e 20 °C. No entanto, com aumento da temperatura, a evaporação cutânea na superfície cutânea ganhou progressiva importância, e quando os níveis da temperatura estiveram maiores que 28 °C, essa via latente passou a ser o principal caminho para transferência de energia térmica. Nestas condições, mecanismos sensíveis passaram a ser pouco significativos em virtude do baixo gradiente de temperatura da superfície do pelame com o meio.

Investigações sobre a influência da radiação solar sobre o equilíbrio térmico de vacas holandês (PB) em ambiente tropical, especialmente com

relação aos efeitos provocados sobre o metabolismo incluindo o consumo de oxigênio, produção de dióxido de carbono, além do balanço de calor sensível e latente são importantes balizadores para tomadas de decisões referentes escolha de rebanho, sistemas de criação a manejos a serem adotados em região tropical. A partir dessa investigação, objetivou-se avaliar a influência do ambiente térmico radiante sobre as respostas fisiológicas e equilíbrio térmico de vacas Holandês (PB) em ambiente tropical.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de Produção e adaptação de Bovinos leiteiros no Brasil

No ano de 2017 estima-se que a produção anual de leite bovino no Brasil tenha alcançado os 37 bilhões de litros, sendo as regiões sul e sudeste responsáveis por quase 70% desse volume (IBGE, 2017). Melhorias no padrão genético dos animais, ajustes de manejo, nutrição, sanidade e modificações nas instalações têm contribuído para melhores índices produtivos na atividade, no entanto, quando comparado com outros países de tradição na pecuária leiteira como Nova Zelândia e Estados Unidos, os níveis de produtividade ainda são baixos. O aumento na produção de leite no Brasil dos anos 70 até os dias atuais acompanhou também um crescimento expressivo no número de vacas ordenhadas. Melhorias sensíveis na produtividade puderam ser observadas nos últimos quinze anos, passando de uma média de 759 kg de leite/vaca ano⁻¹ em 1990 para 1.525 kg no ano de 2014.

Numa outra realidade, entre os anos de 1944 a 2011, a produção de leite aumentou quatro vezes mais nos Estados Unidos, a qual, diferente do Brasil, foi acompanhada de uma redução significativa no número de animais. Em termos de produtividade, a produção média de leite aumentou de 2.361 kg/vaca ano⁻¹ no ano de 1950 para 9.702 kg em 2011. Dados recentes sugerem que a indústria americana de lácteos produz 59% mais leite com 64% menos animais, consumindo 77% menos alimento e 65% menos água por litro de leite produzido em comparação com o ano de 1950 (von Keyserlinkg et al., 2013). Tais informações deixam claro o potencial de melhorias que ainda podem ser acrescentadas para tornar os sistemas de produção de leite no Brasil mais eficientes.

A produção de leite no Brasil é, em sua grande maioria, mantida por sistemas semi-intensivo à pasto, porém, como já mencionado, pouco eficiente. Essa baixa eficiência deve-se, principalmente, a sazonalidade na produção de forragens e diminuição na produção de leite e rentabilidade em vários meses do ano (Bernardino et al., 2011). Pesquisas têm sugerido métodos mais eficientes na intensificação dos sistemas de produção animal à pasto, os quais compreendem a adubação nitrogenada, ajustes na taxa de lotação, rotação de culturas, otimização na reciclagem de nutrientes, melhoramento e seleção de forragens mais adaptadas, entre outros meios que visem aumentar a disponibilidade de forragem para os sistemas produtivos (Gimenes et al., 2011; Brambilla et al., 2012).

Outro fator que afeta negativamente o desempenho de bovinos de leite manejados a campo é a exposição direta aos níveis elevados de carga térmica radiante, temperatura do ar e em algumas regiões do Brasil, como no sudeste, combinados com alta umidade. Quando vacas são submetidas ao estresse por calor, os custos energéticos para a exigência de manutenção aumentam. Nesse estado, ajustes no metabolismo, sistema vasomotor e cardiovascular devem garantir a manutenção da homeotermia, contudo, funções reprodutivas e produtivas podem ser comprometidas (Renaudeau et al., 2011; Bernabucci et al., 2010). No Brasil, ainda não foram estimados os prejuízos na atividade leiteira em decorrência do estresse por calor. A redução na produção de leite e fertilidade do rebanho em consequência do estresse por calor geram prejuízos na ordem de 900 milhões de dólares anuais nos Estados Unidos (von Keyserlinkg et al., 2013).

A seleção de animais tolerantes a climas quentes e modificações físicas no ambiente são medidas primárias na redução dos efeitos adversos do ambiente climático sobre a produção animal (Kadzere et al., 2002). No início do século XX (1920 - 1930), em decorrência do aumento na demanda por produtos de origem animal e crescimento da indústria láctea no Brasil (Vilela et al., 2017), tentativas preliminares na importação de raças de bovinos leiteiros (*Bos taurus*) oriundas de climas temperados foram fracassadas. Esses animais não possuíam características fenotípicas compatíveis com as condições ambientais encontradas, especialmente as relacionadas à tolerância ao calor, não sendo capazes de expressar seu potencial de produção. De fato, há diferenças

marcantes entre as condições térmicas tropicais e latitudes temperadas. Níveis elevados de radiação solar e temperatura do ar são características comuns do ambiente tropical; além disso, a temperatura radiante média é frequentemente maior que atmosférica, mesmo em condições de ambiente protegido da radiação solar de ondas curtas. Tais condições são bem diferentes das que ocorrem nas regiões de clima temperado, nas quais a temperatura do ar é mais baixa que a corporal dos animais e a temperatura radiante média raramente ultrapassa do ar (Silva, 1999; Silva et al., 2012).

No início da década de quarenta foram realizados os primeiros cruzamentos entre bovinos da raça Holandesa e Gir (Raça de bovino exótico importado da Índia). Produtores e pesquisadores desejavam obter animais produtivos, porém, mais tolerantes às condições de ambiente tropical. A produção média de leite registrada em mais de 4500 lactações de vacas cruzadas (Holandês x Gir) foi de 2,574 kg em 305 dias, sendo maior que a média (1,600 kg) observada para vacas Gir na Índia (Facó et al., 2008). De uma forma geral, os animais resultantes do cruzamento entre genótipos taurinos e zebuínos constituem uma parte expressiva do leite produzido no país. O rebanho mestiço representa 95% do rebanho de gado leiteiro no Brasil, sendo responsável por cerca de 70% da produção de leite (Alvim et al., 2005), com predominância da raça Holandesa. Ademais, os aspectos fenotípicos de vacas Holandesas puras criadas no Brasil são bem diferentes de exemplares contemporâneos ou animais da mesma raça manejados em clima temperado (Silva et al., 2001; Maia et al., 2003; Maia et al., 2005). Alterações na frequência gênica da população de bovinos Holandeses no Brasil acarretadas por pelo menos 80 anos de evolução explicam essas diferenças, as quais incluem características morfológicas, fisiológicas e produtivas.

2.2. Termorregulação de bovinos leiteiros em ambiente tropical

Os seres vivos são sistemas termodinâmicos que necessitam de energia para manter sua organização e estão em constante interação com o meio ambiente. Conforme enuncia a primeira lei de conservação de energia em um volume de controle “*a variação na quantidade de energia térmica em um volume de controle deve ser igual à quantidade de energia térmica que entra no volume*

de controle menos a quantidade de energia térmica que sai do volume de controle, mais a quantidade de energia térmica gerada no interior do volume de controle, durante um intervalo de tempo (Δt)". Com base nessa lei, é possível expressar o balanço de calor de um bovino como:

$${}_{(\alpha)}R_C + M + H_{est} \pm R_L \pm C_S - C_R \pm K - E_S - E_R = \Delta q''$$

em que ${}_{(\alpha)}R_C$ é a irradiância de ondas curtas, sendo a quantidade absorvida na superfície do animal dependente do coeficiente de absorvância; M representa a quantidade de calor gerada por meio do metabolismo; H_{est} é a taxa de estocagem de energia térmica; ${}_{(\alpha)}R_L$ é a quantidade de energia térmica trocada via radiação de ondas longas entre animal e ambiente; C_S é o fluxo de calor via convecção na superfície do animal; C_R é o fluxo de calor eliminado via convecção respiratória; E_S representa a transferência de calor por meio da evaporação cutânea; E_R é o fluxo de calor por meio da evaporação pelo trato respiratório; por fim, $\Delta q''$ é a variação da energia térmica interna no tempo. Em ambiente tropical, nos horários de maior carga térmica radiante, a transferência de calor por condução (K) pode ser considerada desprezível em função do contato físico direto entre as superfícies do corpo e do ambiente ser bastante limitado (Silva, 2000).

A termorregulação de bovinos leiteiros em ambiente tropical tem sido frequentemente investigada e determinada por diversos autores, (daSilva et al., 1989; daSilva, 1999; daSilva, 2000; Maia et al., 2005b; Maia et al., 2005c; daSilva et al., 2007; Maia et al., 2008; daSilva et al., 2010; daSilva e Maia, 2011; Oliveira et al., 2014; daSilva et al., 2015; Nascimento et al., 2017; Santos et al., 2017). Em pesquisas preliminares, daSilva (1999) e daSilva (2000), sugeriram modelos matemáticos para descrever o equilíbrio térmico de bovinos leiteiros manejados à pasto em ambiente tropical, pelo fato de que, até esse momento, modelos disponíveis na literatura para estudar a termorregulação de bovinos tinham sido desenvolvidos para animais manejados em latitudes temperadas (Monteith, 1974; McArthur, 1987). Os achados desses estudos deixaram clara a significância do ambiente térmico radiante sobre o balanço de calor de vacas manejadas em ambiente tropical, mesmo quando os animais são protegidos da radiação solar. Neste sentido, quais as características fenotípicas ideias para

bovinos de leite manejados em ambiente tropical? Numa sequência de estudos (daSilva et al., 2001; daSilva et al., 2003; Maia et al., 2003; Maia et al., 2005a; Maia et al., 2009) evidenciaram que esses animais devem possuir uma superfície cutânea coberta com pelos num menor ângulo de inclinação possível, denso, curtos e claros. No entanto, a exceção dos bovinos da raça Jersey, a coloração do pelame acompanha à da pele em animais da raça holandesa; portanto, apesar de absorverem quase que duas vezes mais energia térmica via radiação, vacas com predominância de pelame preto apresentam vantagens em comparação com as de pelame branco, pelo fato de possuírem maior proteção aos tecidos profundos da epiderme, especialmente contra radiação solar ultravioleta ($\lambda = 0,200 - 0,300 \mu\text{m}$; daSilva et al., 2001).

Em certos limites de temperatura, a manutenção da temperatura corporal é alcançada com gasto mínimo da energia metabolizável, enquanto que, abaixo ou acima destes limites, a homeostase térmica torna-se mais dispendiosa para o animal. A faixa de variação da temperatura ambiente na qual a taxa metabólica é relativamente constante, sendo o controle da temperatura corporal proporcionado por mecanismos não evaporativos, é definida por Silva (2008) como zona de termoneutralidade. No limite mínimo desta faixa de temperatura (limite crítico inferior - LCI), a quantidade de calor produzido pelo metabolismo começa a ser menor que a transferida para o ambiente, havendo necessidade de reposição; assim, é recrutado o aumento na termogênese até certo limite, na qual não seja mais possível sustentar a homeotermia (limite de sobrevivência). Para bovinos leiteiros manejados em ambiente tropical, o frio parece não ser um desafio, à exceção de bezerros neonatos, os quais possuem uma alta relação superfície massa, e dependendo das condições de ambiente térmico que esses animais sejam submetidos após o nascimento, a termorregulação desses animais poderá ser dificultada, no entanto, é algo que ainda não foi investigado.

O inverso desta condição, no limite crítico superior (LCS), os meios evaporativos assumem maior importância no controle da temperatura corporal, também até um limite que não seja mais suficiente para manter a temperatura corporal dentro de níveis estreitos de variação. Berman (2011) sugere que o limite de temperatura crítica superior para bovinos de raças especializadas é entre 23 e 25 °C; de semelhante modo, Collier et al. (1981) relataram declínio na produção de vacas Holandesas confinadas quando a temperatura de globo

negro foi maior que 25 °C. Entretanto, condições de ambiente térmico as vias evaporativas começam a ganhar maior importância no balanço de calor de vacas leiteiras manejadas em clima tropical? Com este intuito, Maia et al. (2005b) determinaram o equilíbrio térmico de vacas Holandesas protegidas da radiação solar, numa faixa de temperatura do ar entre 10 a 35 °C e temperatura radiante média alcançando valores máximos de 40 °C. De acordo com esses autores, a perda de calor por evaporação cutânea foi responsável por 20-30% da perda total de calor quando a temperatura do ar esteve entre 10 e 20 °C. No entanto, com aumento da temperatura, a evaporação na superfície cutânea ganhou progressiva importância, e quando os níveis de temperatura estiveram maiores que 28 °C, essa via passou a ser o principal caminho para transferência de energia térmica (Figura 1). Nestas condições, mecanismos sensíveis passaram a ser pouco significativos em virtude do baixo gradiente de temperatura da superfície do pelame com o meio; na verdade, em alguns momentos do dia, a temperatura radiante média foi maior que a do pelame, acarretando num ganho líquido de calor por radiação de ondas longas.

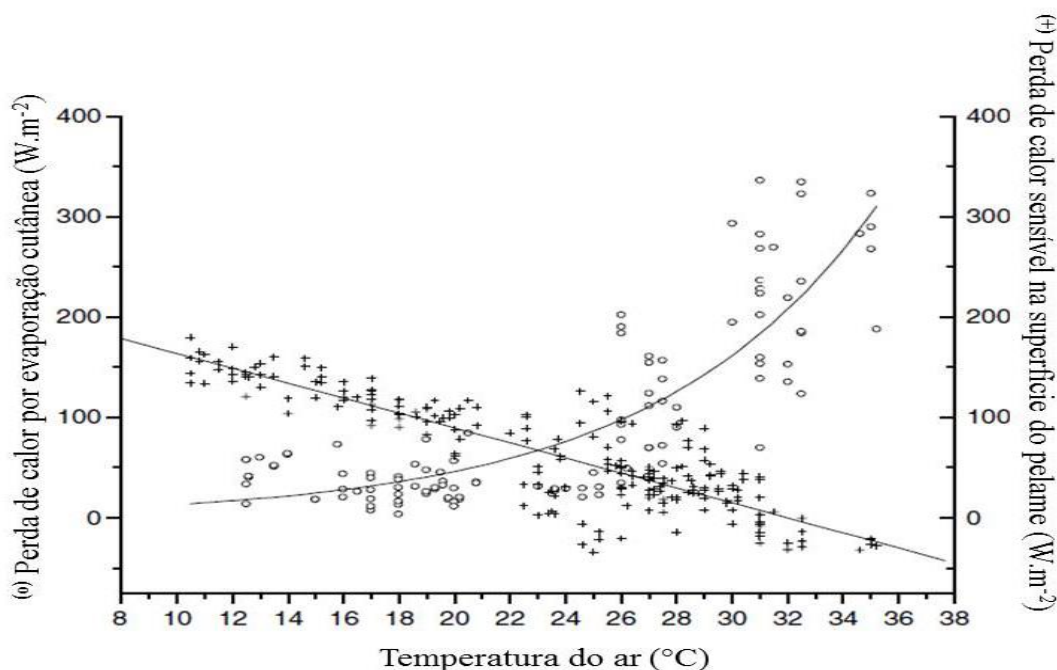


Figura 1 - Perda de calor latente (o) e sensível (+) de vacas Holandesas manejadas em ambiente tropical como função da temperatura do ar. Adaptado de Maia et al. (2005a).

A capacidade para lidar com ambiente de elevada carga térmica radiante é proporcional à habilidade dos animais transferirem energia térmica via evaporação na superfície cutânea, a qual pode representar quase que 90 % do total de energia térmica transferida para o meio (Berman, 2006). Contudo, os métodos disponíveis para medir a evaporação cutânea requer contenção do animal, sendo dificultada sua obtenção a campo. Assim, Silva e Maia (2011) propuseram um modelo exponencial para prever a evaporação na superfície cutânea com base na temperatura de superfície do pelame; mais adiante, Santos et al. (2017) utilizaram esse modelo para prever a evaporação cutânea de vacas Holandesas manejadas em ambiente equatorial, encontrando valores próximos de medidas reais realizadas com animais da mesma raça e sob condições semelhantes de ambiente térmico. Em síntese, nessas investigações anteriores, ficou evidente a influência do ambiente térmico radiante sobre a termorregulação de vacas holandesas manejadas em ambiente tropical.

Silva et al. (2010) esclareceram qual a quantidade de radiação de ondas longas (emitida pelo céu e superfície do solo) e radiação solar de ondas curtas (direta, difusa e refletida) vacas holandesas mantidas a pasto absorvem; além disso, propuseram ajustes nas equações para cálculo da carga térmica de radiação e temperatura radiante média, incluindo o efeito da radiação difusa para avaliação em ambientes protegidos da radiação solar direta, e evidenciaram a importância de caracterizarmos o ambiente térmico em termos de temperatura radiante média. De acordo com esses autores, vacas holandesas manejadas numa pastagem em ambiente tropical podem absorver próximo de 640 W m^{-2} de energia térmica radiante, das quais, 56 % é representado pela radiação de ondas longas e o restante via radiação solar de ondas curtas, sendo fundamental oferecer sombra para esses animais. De fato, Oliveira et al. (2014) observaram que quando os níveis de radiação estavam entre 600 e 700 W m^{-2} , vacas holandesas eram motivadas a cessarem o pastejo e buscarem a sombra; neste sentido, qual o impacto desses achados sobre a eficiência no manejo de vacas leiteiras criadas á pasto? O estabelecimento dos horários de ordenha e liberação dos animais para as áreas de pasto, entre outros aspectos, pode ser direcionado com base nesses resultados. DaSilva et al. (2012) já tinham relatado acerca da necessidade de mais estudos sobre adequação dos horários de pastejo para bovinos criados nos trópicos; por exemplo, estes autores sugeriram o pastejo

ocorrendo no período noturno e primeiras (06:00 às 08:00) e últimos horários do dia (17:00 em diante), oferecendo-lhes áreas de descanso com sombra e possivelmente tratamento com aspersão de água nos horários mais quentes do dia.

Os custos com a homeotermia aumentam quando os animais são expostos à radiação solar; o aumento substancial no recrutamento das vias evaporativas para manutenção do equilíbrio térmico por meio da sudação e ofegação são alguns dos indicadores. No entanto, a exposição contínua a essa situação pode levar o animal apresentar um fenótipo alternativo, sendo esse fenômeno descrito por aclimação (Silva e Maia, 2013). Alterações em padrões bioquímicos, fisiológicos e no balanço de energia térmica estabelecem novos limiares de resposta à ação do agente estressor, neste caso, o ambiente térmico. Os efeitos mais comuns observados são: queda no consumo de alimentos, metabolismo, taxa respiratória e sudação; em certos limites do ambiente térmico, esses ajustes ajudam o animal a lidar com o agente estressor de maneira menos custosa. No entanto, uma diminuição significativa na produção de leite, além de alterações em seus constituintes, principalmente proteína, são os principais impactos negativos decorrentes do processo de aclimação em bovinos leiteiros (Renodeau et al., 2012). Alguns estudos na literatura com bovinos leiteiros confirmaram que o processo de aclimação pode ocorrer 3 dias a duas semanas após os animais serem submetidos a novos desafios ambientais (Bianca et al. 1959; Newton et al. 1978; Johnson et al. 1988; Nienaber e Hahn, 2007).

Índices como ITU (Thom, 1958), ITGU (Buffington et al., 1986), ETI (Baeta et al., 1987), HLI (Gaughan et al., 2002) são frequentemente utilizados para prever os efeitos do ambiente térmico sobre o balanço de calor dos animais em ambiente tropical e para auxiliar na tomada de decisões. No entanto, a maioria dos índices bioclimáticos disponível na literatura foi construído em condições de clima temperado, limitando sensivelmente sua aplicação em ambiente tropical. Os índices mais comuns são construídos com base na relação simples da temperatura e umidade do ar, não levando em consideração os efeitos de outras variáveis meteorológicas importantes como vento e principalmente, o ambiente térmico radiante. Outro ponto importante é que por se tratar de equações de regressão simples, não é atribuído peso aos efeitos combinados de U_R e T_{AR} nos casos de ITU e ITGU. Em estudo com vacas Holandesas manejadas em

ambiente equatorial, daSilva et al. (2007) verificaram baixa correlação da taxa respiratória e temperatura retal com os níveis de ITU, ITGU, entre outros índices bioclimáticos, comprovando tais limitações (Tabela 1). Com base nisso, daSilva et al. (2015) utilizando modelos de análise multivariada por componentes principais, desenvolveram um índice bioclimático (ITSC) para bovinos leiteiros manejados em ambiente tropical levando em consideração variáveis meteorológicas e fisiológicas; os resultados constataram correlações moderadas desses índices com algumas respostas fisiológicas como temperatura retal, taxa respiratória e evaporação na superfície cutânea.

Tabela 1. Coeficientes de correlação de seis índices bioclimáticos calculados para vacas de Holandesas e Jersey, com respostas dos animais a um ambiente tropical.

Índices Bioclimáticos	Temperatura Retal	Frequência Respiratória
ITU Thom (1959)	-0,053ns	0,099**
ITGU Buffington et al. (1981)	0,054ns	0,155**
ETI Baeta et al. (1987)	0,293**	0,520**
ESI Moran et al. (2002)	0,209**	0,464**
HLI Gaughan et al. (2002)	0,286**	0,542**
RR Eigenberg et al. (2002, 2003)	0,114**	0,344**

ns = não significativo ** P<0,01.

Adaptado de Silva et al. 2007

2.3. Medidas para aliviar o estresse por calor de vacas Holandesas em ambientes quentes

A oferta de sombra aparece como ajuste primário nas condições de criação a pasto, especialmente para animais manejados em ambiente tropical; os benefícios da oferta de sombra consistem na preservação dos mecanismos

de perda de calor sensível pela redução na temperatura radiante média. Trabalhos desenvolvidos no laboratório de Biometeorologia da UNESP - Jaboticabal, confirmaram a influência da oferta de sombra na diminuição da temperatura radiante média, evaporação respiratória e cutânea de bovinos Nelore (Costa, 2013). O acionamento das vias evaporativas (superfície cutânea e trato respiratório) ocorre com o aumento da temperatura e diminuição do gradiente térmica (pelame e ambiente), ocasionando gasto extra de energia e alterações no balanço hídrico dos animais (Silanikove, 2000; Maia et al., 2005; daSilva e Maia, 2011; Pereira et al., 2014). De acordo com Rhoads et al. (2009), no estresse por calor, o incremento no fluxo sanguíneo para regiões mais superficiais do corpo e mudanças no metabolismo visceral de nutrientes são as principais causas da diminuição na produção de leite. Ademais, vacas de alta produção sem acesso à sombra chegam a consumir duas vezes mais água (Kadzere et al., 2002). Dikmen et al. (2008) verificaram que vacas expostas à radiação aumentaram significativamente a taxa de sudação e frequência respiratória.

Muitos estudos avaliando os efeitos positivos da oferta de sombra para bovinos basearam-se em respostas produtivas incluindo ganho de peso, produção de leite e parâmetros reprodutivos de animais com ou sem acesso à sombra (Collier et al., 1981; Buffington et al., 1983; Collier et al., 2006; Domingos et al., 2013). Por exemplo, menores níveis de produção de leite foram constatados em vacas Jersey que não estavam protegidas da radiação solar direta (Collier et al., 1981). Similarmente, Domingos et al. (2013) também verificaram queda na produção de leite de vacas Holandesas manejadas no sol. Além disso, características como nível de bloqueio da radiação (Tucker et al., 2008; Schutz et al., 2009), espaço disponível por animal (Schutz et al., 2014) também já foram esclarecidos na literatura. No entanto, pesquisas avaliando o efeito da radiação solar sobre o equilíbrio térmico de vacas holandesas manejadas em ambiente tropical ainda são escassos, especialmente com relação aos efeitos provocados sobre o metabolismo incluindo o consumo de oxigênio, produção de dióxido de carbono, além do balanço de calor sensível e latente.

Além da oferta de sombra, a utilização de sistemas de resfriamento evaporativo tem sido um dos principais caminhos para aliviar o estresse por calor

de bovinos de leite criados em ambientes quentes. A eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo, seja por aspersão ou de alta pressão, associado ou não a ventilação forçada, dependem de uma série de fatores, especialmente temperatura e umidade do meio. Neste aspecto, os achados de Berman (2005, 2006 e 2009) esclarecem quais condições ideais para o acionamento de sistemas de resfriamento evaporativo, ou seja, quando tais sistemas são eficientes em aliviar o estresse por calor de vacas estabuladas. Igono et al. (1987) observaram que vacas preferem free-stall com sistemas de aspersão e ventilação quando a temperatura do ar estava acima de 27 °C; vacas são motivadas a buscarem áreas com sistema de aspersão por até oito horas diárias (Legrand et al., 2011); Domingos et al. (2013) verificaram o efeitos da aspersão de 1 litro de água em diferentes intervalos sobre alguns parâmetros fisiológicos e produção de vacas holandeses em ambiente tropical semiárido; vacas que tiveram acesso à sombra e tratamento de aspersão a cada hora diminuíram substancialmente a taxa respiratória e em 3.5 kg na produção diária de leite.

West (2003), destaca que o sombreamento como um método de fácil implementação e que pode ser de baixo custo para os efeitos da radiação solar direta sobre os animais, (Roman-Ponce et al., 1977; Collier et al., 1981) constataram os benefícios desse método sobre a frequência respiratória e aumento na produtividade de vacas em lactação. Posteriormente estudos à cerca do tema, destacaram outras características como nível de bloqueio da radiação (Tucker et al., 2008; Schutz et al., 2009), espaço disponível por animal (Schutz et al., 2014), assim como predição para construção de projetos com estruturas artificiais e principais espécies de árvores brasileiras podem ser encontrados em Silva et al. (2006); os efeitos do sombreamento sobre a termorregulação dos animais também fica claro em alguns achados importantes (Domingos et al., 2013; Dikmen et al., 2008); vacas expostas à radiação aumentaram significativamente a taxa de sudação e frequência respiratória (Dikmen et al., 2008).

Em paralelo as primeiras investigações referente aos benefícios de criar animais protegidos da radiação solar direta, iniciavam os primeiros estudos sobre evaporação e movimentação forçada do ar em animais (SeathandMiller, 1948), mas limitações tecnológicas não favoreceram a sua implementação em sistemas de criação. Posteriormente vários estudos foram destinados ao desenvolvimento

de um sistema de resfriamento evaporativo (Kelly et al., 1950; Ittner et al., 1957; Wiersma e Stott, 1966; Brown et al., 1974; Landsberg et al., 1979; Timmons e Baughman, 1983; Wilson et al., 1983). Em Berman (2006), há esclarecimentos sobre quais condições de temperatura e umidade a utilização de sistemas de resfriamento evaporativo tornam-se eficientes - Flamenbaum et al. (1986) traz resultados empíricos muito interessantes sobre os efeitos da implementação de um sistema de resfriamento evaporativo com ventilação para bovinos leiteiros manejados em free-stall; Igono et al. (1987; 1985) observaram que vacas preferem free-stall com sistemas de aspersão e ventilação quando a temperatura do ar estava acima de 27 °C e observaram um acréscimo de 0,7 kg de leite em vacas que receberam aspersão de água em relação às sem aspersão; vacas são motivadas a buscarem áreas com sistema de aspersão por até oito horas diárias (Legrand et al., 2011).

Os efeitos da aspersão de água combinados com ventilação sobre os aspectos produtivos de vacas leiteiras também foram investigados por Perissinotto et al. (2001), que relataram uma redução nas perdas da produção de leite de 2,8%, o que representa 0,6% ao longo da lactação. Domingos et al. (2013) verificaram os efeitos da aspersão de 1 litro de água em diferentes intervalos sobre alguns parâmetros fisiológicos e produção de vacas holandesas em ambiente tropical semiárido; vacas que tiveram acesso à sombra e tratamento de aspersão a cada hora diminuíram substancialmente a taxa respiratória em 3,5 kg na produção diária de leite.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais utilizados foram aprovados pelo Comitê de Ética, Bioética e Bem-estar Animal da Universidade Estadual de São Paulo (número do protocolo: 7.610/6).

3.1. Animais, local e desenho experimental

O estudo foi realizado no Setor de Bovinocultura de Leite do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - Campus de Muzambinho (Lat. 21° 22' 33" S, Long. 46° 31' 32" W, 1048 m de altitude) no período de janeiro a março de 2017. Doze vacas múltiparas da raça Holandesa com peso de 676 ± 127 kg e produção média de leite de 20 kg/dia foram avaliadas durante doze dias, protegidas (n=6)

e expostas (n=6) à radiação solar, sendo aleatoriamente distribuídas em quatro quadrados latinos 6 x 6 (Figura 1). O grupo de animais avaliados na sombra foi distribuído no primeiro e quarto quadrado latino. De outro modo, no segundo e terceiro foram distribuídos animais para serem avaliados expostos à radiação solar.

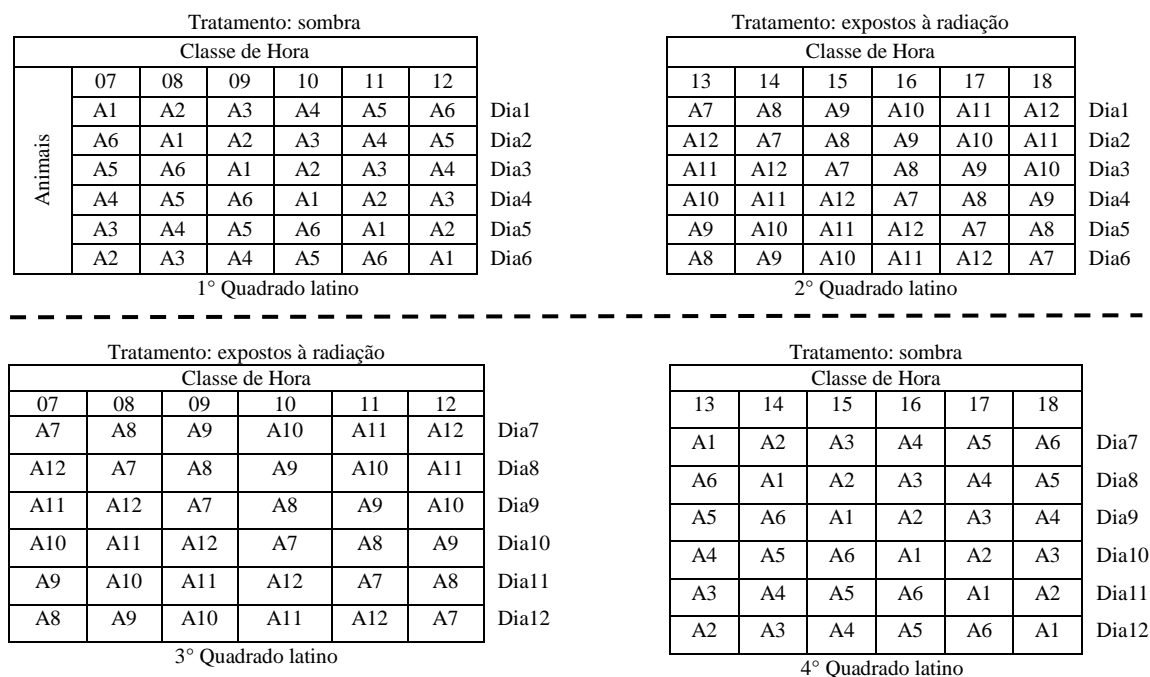


Figura 2 - Layout do delineamento experimental.

As doze vacas selecionadas eram submetidas ao mesmo sistema de manejo na propriedade. Entretanto, quinze dias antes do início da coleta de dados foram divididos dois grupos com seis animais para serem manejados confinados ou em regime de pastejo, equalizando-os conforme idade, peso corporal, nível de produção e estágio de lactação. O grupo de animais avaliados expostos à radiação passou a ser manejado numa pastagem (1500 m²) de capim brachiaria (*brachiaria sp.*) com ausência de sombra e provida de bebedouro. Para coleta de dados, o animal era conduzido calmamente para um tronco de contenção localizado numa área anexa ao piquete.

As vacas pertencentes ao grupo de animais avaliados na sombra foram mantidos estabulados num galpão do tipo free stall com 225 m², o qual possuía área de descanso (50 m²) com cama de casca de café e maravalha. A instalação era provida de bebedouro, comedouro, sistema de ventilação e aspersão. O

sistema de ventilação era composto por dois ventiladores do tipo axial, com capacidade para deslocar o ar numa velocidade de aproximadamente $2,5 \text{ m s}^{-1}$. Uma bomba manual de pressão prévia foi utilizada para aspergir 1 L de água sobre a superfície de cada animal em intervalos regulares de uma hora. Esse procedimento era realizado quando a temperatura do ar era igual ou superior a $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Para registro das medidas fisiológicas, o animal era contido no tronco localizado no interior da instalação.

As vacas estabuladas foram alimentadas com dieta à base de silagem de milho e concentrado (farelo de soja, milho e mistura mineral), ofertada sempre após os horários de ordenha (07h:00min e 19h:00min). Animais manejados na pastagem também foram suplementados com dieta concentrada após as ordenhas. Para ambos os grupos, a água era fornecida *ad libitum*. A composição nutricional do concentrado, silagem e pasto encontra-se na tabela 1.

Tabela 2. Composição nutricional dos alimentos

Nutriente	Alimento		
	Concentrado	Silagem	Pasto
Matéria seca, %	87,89	35,18	25,09
Proteína bruta, %	17,52	7,65	18,99
Energia bruta, cal g ⁻¹	3,96	4,32	4,30
Fibra em detergente neutro, %	-	0,49	0,46

3.2. Variáveis meteorológicas

As variáveis ambientais radiação solar (R_s , W m^{-2} , modelo CMP-22, Kipp e Zonen, Delft, comprimento de onda (λ): 0,300 a $3,6 \mu\text{m}$), velocidade do vento (V_v , precisão: $\pm 0,44 \text{ m s}^{-1}$), direção (D_v , intervalo: 0 a 360° ; precisão: $\pm 3\%$), umidade relativa (U_R , precisão: $\pm 3\%$), temperatura do ar (T_A , precisão: $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) e temperatura de globo negro (T_G , precisão: $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) foram aferidas em intervalos regulares de um minuto por meio de uma estação meteorológica portátil (Modelo 110 - Nova Lynx, Auburn, CA, EUA) posicionada próxima à área do piquete e instalação onde foram alojadas as vacas. A temperatura de globo negro foi medida a sombra ($T_{G\text{som}}$) e ao sol ($T_{G\text{sol}}$). Para ambas as condições, uma temperatura radiante média (T_{RM} , K) foi calculada de acordo com Silva et al. (2010; material suplementar).

3.3. Variáveis fisiológicas

Antes do início da coleta de dados os animais foram treinados durante trinta dias para reduzir reatividade à contenção e uso da máscara facial seguindo os princípios da habituação e condicionamento operante, semelhante aos procedimentos descritos por Camerero et al. (2016). As medidas fisiológicas foram obtidas por meio do sistema de medidas para avaliação do equilíbrio em animais desenvolvido pelo Grupo de Inovação em Biometeorologia Animal (INO BIO), conforme descrito em Maia et al. (2016), Camerero et al. (2016), Fonsêca et al. (2016), de Melo Costa et al. (2017). Foi registrada a frequência respiratória (F_R , resp min^{-1}), ventilação (V_E , L s^{-1}), proporção de oxigênio ($O_{2\text{EXP}}$, %) , dióxido de carbono ($\text{CO}_{2\text{EXP}}$, %) e metano ($\text{CH}_{4\text{EXP}}$, %) no ar expirado; de posse dessas medidas, foi determinado o volume respiratório corrente (V_{RC} , L resp^{-1}) e volume (L h^{-1}) de oxigênio consumido (VO_2), dióxido de carbono (VCO_2) e metano consumido (VCH_4). Ademais, a pressão de saturação à temperatura do ar expirado ($P_{S\{T_{\text{EXP}}\}}$, kPa) e à temperatura da epiderme ($P_{S\{T_{\text{EP}}\}}$, kPa), temperatura retal (T_R , °C), do ar expirado (T_{EXP} , °C), epiderme (T_{EP} , °C) e superfície do pelame (T_S , °C) também foram registrados. Os detalhes acerca da operação do sistema, resolução e acurácia dos sensores podem ser encontrados em publicações recentes (Maia et al., 2016; Camerero et al., 2016).

3.4. Determinação do equilíbrio térmico

Os componentes do balanço de calor foram calculados com base na primeira Lei de conservação de energia em um volume de controle utilizando equações biofísicas descritas por Silva e Maia (2013). Assim, foi determinado a produção de calor metabólico (q''_{MET}), balanço de calor por radiação de ondas longas (q''_{RL}), fluxo de calor por convecção na superfície (q''_{CONV}), fluxo de calor por evaporação através do trato respiratório (q''_{ER}) e superfície cutânea (q''_{EC}). Todos os termos foram expressos em energia por unidade de área de superfície (W m^{-2}); a área de superfície foi determinada por meio de equações empíricas com base no peso corporal dos animais (Finch, 1985).

3.5. Análise Estatística

Com base nas respostas fisiológicas (T_{EXP} , T_R , T_S , T_{EP} , % O_{2EXP} , % CO_{2EXP} , % CH_{4EXP}), uma análise exploratória por componentes principais foi realizada para verificar padrões de dissimilaridade nas classes de temperatura do ar na sombra e ao sol, além das classes de temperatura radiante média. As análises confirmatórias foram realizadas pelo método dos quadrados mínimos utilizando o procedimento dos modelos lineares generalizados (Proc GLM) do “Statistical Analyses System” (SAS Institute V. 8) de acordo com Littel et al. (2006), conforme o modelo descrito para as variáveis:

$$Y_{ijklm} = \mu + E_i + H_j + EH_{ij} + A(E)_{ik} + D_l + CTRM_m + e_{ijklm}$$

Em que Y_{ijklm} é a variável resposta da unidade experimental (animal) observada no i -ésimo ambiente (i = exposto e protegido da radiação solar direta), na j -ésima hora (j = 07h:00min – 08h:00min, ..., 18h:00min – 19h:00min) e l -ésimo dia de avaliação (l = 1, ..., 12); E é o efeito fixo do i -ésimo ambiente (i = sombra e exposto à radiação); H é o efeito fixo da j -ésima classe de hora; EH é o efeito da interação entre o i -ésimo ambiente com a j -ésima hora de avaliação; $A(E)$ é o efeito do k -ésimo animal (k = 1, ..., 12) dentro i -ésimo ambiente; D é o efeito aleatório da l -ésimo dia de avaliação; $CTRM$ é o efeito fixo da m -ésima classe de temperatura radiante média (m = 18, ..., 48 °C); e_{ijklm} é o erro aleatório e μ a média paramétrica.

4. RESULTADOS

Níveis mais elevados da irradiância solar foram observados nos dias de avaliação em ambiente protegido e exposto à radiação foram 594,87 e 689,19 $W m^{-2}$, registrados às 12:00h e 14:00h, respectivamente. As maiores médias para T_{AR} e T_{RM} foram $25,20 \pm 0,23$ e $32,60 \pm 0,52$ °C, respectivamente, registradas às 12:00h, em ambiente protegido da radiação solar; em contrapartida, no período de avaliação em ambiente exposto à radiação solar observou-se $29,19 \pm 0,11$ °C para T_{AR} e T_{RM} de $38,39 \pm 0,25$ °C (Figura 3), medidas às 15:00h. No intervalo de 13:00 às 17:00h, a T_{RM} medida à sombra foi em média 7 °C superior em relação à T_{AR} e 9 °C quando medida ao sol.

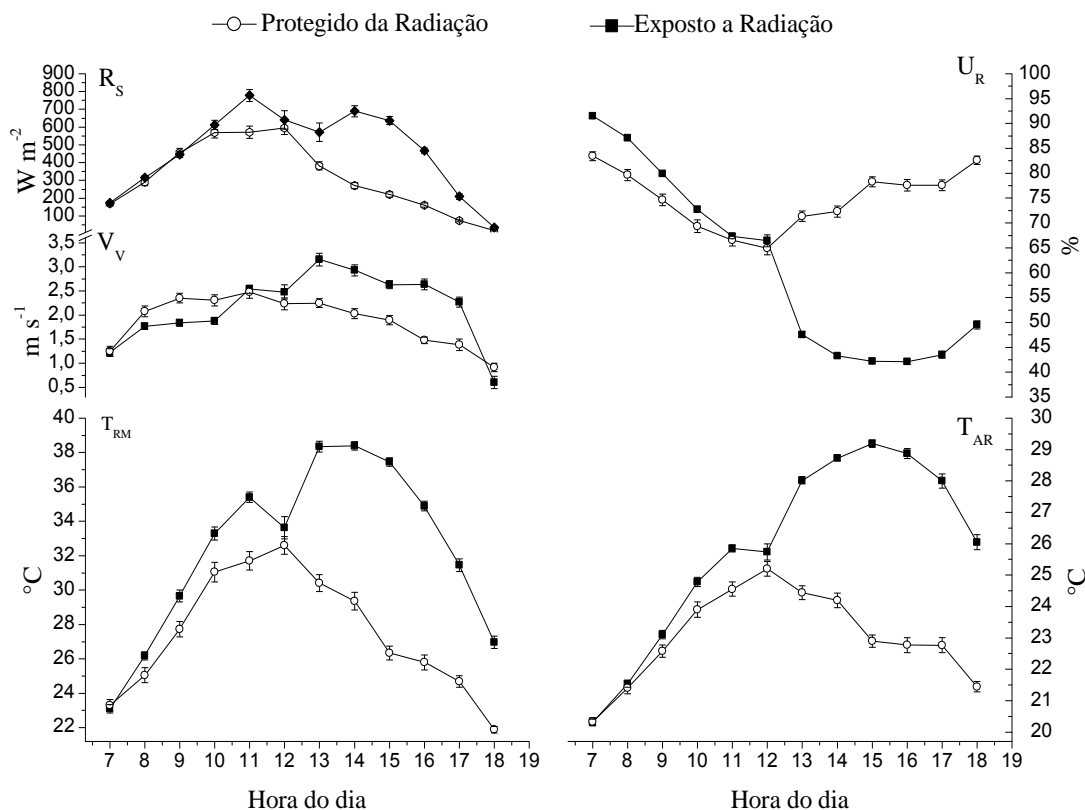


Figura 3- Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da velocidade do vento (V_v , $m s^{-1}$), temperatura do ar (T_{AR} , $^{\circ}C$), umidade relativa (U_R , %), temperatura radiante média (T_{RM} , $^{\circ}C$) e radiação solar (R_s , $W m^{-2}$).

Em ambas as condições, níveis de umidade relativa seguiram um padrão inverso ($r = -0,93$; $P < 0,0001$) ao da T_{AR} , sendo registrado valores mais elevados às 07:00h. Valores máximos de velocidade do vento foram maiores para os dias de avaliação dos animais ao sol ($3,15 \pm 0,13 m s^{-1}$) em relação ao período de avaliação das vacas à sombra ($2,47 \pm 0,13 m s^{-1}$). No entanto, no interior da instalação, com acionamento do sistema de ventilação a velocidade do vento apresentou baixas oscilações e constância com velocidades próximas a $2 m s^{-1}$ das 09:00h às 17:00.

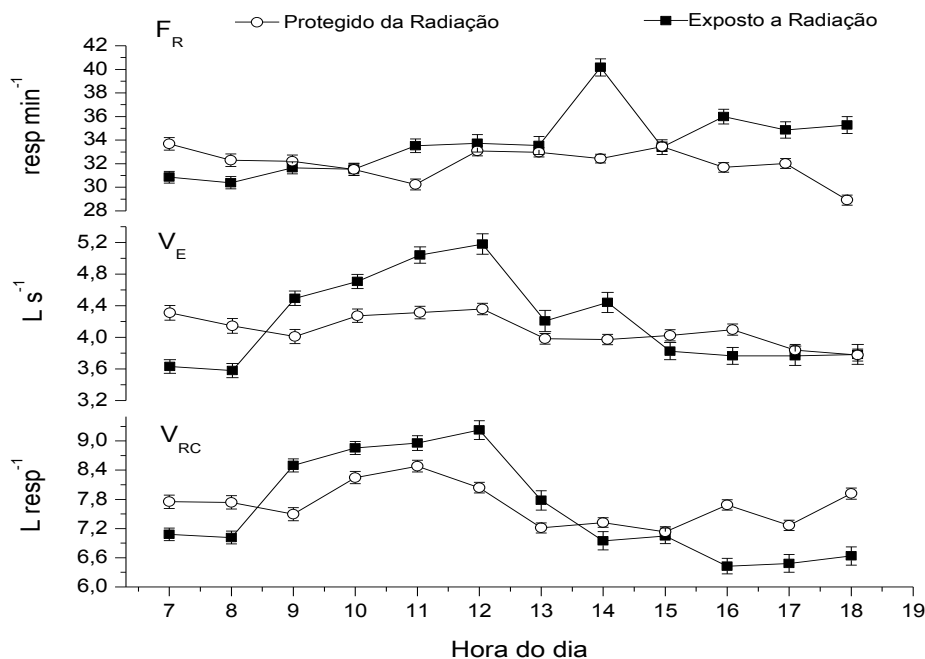


Figura 4 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da frequência respiratória (F_R , resp. min^{-1}), ventilação ($L \text{ s}^{-1}$), ventilação respiratória corrente (V_{RC} , $L \text{ resp.}^{-1}$).

Em contrapartida, a exposição à radiação solar direta implicou numa faixa de variação da F_R entre $30,38 \pm 0,51$ às 18:00h e $40,17 \pm 0,72 \text{ resp min}^{-1}$ às 14h:00min, refletindo também numa maior amplitude para a V_E ($3,57 \pm 0,09$ a $5,18 \pm 0,13 \text{ L s}^{-1}$) e V_{RC} ($7,01 \pm 0,13$ e $9,22 \pm 0,19 \text{ L resp}^{-1}$). Enquanto a frequência respiratória de vacas mantidas protegidas da radiação variou de $30,24 \pm 0,45$ a $33,44 \pm 0,40 \text{ resp min}^{-1}$, o que refletiu num padrão ventilação pulmonar (V_E) variando de $4,36 \pm 0,07 \text{ L s}^{-1}$ às 12h:00min e $3,77 \pm 0,07 \text{ L s}^{-1}$ às 18h:00min e volume respiratório corrente (V_{RC}) de $7,13 \pm 0,10$ a $8,48 \pm 0,12 \text{ L resp.}^{-1}$ (Figura 4).

No entanto, observou-se elevadas oscilações dos níveis da radiação, solar mesmo nos horários com maiores médias dessa variável (Figura 5). Possivelmente isso se deu devido a presença de nuvens e conseqüentemente o bloqueio temporário da R_s . Com menores níveis de R_s incidindo sobre a superfície do animal a T_s tende a não se elevar nos momentos de bloqueio da radiação, pois essas variáveis possuem uma correlação de ($r = 0,47$; $P < 0,0001$).

Ao considerar a correlação de ($r = 0,45$; $P < 0,0001$) entre a T_s e a F_R pode-se atribuir os valores médios registrados da F_R as oscilações nos níveis da R_s ocasionados pelo seu bloqueio parcial devido a presença de nuvens.

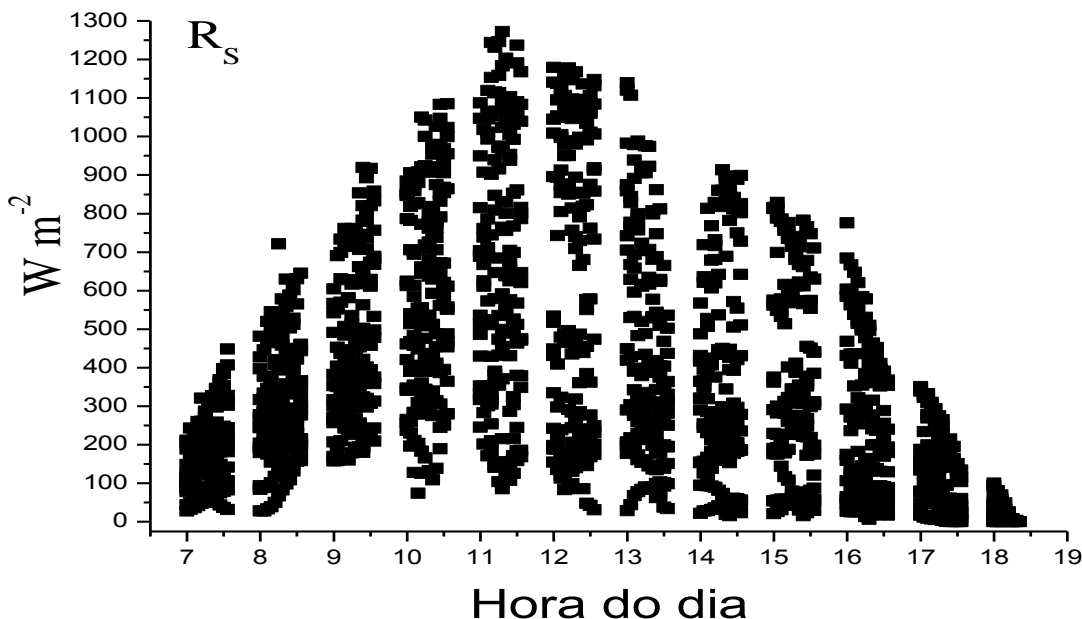


Figura 5 – Variação da radiação solar (R_s , $W m^{-2}$) nas classes de hora durante o período experimental (14 dias).

Devido a correlação de ($r = 0,35$; $P < 0,0001$) a F_R e o $O_{2\text{ EXP}}$, a dinâmica dos gases expirados pelas vacas é evidenciado que a diferença entre as concentrações de $O_{2\text{ ATM}}$ e o $O_{2\text{ EXP}}$ dos animais protegidos da radiação solar direta apresentam seu maior valor de $1,34 \pm 0,01\%$ às 18h:00min, vale ressaltar uma elevação dessa diferença a partir das 09h:00min, saltando de $1,14 \pm 0,01$ para $1,29 \pm 0,01\%$, o que ocorre em torno de uma hora após o fornecimento do alimento, período ao qual ocorre um maior consumo O_2 devido aos processos oxidativos. A menor média observada de VO_2 foi de $135,25 \pm 3,42$ às 09h:00min, enquanto a maior média dessa variável foi de $135,25 \pm 3,41 L h^{-1}$, registrada por volta das 09h:00min, horário ao qual foi obtido o registro do maior valor do V_{RC} assim como a elevação entre a diferença do $O_{2\text{ ATM}}$ e o $O_{2\text{ EXP}}$. Devido a correlação negativa de ($r = -0,76$; $P < 0,0001$) entre $O_{2\text{ EXP}}$ e $CO_{2\text{ EXP}}$ os maiores valores médios observados da diferença entre $CO_{2\text{ EXP}}$ e o $CO_{2\text{ ATM}}$ e do VCO_2 foram de $1,37 \pm 0,01\%$ e $177,68 \pm 3,52 L h^{-1}$ às 10h:00min em ambas as variáveis.

Quando se observa essas mesmas variáveis dos animais expostos a radiação solar direta se tem uma maior diferença entre $O_{2\text{ ATM}}$ e o $O_{2\text{ EXP}}$ similar a dos animais protegidos, no entanto, com um comportamento distinto ao longo

dia, apresentando uma elevação com menor oscilação, principalmente após o fornecimento do alimento; ao contrário do VO_2 que variou de $116,77 \pm 3,25$ a $185,03 \pm 4,97$ L h⁻¹ às 7h:00min e às 12h:00min respectivamente.

A variação da taxa metabólica dos animais expostos a radiação solar direta foi de $161,80 \pm 4,09$ à $199,65 \pm 3,58$ W m⁻² às 09h:00min e às 11h:00min respectivamente, Figura 5. Enquanto os animais protegidos da radiação demonstraram um fluxo de calor proveniente do metabolismo (q''_{MET}) de $139,92 \pm 3,89$ a $225,36 \pm 5,94$ W m⁻² as 07h:00min e 12h:00min. É possível observar que a R_s não influenciou o fluxo de calor metabólico (q''_{MET}) das vacas expostas a ela, assim como a T_{AR} e da T_{RM} não alteraram a produção de calor metabólico em ambos os ambientes.

Há superioridade na produção de calor metabólico dos animais expostos a radiação solar direta em comparação aos animais protegidos, possivelmente isso se deve a um período maior de pastejo nas horas com temperaturas amenas e níveis baixos de radiação, e nos períodos de maior desafio do ambiente térmico, com elevados níveis de radiação e altas temperaturas, os animais tendem a elevar a permanência em atividades como ócio e ruminação. Ocasionalmente posterior declínio na produção de calor metabólico, que se inicia no horário o qual ocorre o registro da maior média da T_{RM} , o início da elevação das taxas metabólicas só ocorrem após declínio dos níveis de R_s e diminuição da T_{RM} e T_{AR} , o que sugeri que as vacas retornaram a atividade de pastejo no momento que as temperaturas do ambientais estavam amenas e com menor incidência da radiação solar. O metabolismo de animais protegidos da radiação solar direta apresentou uma elevação aproximadamente uma hora após a alimentação e se manteve constante no decorrer do dia.

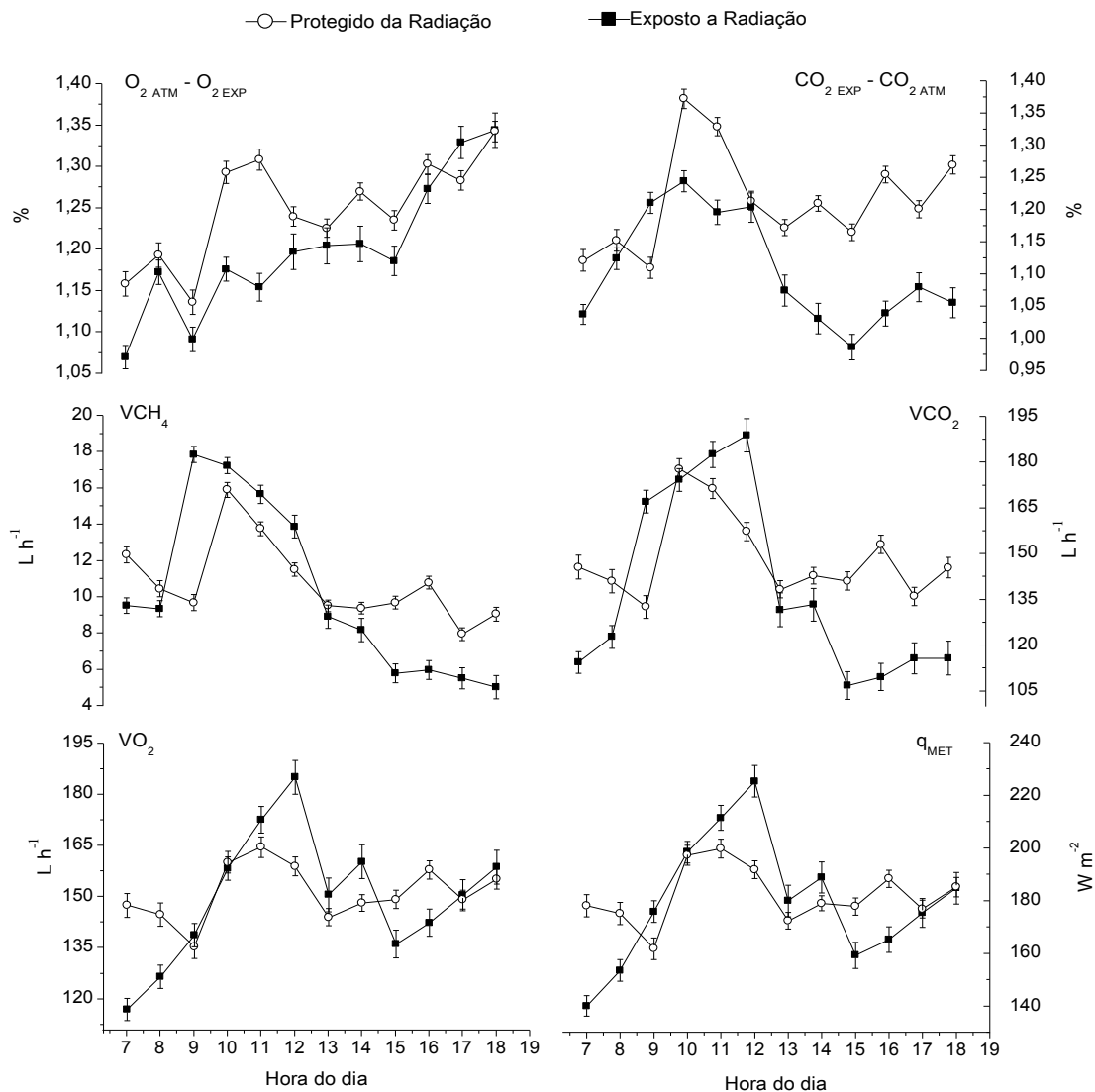


Figura 4 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da diferença entre oxigênio do ar expirado ($O_2\text{ EXP}$, %) e oxigênio do ar da atmosfera ($O_2\text{ ATM}$, %), diferença entre o dióxido de carbono do ar expirado ($CO_2\text{ EXP}$, %) e dióxido de carbono do ar da atmosfera ($CO_2\text{ ATM}$, %), fluxo de calor metabólico (q_{MET} , $W\ m^{-2}$).

No período que corresponde das 08h:00min e 14h:00min foi observado uma elevação da T_s de $34,41 \pm 0,19$ para $42,99 \pm 0,27$ °C nos animais expostos a radiação solar, nestes mesmos animais e período, o gradiente entre T_s e T_{AR} foi de 7,20 °C enquanto o gradiente entre T_s e T_{RM} foi de 12,22 °C. Nos animais protegidos da radiação, a dinâmica do gradiente entre as temperaturas seguiu um padrão similar, tanto entre T_s e T_{AR} quanto entre T_s e T_{RM} , maiores no início e fim do dia, no entanto, com variação de 9,30 a 14,50 °C entre T_s e T_{AR} e de 7,30 e 12,70 °C entre T_s e T_{RM} (Figura 7).

Apesar dessas variações nos gradientes entre as temperaturas, o fluxo de calor por convecção dos animais protegidos da radiação solar direta manteve-se constante na maior parte do dia, com leves oscilações ao longo das doze classes de hora, com a maior média observada de $33,76 \pm 0,83 \text{ W m}^{-2}$ às 07h:00min, equivalente a 24,13 % do calor gerado pelo metabolismo. Entretanto, no período em que se registrou (11h:00min) a maior taxa metabólica ($199,65 \pm 3,58 \text{ W m}^{-2}$) as perdas de calor por este mecanismo neste ambiente não passam de 13,02 %, neste mesmo período são registrados os menores gradientes entre as temperaturas do ambiente (T_{AR} e T_{RM}) e a T_s . Fato este que demonstra o quanto a termorregulação de animais pode ser desafiada pelo ambiente em regiões de elevadas temperaturas. Pois no momento que ocorre a máxima produção de calor metabólico, em paralelo pode ocorrer o menor gradiente entre a temperatura superficial e a temperatura ambiental, reduzindo a eficiência da perda de calor via convecção.

Já nos animais expostos a radiação solar, este fluxo variou de $18,36 \pm 1,35$ a $53,31 \pm 1,16 \text{ W m}^{-2}$, com elevação nas 7 primeiras horas do dia, seguido de queda acentuada a partir das 14h:00min, horário o qual foi observado uma diminuição considerável nos níveis de radiação solar, que por sua vez acarretou na diminuição da T_{EP} e T_s e nas temperaturas ambientais (T_{AR} e T_{RM}), no entanto, o declínio dessas temperaturas ocorre com diferentes intensidades, a T_s decresce de forma mais acentuada e num intervalo de tempo menor, ocasionando uma diminuição no gradiente de temperatura e conseqüentemente reduzindo a perda de calor por convecção de $53,31 \pm 1,17$ para $28,5 \pm 0,96 \text{ W m}^{-2}$.

Assim como a convecção, o fluxo de calor por ondas longas é influenciado pelo gradiente entre a temperatura superficial e as temperaturas ambienteis (T_{AR} e T_{RM}), de forma que ambos os fluxos demonstraram dinâmicas similares em ambos os ambientes. No entanto, as perdas de calor via radiação de ondas longas foram superiores as perdas por convecção em animais expostos a radiação solar direta. Demonstrando que este é o mecanismo que mais contribui nas perdas sensíveis quando os animais estão expostos a radiação solar direta (Figura 8), ao obter a maior média das perdas de calor sensível ($128,71 \pm 3,41 \text{ W m}^{-2}$), as perdas por radiação de ondas longas corresponderam a 58,89 % das perdas sensíveis. Em animais protegidos da radiação solar as perdas por

radiação de ondas longas são inferiores as perdas por convecção, correspondendo a 54,09 % das perdas sensíveis, quando se obteve a maior média das perdas de calor de forma não evaporativa.

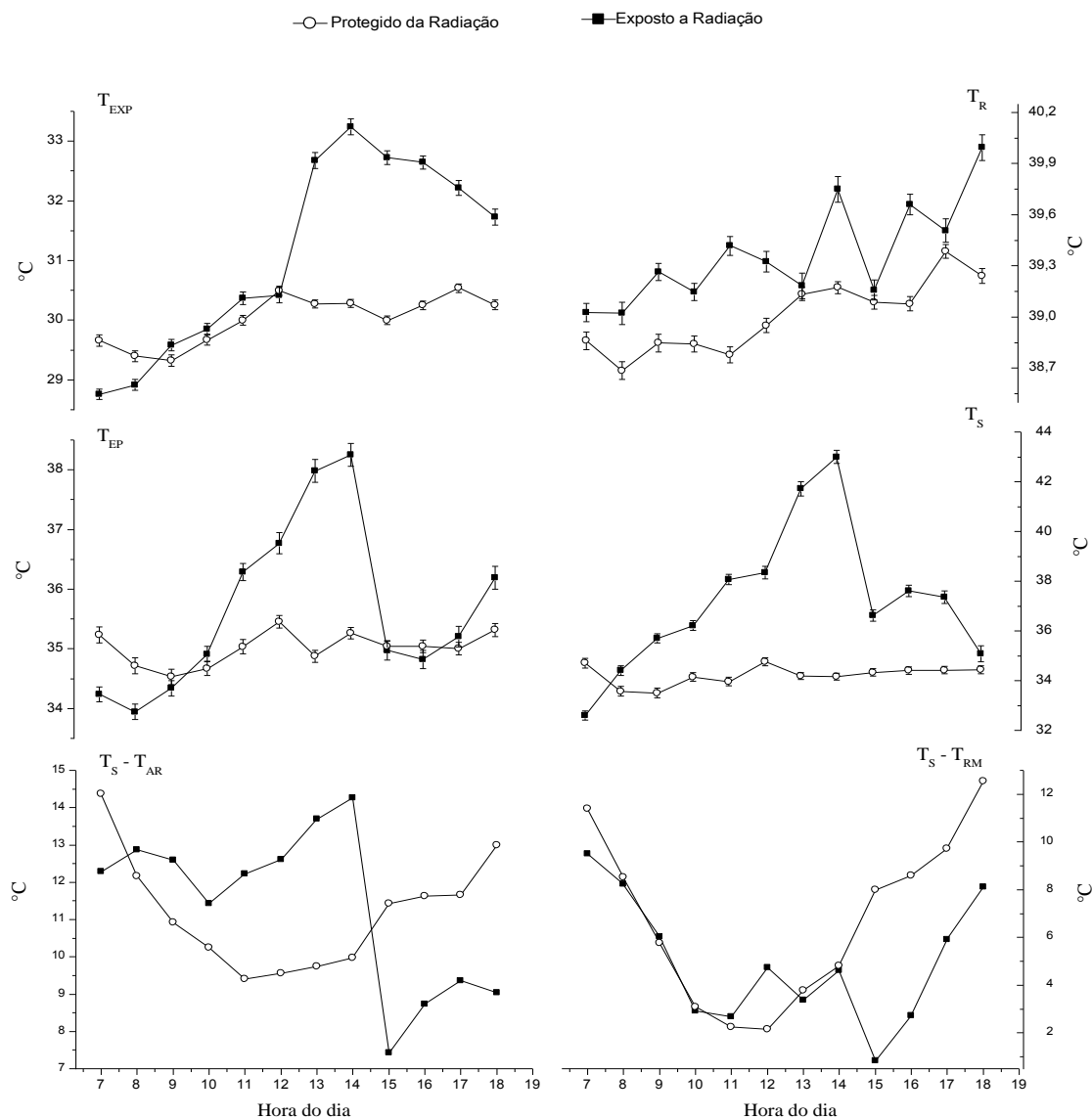


Figura 5 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da temperatura do ar expirado (T_{EXP} , °C), temperatura retal (T_R , °C), temperatura da epiderme (T_{EP} , °C), temperatura superficial (T_S , °C), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura do ar ($T_S - T_{AR}$, °C), gradiente de temperatura entre temperatura superficial e temperatura radiante média ($T_S - T_{RM}$, °C).

As perdas por evaporação do trato respiratório variaram de $6,59 \pm 0,33$ a $9,7 \pm 0,26$ $W m^{-2}$ as 07h:00min e as 12h:00min em animais protegidos da

radiação solar direta, e de $3,29 \pm 0,32$ a $16,8 \pm 0,47 \text{ W m}^{-2}$ as 08h:00min e 14h:00min nos animais expostos a radiação solar direta, respectivamente. Nos horários de maior desafio térmico para os animais protegidos da radiação, esse mecanismo de perda evaporativa correspondeu a 4,30 % da energia térmica gerada via metabolismo e 3,63 % em animais expostos a radiação solar direta. Condizente com os valores observados da frequência respiratória (F_R), considerada dentro de uma faixa de normalidade, demonstrando que os animais em ambos os ambientes não necessitaram elevar a F_R para maximizar as perdas de calor latente.

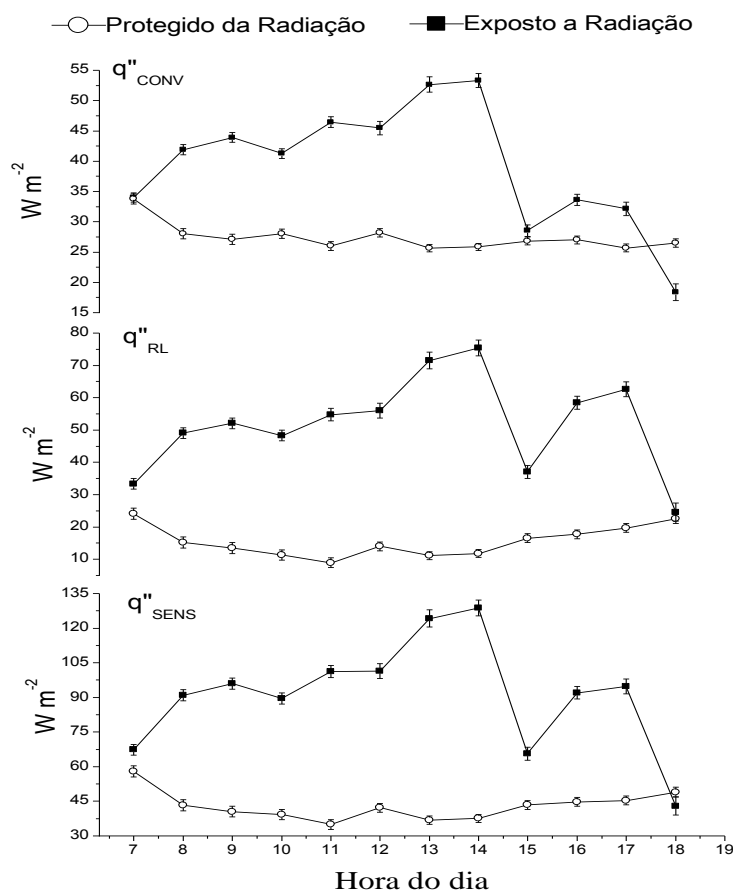


Figura 6 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) do fluxo de calor metabólico (q''_{MET} , W m^{-2}), fluxo de calor por convecção (q''_{CONV} , W m^{-2}), fluxo de calor por evaporação respiratória (q''_{ER} , W m^{-2}), fluxo de calor radiação de ondas longas (q''_{RL} , W m^{-2}), fluxo de calor de forma sensível (q''_{CONV} , W m^{-2} + q''_{RAD} , W m^{-2}).

Ao ocorrer o máximo da produção de calor ($199,65 \pm 3,58 \text{ W m}^{-2}$) em animais protegidos da radiação, as perdas de forma sensível (convecção e radiação de ondas longas) corresponderam a 17,49 % e a evaporação pelo trato respiratório correspondeu a 4,30 %, totalizando 21,79 % da produção de calor via metabolismo. Enquanto em animais expostos a radiação solar, a maior taxa metabólica foi de ($225,35 \pm 5,95 \text{ W m}^{-2}$) e as perdas de forma sensível (convecção e radiação de ondas longas) corresponderam a 26,40 % e a evaporação pelo trato respiratório correspondeu a 3,63 %, totalizando 30,03 % da produção de calor via metabolismo, energia térmica a qual é dissipada por esses mecanismos. As perdas de calor via evaporação pela superfície cutânea não foram estimadas na presente investigação, no entanto, equilíbrio entre produção de calor metabólico, ganho de calor via ambiente térmico radiante e perdas de calor deve ser balanceado pelas perdas de calor via evaporação da superfície cutânea.

A variação observada no fluxo de calor por evaporação respiratória (q''_{ER}) foram de $6,60 \pm 0,34$ a $9,47 \pm 0,26 \text{ W m}^{-2}$ a sombra, ocorridas as 07:00min e 12h:00min. Enquanto ao sol foram as 08h:00min e 14h:00min, com médias de $6,59 \pm 0,33$ e $9,47 \pm 0,26 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 9).

Tendo em vista que a maior taxa metabólica (q''_{MET}) em animais protegidos da radiação foi de $199,65 \pm 3,58 \text{ W m}^{-2}$ e que os fluxos de calor corresponderam a 13,02 % por convecção (q''_{CONV}), 4,47 % por radiação de ondas longas (q''_{RL}) e 4,3 % por evaporação no trato respiratório (q''_{ER}), totalizando 21,79 % do total da produção de calor via metabolismo. Nos animais expostos a radiação solar direta a maior taxa metabólica foi de $225,35 \pm 5,95 \text{ W m}^{-2}$ e os fluxos de 20,17 % por convecção (q''_{CONV}), 6,23 % por radiação de ondas longas (q''_{RL}) e 3,63 % por evaporação no trato respiratório (q''_{ER}), totalizando 30,03 % do total da produção de calor via metabolismo.

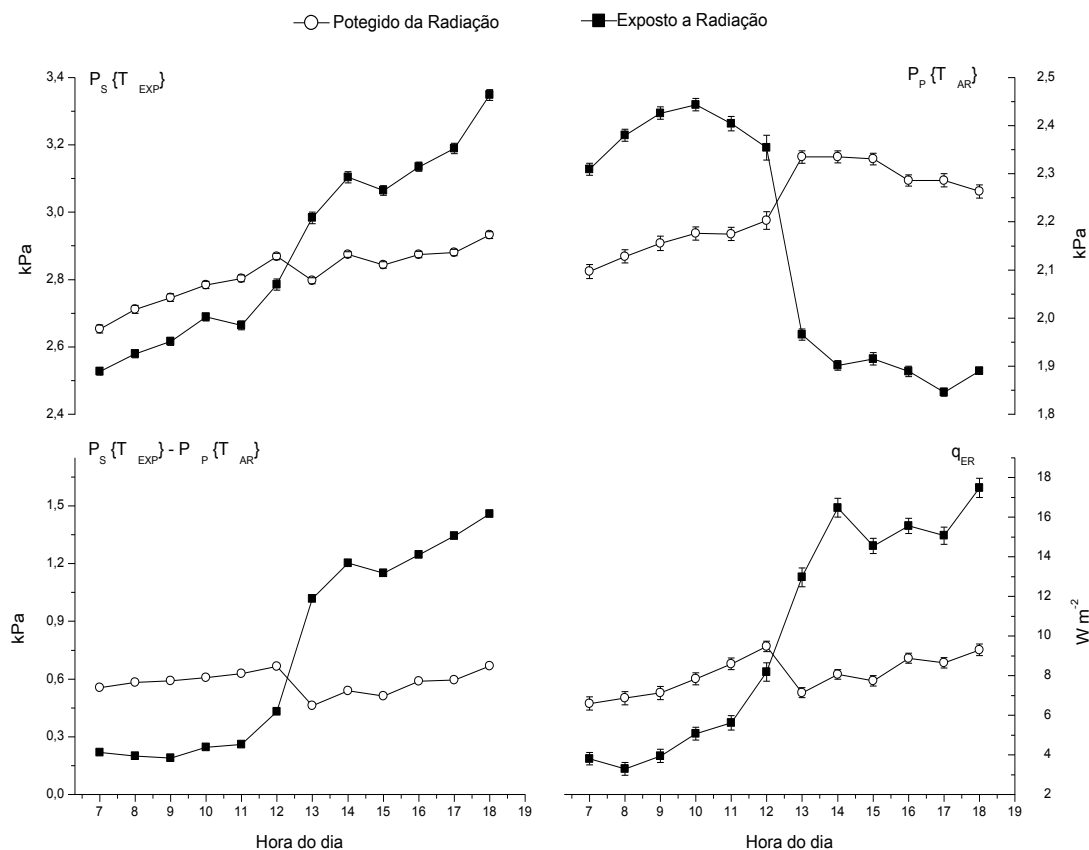


Figura 7 - Médias estimadas por quadrados mínimos (\pm EPM) da pressão de saturação de vapor do ar expirado ($P_S \{T_{EXP}\}$, kPa), pressão de parcial de vapor do ar da atmosfera ($P_P \{T_{ATM}\}$, kPa), diferença entre ($P_S \{T_{EXP}\}$ e $P_P \{T_{ATM}\}$, kPa), fluxo de calor pela evaporação no trato respiratório ($W m^{-2}$).

5. DISCUSSÃO

Ao submeter vacas da raça Holandesa a ambientes protegido e exposto a radiação solar direta, a presente investigação avaliou as suas respostas fisiológicas e a dinâmica da termorregulação sob a influência do ambiente térmico radiante em região tropical. Ao caracterizar o ambiente térmico radiante foi evidenciado que há um menor gradiente de temperatura entre T_S e T_{RM} em comparação ao gradiente entre T_S e T_{AR} mesmo em animais protegidos da radiação solar direta, mas principalmente em animais expostos a radiação. No entanto, esse menor gradiente afeta de forma mais acentuada as trocas sensíveis dos animais expostos a radiação. Apesar das vacas expostas a radiação apresentarem um metabolismo superior ao das protegidas da radiação solar direta, essa exposição possivelmente não influenciou nesse resultado. A exposição das vacas a radiação solar direta influenciou na elevação da

temperatura retal e conseqüentemente em maiores perdas de calor de forma sensível e latente em comparação aos animais protegidos da radiação solar, no entanto, a F_R dos animais em ambos os ambientes se mantiveram numa faixa considerada de normalidade, entre $30,24 \pm 0,45$ a $40,17 \pm 0,72$ resp min^{-1} . As perdas de calor por evaporação do trato respiratório tiveram baixa representatividade no equilíbrio térmico das vacas nos dois ambientes.

Ao ser desafiado pelas condições ambientais, o organismo de um indivíduo lança mão uma série de medidas, entre elas pode-se destacar a elevação da F_R , no intuito aumentar o volume de ar circulante pelo trato respiratório e conseqüentemente aumentar a dissipação de calor via evaporação respiratória. As F_R permaneceram dentro de uma faixa de $30,24 \pm 0,45$ a $40,17 \pm 0,72$ resp min^{-1} entre os dois ambientes, com a maior média registrada dos animais expostos a radiação solar direta. Silanikove (2000) ao utilizar a F_R como indicador da severidade do estresse térmico relata que entre 40 - 60 resp min^{-1} em bovinos é considerado estresse térmico de baixa intensidade. Silva et al. 2012, destacam que a elevação da frequência respiratória é uma resposta primária das vacas as altas temperaturas ambientais e ao investigarem vacas Holandesas em região subtropical registraram valores médios de F_R de 36,6 resp min^{-1} . Evidenciando que os valores registrados na presente investigação, mesmo para animais expostos a radiação solar direta estão condizentes com os valores considerados normais por investigações anteriores.

Fato este que pode levar ao questionamento de que os animais expostos a radiação solar direta podem ter sofrido adaptações fisiológicas os aclimatando ao ambiente térmico radiante ao qual foram expostas. Outro fator que possivelmente influenciou esse resultado foi a oscilação dos níveis de radiação solar, dentro de uma mesma classe de hora foi observado variações próximas a 1.000 W ao longo do período experimental.

É possível observar que a R_S não influenciou o fluxo de calor metabólico (q''_{MET}) das vacas expostas a ela, assim como a T_{AR} e da T_{RM} não alteraram a produção de calor metabólico em ambos os ambientes; resultados similares aos descritos por (Camerro et al., 2016; de Melo Costa et al., 2017) com bovinos Guzerá e Nelore em faixas de T_{AR} entre 25 e 35 °C e níveis médios de R_S entre $530,73 \pm 2,71$ W m^{-2} e $562,47 \pm 2,84$ W m^{-2} .

Há superioridade na produção de calor metabólico dos animais expostos a radiação solar direta em comparação aos animais protegidos, possivelmente isso se deve a um período maior de pastejo nas horas com temperaturas amenas e níveis baixos de radiação, e nos períodos de maior desafio do ambiente térmico, com elevados níveis de radiação e altas temperaturas, os animais tendem a elevar a permanência em atividades como ócio e ruminção. Ocasionalmente posterior declínio na produção de calor metabólico, que se inicia no horário o qual ocorre o registro da maior média da T_{RM} , o início da elevação das taxas metabólicas só ocorrem após declínio dos níveis de R_s e diminuição da T_{RM} e T_{AR} , o que sugeri que as vacas retornaram a atividade de pastejo no momento que as temperaturas do ambientais amenas e com menor incidência da radiação solar. O metabolismo de animais protegidos da radiação solar direta apresentou uma elevação aproximadamente uma hora após a alimentação e se manteve constante no decorrer do dia.

O calor gerado via metabolismo reflete na T_R dos animais, Berman et al. (2008) relata a interação entre a produção de calor metabólico e T_R , esse mesmo autor destaca a independência entre T_R e T_{AR} . O que condiz com os resultados observados nos animais protegidos da radiação solar direta, evidenciado quando observado que paralelo a elevação do fluxo de energia térmica via metabolismo ocorre um aumento na T_R , a oscilações nesta variável podem indicar uma dificuldade do animal a regular os mecanismos envolvidos em sua termorregulação sob as condições que o ambiente térmico proporciona ao indivíduo no momento (Carvalho et al., 2014; Brown-Brandl et al., 2003).

O contrário foi observado na presente investigação com os animais expostos a radiação solar, ao criar uma linha de acontecimentos se observa que três horas após o registro do maior nível de radiação ($777,90 \pm 33,85 \text{ W m}^{-2}$ às 11h:00min) é aferido a maior T_{RM} ($38,39 \pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$), fatos estes que refletem na elevação acentuada da T_s e T_R . Dessa forma, parte da energia térmica proveniente da radiação que incide neste ambiente é absorvida pelo meio e emitida na forma de ondas longas, constituindo o ambiente térmico radiante.

As temperaturas das regiões superficiais de um animal são indicadores das trocas sensíveis (convecção e radiação) entre animal e ambiente térmico, esses mecanismos termorregulatórios são dependentes de um gradiente de temperatura entre a camada de cobertura do animal e a temperatura ambiental,

assim como da velocidade do vento e da resistência oferecida pela capa de cobertura (Silva e Maia, 2013). O gradiente entre a T_S e a T_{RM} foi inferior em comparação ao gradiente observado entre T_S e T_{AR} em ambos os ambientes.

6. CONCLUSÃO

Faixas de T_{RM} abaixo 34 °C não alteram a termoregulação e respostas fisiológicas de vacas Holandesas.

As perdas de calor por vias sensíveis somadas a evaporação respiratória contribuem para a dissipação de menos de 30% do calor produzido pelo metabolismo, tanto para animais protegido quanto expostos a radiação solar direta.

7. REFERÊNCIAS

ALVIM, M. J. et. al. **Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris.** 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/mercados.htm#topo>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

BRAMBILLA, D.M.et al. **Impact of nitrogen fertilization on the forage characteristics and beef calf performance on native pasture overseeded with ryegrass.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v.41, n.3, p.528-536, 2012.

BERMAN A. **Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief.** *Journal of Dairy Science* **89**, 3817–3825, 2006.

BERMAN A. **Invited review: Are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates?** *J. Dairy Sci.* 94:2147–2158, 2011.

BERNARDINO, F.S., TONUCCI, R.G., GARCIA, R. et al. **Produção de forragem e desempenho de novilhos de corte em um sistema silvipastoril: efeito de doses de nitrogênio e oferta de forragem.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, n.7, p.1412-1419, 2011.

BILBY, T.R, TATCHER, W.W, HANSEN, P.J. **Estratégias farmacológicas, nutricionais e de manejo para aumentar a fertilidade de vacas leiteiras sob estresse térmico.** In: **Anais do 13º Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos;** 2009, Uberlândia. Uberlândia: Conapec Jr; p. 59-71. 2009.

BAETA, F.C.; MEADOR, N.F.; SHANKLIN, M.D. et al. **Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating cows.** In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1987, Baltimore. Proceedings... Baltimore: American Society of Agricultural Engineers, 1987. [mimeo.]

BOHMANOVA, J., I. MISZTAL, and J. B. Cole. 2007. **Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress.** J. Dairy Sci. 90:1947–1956.

BOHMANOVA, J., I. MISZTAL, S. TSURUTA, H. D. NORMAN, and T. J. Lawlor. **National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins.** Interbull Bull. 33:160–162, 2005.

BOONKUM, W., I. MISZTAL, M. DUANGJINDA, V. PATTARAJINDA, S. TUMWASORN, AND J. SANPOTE. **Genetic effects of heat stress on milk yield of Thai Holstein crossbreds.** J. Dairy Sci. 94:487–492, 2011.

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

COLLIER, R.J.; ELEY, R.M.; SHARMA, A.K.; PEREIRA, R.M.; BUFFINGTON, D.E. **Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows.** Journal of Dairy Science, Champaign, v.64, p.844-9, 1981.

Carvalho, Marcos Davi de. **Equilíbrio térmico e emissão de metano em vacas Jersey.** 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Zootecnia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, 2015. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136021/000858133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 fevereiro 2018.

Costa, Cíntia. C. M. **Efeito da radiação solar e temperatura na emissão de metano associado à produção e perda de calor em bovinos.** 2013. 56f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/87906/000750657.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 fevereiro 2018.

Cotton, W.R.; Pielke, R.A. **Human impacts on weather and climate.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 288, 1995.

daSILVA RG, MORAIS DAEF, GUILHERMINO MM **Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions.** Rev Bras Zootecnia 36:1192–1198, 2007.

DIKMEN S., HANSEN P.J. **Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?** J. Dairy Sci., 92, 109–116, 2009.

Dikmen S., Cole J.B., Null D.J., Hansen P.J. **Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle.** J. Dairy Sci., 95, 3401–3405, 2012.

Dikmen S., Cole J.B., Null D.J., Hansen P.J. **Genome-wide association mapping for identification of quantitative trait loci for rectal temperature during heat stress in Holstein cattle.** PLoS One, 8, e69202, 2013.

DOMINGOS, H.G.T.; MAIA, A.S.C.; SOUZA JR. J.B.F.; SILVA, R.B.; VIEIRA, F.M.C.; SILVA, R.G.; **Effect of shade and water sprinkling on physiological responses and milk yields of Holstein cows in a semi-arid region.** Livestock Science, v.154, p.169-174, 2013.

FACÓ, O., LÔBO, R.N.B., MARTINS FILHO, R., MARTINS, G.A., DE OLIVEIRA, S.M.P., Machado Ribeiro Azevêdo, D.M. **Additive and non-additive genetic effects on productive and reproductive traits in Holstein × Gir crossbred cows.** R. Bras. Zootec.;37:48–53, 2008.

FREUND, R.J.; LITTELL, R.C. **SAS® System for Regression**, 3rd ed. SAS Institute Inc, Cary, NC, 2000.

FINCH, V.A. **Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds.** Aust.J.Agric.Res.36,497–508, 1985.

KADZERE, C.T., MURPHY, M.R., SILANIKOVE, N., MALTZ, E. **Heat stress in lactating dairy cows: a review.** Livestock Production Science, 2002.

GAUGHAN, J.G.; GOOPY, J.; SPARK, J. **Excessive heat load index for feedlot cattle.** Sydney: MLA Ltda. (Meat and Livestock-Australia Project Report, 316). 2002.

Gebremedhin, K. G.; Hillman, P. E.; Lee, C. N.; Collier, R. J.; Willard, S. T.; Arthington, J. D.; Brown-Brandl, T. M. **Sweating rates of dairy cows and beef heifers in hot conditions.** Transaction of the ASABE, vol 51 (6): p. 2167-2178, 2008.

GIMENES, F.M. de A.; SILVA, S.C. da; FIALHO, C.A.; GOMES, M.B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M.T. **Ganho de peso e produtividade animal em**

capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.751-759, 2011.

Harvey, W. R. **Least-Squares analysis of data with unequal subclass numbers**, Beltville: U,S,D,A, publi, nº 20-8, 1960.

Holmes, C.W.; Wilson, G.F. **Milk Production from pasture: Produção de leite a pasto**. Tradução Caielli, E.L. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. p.708, 1989.

Incropera, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergagman, T. L.; Lavine, A. S. Radiação e propriedades. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, p. 460- 490, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 14 fevereiro de 2018.

KLEIBER, M. **Fire of Life: An Introduction to Animal Energetics**. Publisher: Krieger Publishing Company, October, 1975.

KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

IGONO, M.O., STEVENS, B.J.; SHANKLIN, M.D.; JOHSON, H.D. **Spray cooling effects on milk production, milk and retal temperature of cows during a moderate temperature summer season**. Journal of Dairy Science, Lancaster, v. 68, p. 979-85, 1985.

LITTELL, R.C.; FREUND, R.J.; SPECTOR, P.C. **SAS® System for Linear Models**, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., p. 329, 1991.

MCLEAN, J.A. **On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements**. Br. J. Nutr. 27, 597–600, 1972.

McARTHUR, A. J. **Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model**. Journal Theoretical Biology. v.126, p.203-238, 1987.

Maia, A.S.C.; Nascimento, S.T.; Nascimento, C.C.N.; Gebremedhin, K.G. **Thermal equilibrium of goats**. Journal of Thermal Biology. v, 58, p. 43-49, 2016.

Maia, A.S.C.; Silva, R.G.; Loureiro, C.M.B. **Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment**. International Journal of Biometeorology, v,49, n,5, p. 332-336, 2005a.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. **Sensible and Latent Heat Loss from the Body Surface of Holstein Cows in a Tropical Environment.** International Journal of Biometeorology, v,50, n,1, p. 17-22, 2005b.

MONTEITH, J.L. **Specification of the environment for thermal physiology.** In: MONTEITH, J.L., MOUNT, L.E. (Eds.) Heat loss from animals and man. London: Butterworths. p.1-17, 1974.

OLIVEIRA, M.D.S. de. **Pecuária leiteira. Aspectos ligados à reprodução e produção de vacas leiteiras.** Jaboticabal. Funep. 1998.

OLIVEIRA, S.E.O., COSTA, C.C.M., SOUZA, J.B.F. JR., QUEIROZ, J.P.A.F., CAMPOS MAIA, A.S., COSTA, L.L.M. **Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment.** Trop. Anim. Health Prod. 2014.

RENAUDEAU D, GOURDINE JL, ST-PIERRE NR. **A meta-analysis of the effect of high ambient temperature on growing–finishing pigs.** Journal of Animal Science **89**, 2220–2230, 2011.

RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; DE BASILIO, V.; GOURDINE, J.L. AND COLLIER, R.J. **Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production.** Animal, 6: 707-728, 2012.

Rhoads, M.L., R.P. Rhoads, M.J. VanBaale, R.J. Collier, S.R. Sanders, W.J. Weber, B.A. Crooker, and L.H. Baumgard. **Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin.** J. Dairy Sci. 92:1986-1997, 2009.

SILANIKOVE N. **Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants.** Livest Prod Sci 67:1–18, 2000.

SILVA, R. G. **Introdução à Bioclimatologia Animal.** São Paulo: Nobel/FAPESP, p. 125, 2000.

SILVA, R. G. **Manual de procedimentos em análise por quadrados mínimos.** Jaboticabal: FUNEP, p. 169, 1993.

SILVA, R.G. **Biofísica ambiental. Os animais e seu ambiente.** Jaboticabal: FUNEP, 16-17p., pag.66, 2008.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions.** Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science, v. 40, p. 1143-1147, 2011.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology.** New York: Springer, p. 39-74, 2013.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; COSTA, L. L. M.; Queiroz, J. P. A. F. **Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment.** International Journal of Biometeorology, Heidelberg, v. 56, p. 927-932, 2012.

daSILVA R.G.; **Estimate of radiation heat balance of Holstein cows in the sun and under the shade in a tropical environment.** Braz J Anim Sci 28: 1403-1411, 1999.

STRECK, N. A.; **Climate change and agroecosystems: the effect of elevated CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield.** Ciência Rural, v.35, p.730-740, 2005.

SILVA, R. G.; GUILHERMINO, M. M.; FAÇANHA-MORAIS, D. A. E. **Thermal radiation absorbed by dairy cows in the pasture.** International Journal of Biometeorology, Kent, v. 54, n. 1, p. 5-11, 2010

ST-PIERRE, N. R., B. COBANOV, AND G. SCHNITKEY. **Economic losses from heat stress by US livestock industries.** J. Dairy Sci. 86(E. Suppl.):E52–E77, 2003.

THOM, E.C. Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating. **Transactions of the ASAE**, v.55, n.7, p.65-72, 1958.

VILELA, D.; ALVES, E. **A evolução do leite no Brasil em cinco décadas.** p. 5–24, 2017.

vonKEYSERLINGK, M.A., MARTIN, N.P., KEBREAB, E., KNOWLTON, K.F., GRANT, R.J., STEPHENSON, M., SNIFFEN, C.J., HARNER, J.P. III, WRIGHT, A.D., SMITH, S.I. **Invited review: Sustainability of the US dairy industry.** J. Dairy Sci. 2013.

WEST, J.W. **Effects of heat-stress on production in dairy cattle.** Journal of Dairy Science, Savoy, IL, v86, p.2131-2144, 2003.

ANEXOS

8. MATERIAL SUPLEMENTAR

8.1. Animais e Instalações

Foram utilizados 12 vacas da raça Holandês Preta e Branca (PB) com peso médio 676 ± 127 Kg e produção de 20 Kg leite/dia e distribuídas em dois ambientes distintos, protegidas (n=6) e expostas (n=6) a radiação solar direta.

Para proteger os animais da radiação solar os mesmos foram alojados num galpão tipo Free Stall.



Figura 9 - Animais em ambiente protegido da radiação solar direta.



Figura 10 - A) Suplementação de vacas expostas à radiação solar direta; B) Área de pastagem.

A condução dos animais foi executada com base nos conceitos do manejo racional.



Figura 11 - Condução de vacas para a área de pastagem.

8.2. Habituação e condicionamento de animais para manuseio e equipamento

As vacas passaram por um período de 30 dias de habituação e condicionamento, o qual foi dividido em três etapas, sendo que nas duas etapas iniciais todos os animais compartilharam o mesmo ambiente. Num primeiro momento houve a separação dos 12 animais destinados ao experimento, a qual ocorreu por disponibilidade dos animais do setor de acordo com as características experimentais. Os primeiros 5 dias foram destinados a habituação dos animais a utilização de cabrestos e aos manejadores e início da descensibilização das áreas onde foi acoplado os sensores durante as coletas de dados, para tal, foi necessário que as pessoas envolvidas nessa etapa passassem a maior parte do dia entre os animais os escovando como metodologia para a descensibilização e fornecendo um reforço positivo (concentrado) num recipiente similar ao utilizado para confeccionar a máscara facial.

A partir do 6º dia se deu início ao condicionamento com a contenção dos animais e o uso da máscara facial sem a inserção das válvulas, essa etapa teve uma duração de 10 dias. A metodologia consistia em medir a frequência respiratória dos animais antes do início e durante o condicionamento com a máscara, inicialmente cada animal passou 5 minutos sob condicionamento, a permanência do uso da máscara facial durante o condicionamento foi elevado gradativamente em intervalos regulares de dez minutos até completarem o período de uma hora, seguindo metodologia utilizada por Maia, et al. (2014). Esse período de permanência sob condicionamento aumentava gradativamente sempre que os animais apresentavam uma frequência respiratória com a máscara similar a aferida antes de ser inserida a máscara, e respeitando os conceitos do condicionamento operante (Skinner, 1989). Durante todas estas atividades, foi utilizado o concentrado como reforço positivo.

No 16º dia os animais foram divididos de forma aleatória em dois grupos e destinados a ambientes distintos (expostos e protegidos da radiação solar direta), nessa etapa o condicionamento também passou a ser realizado em ambientes distintos, vacas que estavam expostas a radiação solar direta também eram condicionadas nesta mesma condição ambiental, o mesmo ocorria com os animais protegidos da radiação solar direta. A partir do 18º dia foi iniciado o condicionamento com a máscara e a válvula, inicialmente por um período de 15 minutos, esse período de permanência era elevado em intervalos regulares de 15 minutos sempre que a frequência respiratória aferida era similar a registrada anteriormente com o mesmo período de permanência, mas sem a inserção da válvula, até que o período de permanência dos animais fosse de 60 minutos. Essa etapa teve uma duração de 15 dias.

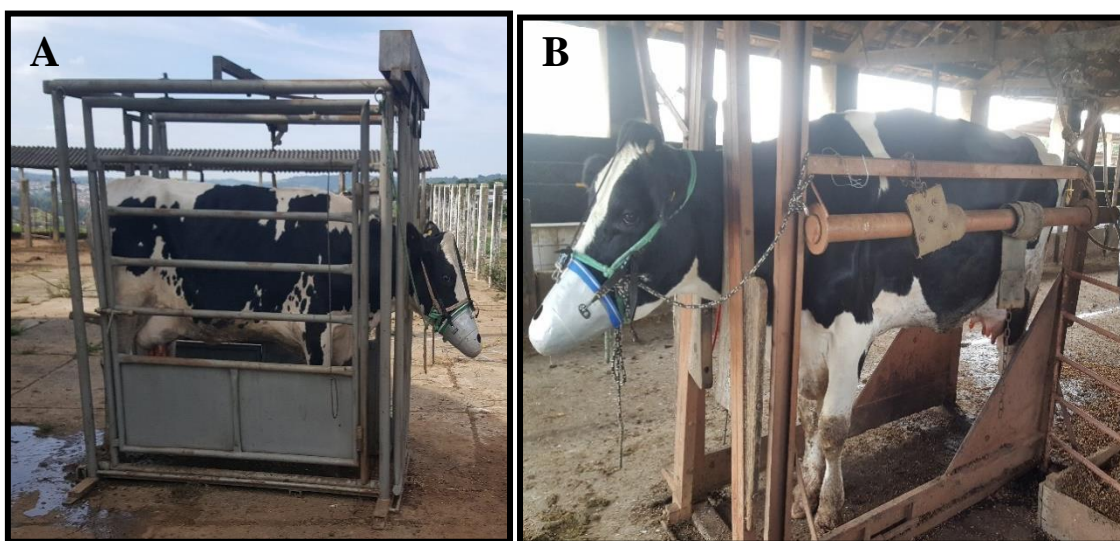


Figura 12 - A) Condicionamento de vacas expostas à radiação solar direta; B) Condicionamento de vacas protegidas da radiação solar direta.

8.3. Dados do teste piloto

8.3.1. 1º Dia: Calibração do espirômetro

Calibração do espirômetro com a seringa de volume conhecido (3 L) sem os animais. Este procedimento foi fundamental para a obtenção segura das variáveis respiratórias.

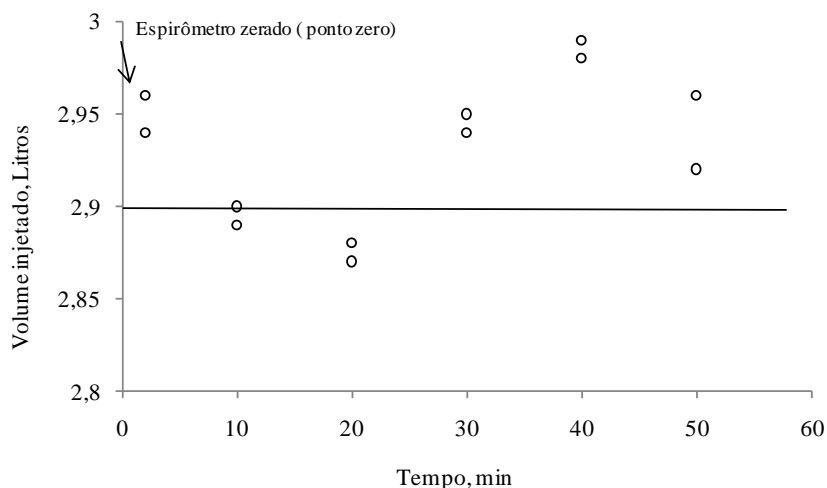


Figura 13 - Volume injetado com seringa em intervalos de 10 minutos (Obs: os pontos referem-se a duas curvas selecionadas).

8.3.2. 2º Dia: Teste do sistema com os animais

Observação geral: Neste dia foram avaliadas quatro vacas nos troncos de contenção, duas protegidas da radiação e duas na parte externa da instalação (Figura 16); todos os animais estavam bem habituados à contenção e uso da máscara facial.



Figura 14 - Teste e calibração dos equipamentos A) Animal protegido da radiação solar direta. B) Animal exposto à radiação solar direta.

8.3.3. Gases (O_2 , CO_2 e CH_4)

Os analisadores de gases funcionaram dentro do padrão esperado; o analisador de O_2 estabilizou em 20,95 a 21,00 (Base Line) nos horários de temperaturas mais amenas; com o aumento da temperatura (11:00 às 19:00), o

valor base permaneceu entre 20,70 a 20,80. Os valores base para o CO₂ e CH₄ foram 0,04 e 0,001, respectivamente. Na análise da amostra de ar que sai da máscara, os valores ficaram estáveis entre seis e sete minutos (Figura 17). O metabolismo calculado das vacas avaliadas tiveram variações de 170 a 234 W m⁻² (Vacas com 500 a 700 Kg/PV).



Figura 15 - Medidas dos gases no baseline às 19:00 h.

8.3.4. Medidas respiratórias (F , V_E e V_{RC}) e espirômetro

Segue resumo de extração dos dados referente a ventilação (V_E) e frequência respiratória (F) de uma vaca manejada protegida da radiação solar direta.

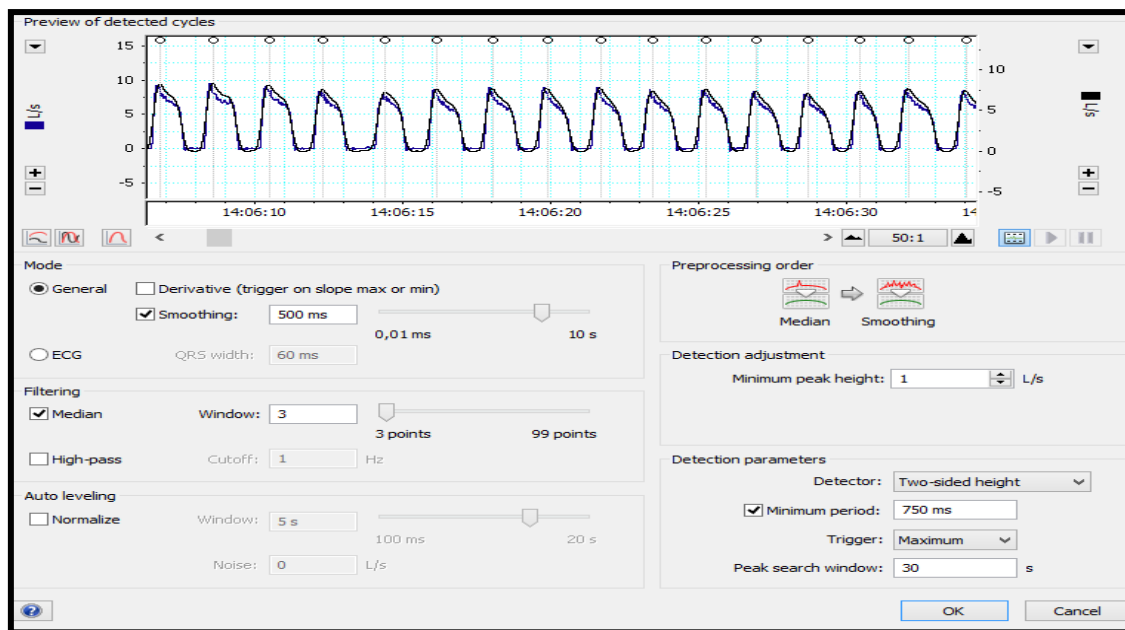


Figura 16 - Customização dos dados de ventilação e frequência.

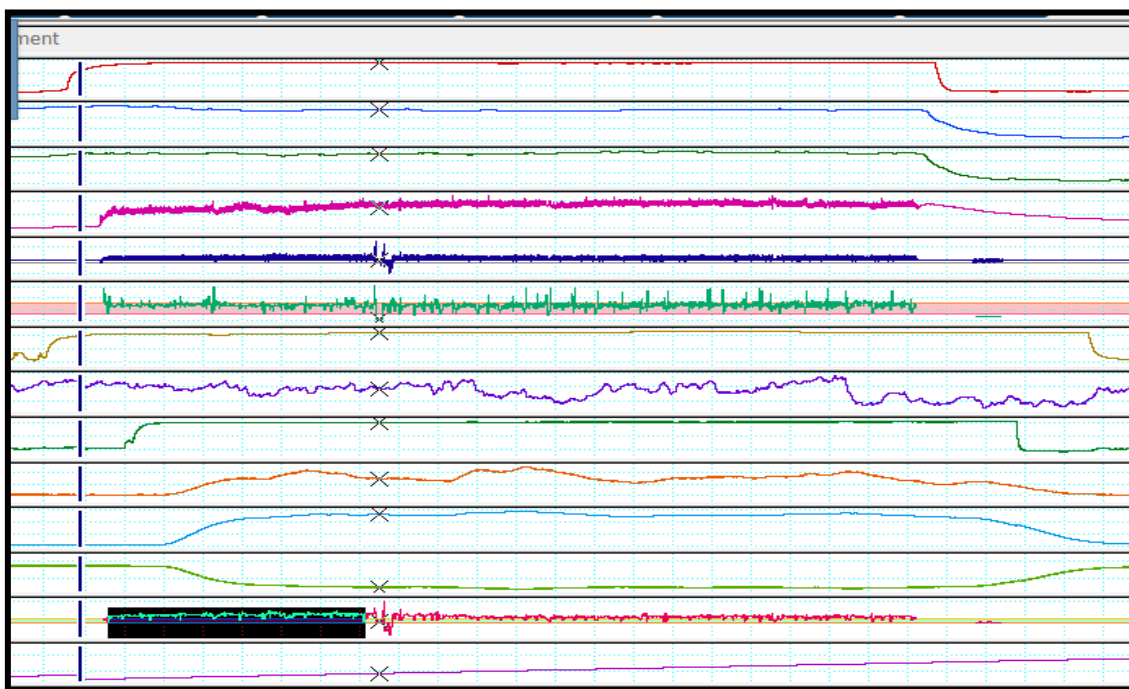


Figura 17 - Trecho extraído.

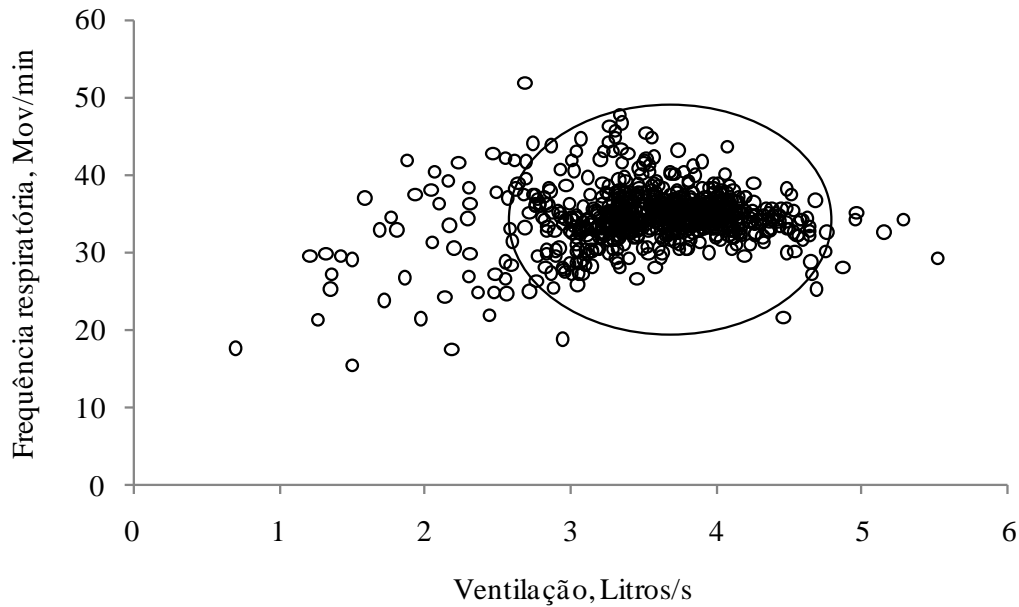


Figura 18- Plot $F * V_E$.

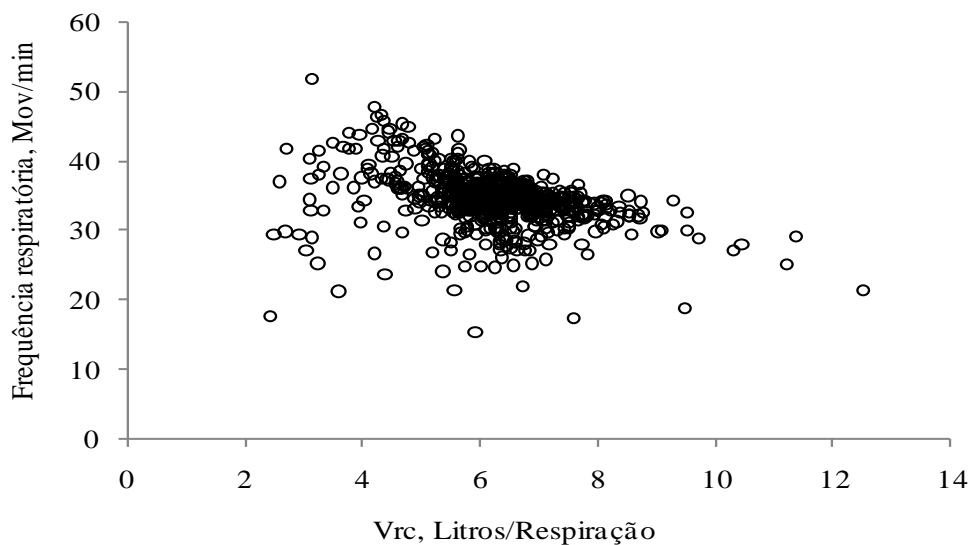


Figura 19 - Plot $F * VRC$

8.4. Coletas de dados

Foram mensurados os gases respiratórios (oxigênio, O₂; gás carbônico, CO₂; vapor de água, H₂O; metano, CH₄), as funções respiratórias (volume respiratório corrente, fluxo respiratório e frequência respiratória) além das temperaturas corporais (da pele, do pelame, retal e do ar expirado). Essas variáveis foram mensuradas utilizando o Sistema de Medidas Fisiológicas (SMF) desenvolvido pelo Laboratório de Bioclimatologia da FCAV – UNESP, conforme

apresentado na Figura 22, o qual é composto atualmente pelos seguintes equipamentos e componentes:

1. Máscara facial (Figura 23, desenvolvida pelo próprio Laboratório de Bioclimatologia);
2. Analisador de O₂ (modelo FMS-1201-05, Field Metabolic System);
3. Analisador de CO₂ (modelo FMS-1201-05, Field Metabolic System);
4. Analisador de CH₄ (modelo MA-10 Methane Analyzer, Sable System);
5. Dois analisadores de vapor de H₂O (modelo RH-300, Sable System);
6. Duas bombas (modelo SS4 sub-sample, Sable System);
7. Uma coluna de dissecante (Perclorato de Magnésio);
8. Um espirômetro (modelo ML141 da ADInstruments);
9. Uma câmara misturadora de gases (modelo MLA246, ADInstruments);
10. Dois tubos de respiração (MLA1015 Breathing Tube, ADInstruments);
11. Um cabeçal de fluxo (modelo MLT1.000, ADInstruments);
12. Um sensor de temperatura nasal (modelo MLT415/AL, ADInstruments);
13. Um sensor de temperatura retal (Modelo MLT1407, ADInstruments);
14. Dois sensores de temperaturas da superfície corporal (Modelo MLT22/A, ADInstruments);
15. Sistema de aquisição de dados (Modelo PowerLab 16/30 e LabChart Pro, ADInstruments);
16. Terminal para termistores (Modelo Thermistor Pod ML309, ADInstruments);
17. Computador;

Na avaliação o SMF realiza as medidas da proporção de CO₂, O₂ e CH₄ no ar expirado (CO_{2EXP}, O_{2EXP}, CH_{4EXP}, respectivamente); além da pressão de saturação do ar expirado ($PS\{T_{EXP}\}$, KPa) nos animais durante a coleta de dados, primeiramente a máscara facial foi ajustada ao focinho dos animais de forma que a cada movimento respiratório, o ar da atmosfera entrou pela válvula de entrada de ar da máscara, enquanto o ar expirado saiu pela válvula de saída de ar. Um tubo de respiração foi conectado na válvula de saída da máscara até a entrada de ar da câmara respiradora, assim conduzindo o ar expirado pelo animal até esta câmara de gases. Na saída de ar da câmara misturadora foi conectada uma mangueira plástica (BEV-A-LINE IV) até a entrada de ar dos analisadores. Com o auxílio de uma bomba o ar expirado no interior da câmara misturadora foi aspirado e puxado através de mangueira plástica e passou primeiramente pelo analisador de H₂O, que realizou a leitura da $PS\{T_{EXP}\}$, em seguida, essa amostra de ar expirado seguiu para o tubo de dissecante (Perclorato de magnésio - Mg(ClO₄)₂) para retirar as moléculas de vapor de H₂O para então seguir para os analisadores de CO₂, O₂ e CH₄ que fizeram a leitura da proporção desses gases no ar expirado do animal (CO_{2EXP}, O_{2EXP} e CH_{4EXP}, respectivamente).

O SMF realiza as medidas da frequência respiratória (FR, resp min⁻¹), do volume respiratório corrente (V_{RC}, L resp⁻¹) e o volume respiratório minuto (V_M, L s⁻¹) no conduto de saída de ar da câmara misturadora, por intermédio de uma conexão a um cabeçal de fluxo por onde o ar expirado do animal, após passar pela câmara misturadora de gases, passe pelo interior do cabeçal de fluxo, o qual foi conectado ao espirômetro que realizou a leitura digital da FR, V_{RC} e V_M.

Para o SMF realizar as medidas de temperatura da epiderme (T_{EP} , °C), superficial (T_S , °C), a temperatura retal (T_R , °C) e do ar expirado (T_{EXP} , °C) sensores tipo Termopares foram utilizados. A temperatura da superficial foi aferida por meio de um sensor colocado na região dorsal do animal sobre a superfície do pelame. O sensor 2 similar ao anterior, foi usado para medir a temperatura da superfície da epiderme, também colocado na região dorsal do animal, porém sobre a superfície previamente tricotomizada. Esses sensores foram acoplados a uma placa de plástico, a qual foi fixada no animal, com o auxílio de uma cinta elástica. A temperatura retal foi aferida por um sensor inserido no reto do animal, enquanto o sensor da temperatura do ar expirado foi inserido no interior da máscara facial a frente das narinas do animal. Esses sensores foram conectados diretamente no terminal de termistores, e este por sua vez foi conectados ao sistema de aquisição de dados, assim medindo continuamente a T_{EP} , T_S , T_R e T_{EXP} , respectivamente. No SMF as leituras do baseline das proporções de O_2 , CO_2 e CH_4 da atmosfera (O_{2ATM} , CO_{2ATM} e CH_{4ATM} , respectivamente) foram feitas sempre que a máscara facial foi retirada do focinho do animal. O baseline para a pressão parcial de vapor da atmosfera ($PP\{TA\}$, kPa) foi feita utilizando um analisador de H_2O conectado por uma mangueira plástica a uma bomba que puxa continuamente o ar ambiente para dentro desse analisador. Diferentemente da concentração de O_2 , CO_2 e CH_4 na atmosfera, o conteúdo de vapor nela varia acentuadamente ao longo do dia, por isso a necessidade de um analisador de vapor de H_2O exclusivo para o baseline da pressão de vapor de H_2O na atmosfera. Todas as leituras realizadas pelo SMF foram registradas continuamente e simultaneamente, a uma taxa de uma observação por segundo pelo sistema 27 de aquisição de dados, o qual foi conectado a um notebook que armazenou todos os dados para posterior extração dos mesmos. A partir desses dados foi possível estudar a termorregulação dos animais, através da produção de calor metabólico, perda de calor por evaporação na respiração e na superfície cutânea; e a emissão entérica de CH_4 da seguinte maneira:

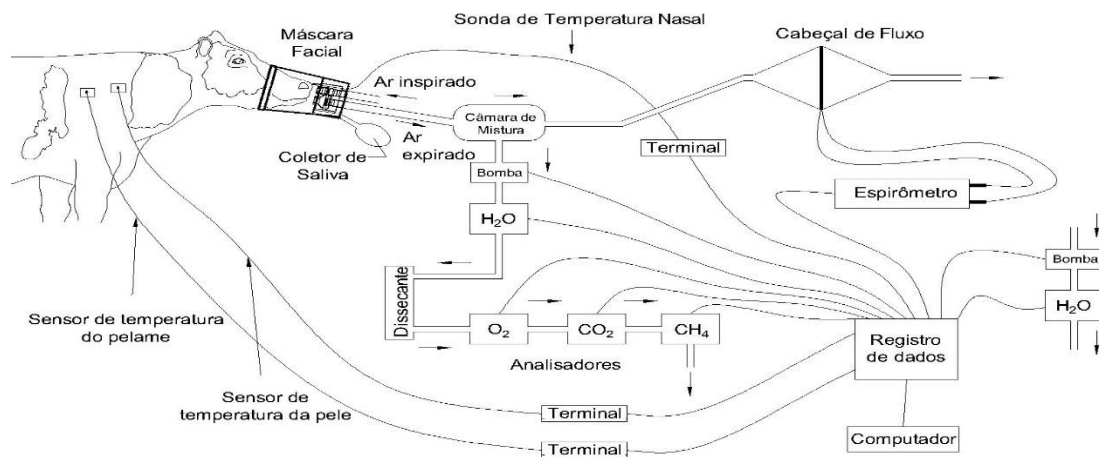


Figura 20 - Representação esquemática do sistema de medidas fisiológicas. (A) máscara facial, (B) cabeçal de fluxo, (C) câmara misturadora de ar, (D) analisador de vapor de H₂O, (E) sensor de temperatura do ar expirado, (F) sistema de aquisição de dados, (G) espirômetro, (H) computador, (I) dissecante, (J) terminal para termistores, (K) são as bombas aspiradoras de ar, (L) coletor de saliva, (CO₂) analisador de CO₂, (O₂) analisador de O₂, (CH₄) analisador de CH₄, (H₂O) analisador de vapor de H₂O.

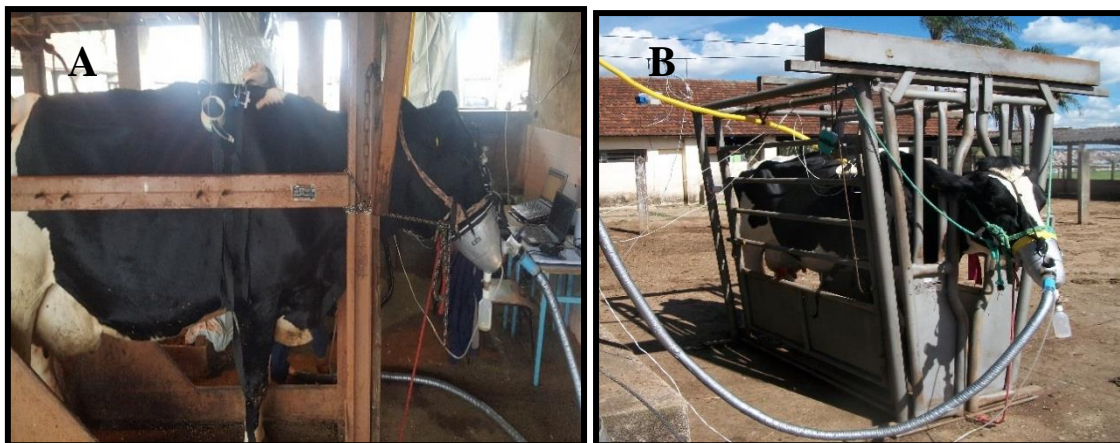


Figura 21 - A) Registro de dados de vacas protegidas da radiação solar direta; B) Registro de dados de vacas expostas à radiação solar direta.

Obs: Devido a elevada oscilação da temperatura do ar durante o dia no local experimental, foi necessário isolar os condutos



Figura 22 - A) Sensor de temperatura da epiderme; B) Sensor da temperatura da superficial; C) Cápsula ventilada.



Figura 23 - A) Analisadores de gás (CH₄, CO₂ e O₂) e pressão de vapor (atmosfera, ar expirado e cápsula ventilada); B) Visão geral do sistema de medição fisiológica (SMF).

8.5. Determinação do equilíbrio térmico

8.5.1. Temperatura radiante média

A temperatura radiante média (T_{RM} , K) foi estimada utilizando a equação proposta por Silva (2000),

$$T_{RM} = \left[\frac{h_G \cdot (T_G - T_{AR}) + \epsilon_G \cdot \sigma \cdot T_G^4}{\epsilon_G \cdot \sigma} \right]^{\frac{1}{4}}$$

onde $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo negro, T_G (K) é a temperatura do globo negro, T_{AR} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}$ ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzman e h_G ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$) é o coeficiente de convecção do globo negro que foi obtido de acordo com a seguinte equação de acordo com Silva e Maia (2013):

$$h_G = k.d^{-1}.\text{Nu}$$

onde k é a condutividade térmica do ar ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$), d é a dimensão característica do corpo (m) e Nu é o número adimensional de Nusselt, calculado de acordo com Silva e Maia (2013).

8.5.2. Perdas sensíveis de calor

➤ Radiação de ondas longas

O fluxo de calor por radiação de ondas longas foi determinado de acordo com Silva e Maia (2013), como mostra a equação a seguir:

$$q''_{\text{RL}} = \varepsilon.\sigma.(T_S^4 - T_{\text{RM}}^4)$$

onde ε é a emissividade da superfície, σ ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzmann, T_S (K) é a temperatura da superfície e a T_{RM} (K) é a temperatura radiante média.

➤ Convecção

O fluxo de calor por convecção foi determinado usando a lei do resfriamento de Newton, de acordo com Incropera et al. (2013):

$$q''_{\text{CONV}} = hc.(T_S - T_{\text{AR}})$$

onde hc é o coeficiente de convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}$), T_S é a temperatura da superfície (K) e T_{AR} é a temperatura do ar (K). O hc foi determinado considerando o animal um cilindro horizontal de acordo com Silva e Maia (2013).

8.5.3. Perdas latentes de calor

➤ Evaporação no trato respiratório

$$q''_{\text{ER}} = \frac{\lambda.V.F_R.(\psi_{\text{EXP}} - \psi_{\text{ATM}})}{A_N}$$

onde A (m^2) é a área de superfície corporal, λ é o calor latente de vaporização (J g^{-1}) e a ψ_{ATM} (g m^{-3}) umidade absoluta da atmosfera: $P_P.\{T_{\text{AR}}\}$

$$\Psi_{ATM} = \frac{2166,87.P_P.\{T_{AR}\}}{T_{AR}}$$

onde $P_P\{T_{AR}\}$ é a pressão parcial de vapor da temperatura do ar (kPa), T_{AR} (K) é a temperatura do ar e Ψ_{EXP} (g m^{-3}) a umidade absoluta do ar expirado:

$$\Psi_{EXP} = \frac{2166,87.P_S.\{T_{EXP}\}}{T_{EXP}}$$

onde $P_S.\{T_{EXP}\}$ (kPa) é a pressão de saturação de vapor do ar expirado e T_{EXP} (K) é a temperatura do ar expirado.

8.5.4. Metabolismo

$$VO_2 = VM \cdot \left[O_{2ATM} - O_{2EXP} \cdot \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

$$VCO_2 = VM \cdot \left[CO_{2EXP} - CO_{2ATM} \cdot \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

$$VCH_4 = VM \cdot \left[CH_{4EXP} - CH_{4ATM} \cdot \left(\frac{1 - O_{2ATM} - CO_{2ATM} - CH_{4ATM}}{1 - O_{2EXP} - CO_{2EXP} - CH_{4EXP}} \right) \right]$$

$$q''_{MET} = \frac{16180.(VO_2) + 5160.(VCO_2) - 2420.(VCH_4)}{A_N}$$

8.6. Estação Meteorológica



Figura 24 - Estação meteorológica colocada perto da área do pasto.

8.7. Produção de Leite



Figura 25 - A) Vista frontal da disposição das vacas na sala de ordenha; B) Ordenha das vacas; C) Avaliação da produção de leite.