

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

VINÍCIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA

AREIA – PB
SETEMBRO – 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA

TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

VINÍCIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA
Zootecnista

AREIA – PB
SETEMBRO – 2016

VINÍCIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA

TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva (CCA/UFPB)

Prof. Dr. Edgard Cavalcanti Pimenta Filho (CCA/UFPB)

AREIA – PB

SETEMBRO – 2016

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, campus II, Areia – PB.

F676t Fonsêca, Vinicius de França Carvalho.
Termoregulação de ovinos Morada Nova / Vinicius de França Carvalho Fonsêca. -
Areia: UFPB/CCA, 2016.
xiv, 112 f. : il.

Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade
Federal da Paraíba, Areia, 2016.

Bibliografia.

Orientador: Edilson Paes Saraiva.

1. Ovinos – Raça Morada Nova 2. Ovelhas Morada Nova – Termorregulação 3.
Pequenos ruminantes – Calorimetria indireta I. Saraiva, Edilson Paes (Orientador) II.
Título.

UFPB/CCA

CDU: 636.32/.38(043.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA
UFPB – UFC - UFRPE

PARECER DE DEFESA DO TRABALHO DE TESE

TÍTULO: "Termorregulação de ovinos Morada Nova"

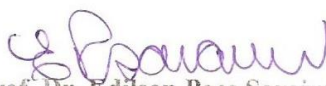
AUTOR: Vinicius de França Carvalho Fonsêca

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva

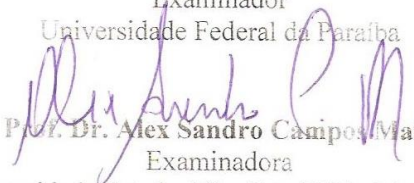
JULGAMENTO

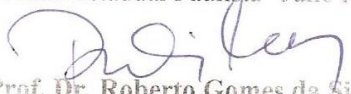
CONCEITO: APROVADO

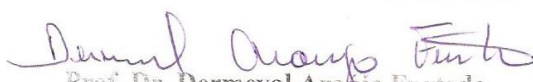
EXAMINADORES:


Prof. Dr. Edilson Paes Saraiva
Presidente
Universidade Federal da Paraíba


Profa. Dra. Patrícia Emília Naves Givisiez
Examinador
Universidade Federal da Paraíba


Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia
Examinadora
Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita"


Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva
Examinador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido


Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado
Examinador
Universidade Federal de Campina Grande

Areia, 16 de setembro de 2016

SÚMULA CURRICULAR DO AUTOR



Vinícius de França Carvalho Fonsêca ingressou no curso de Zootecnia (Maio de 2005) da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, recebendo o título de Zootecnista em Setembro de 2010. Em Março de 2011, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias – PPGZ/UFPB, na área de concentração em Produção Animal com ênfase em Etologia e Biometeorologia Animal, com orientação do Professor Dr. Edilson Paes Saraiva. Em Fevereiro de 2013, foi submetido e aprovado no exame de defesa da dissertação intitulada "Relação materno-filial de ovinos Morada Nova". No mês seguinte (Março de 2013), ingressou no Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (PDIZ/UFPB - UFC - UFRPE), também com ênfase em Etologia e Biometeorologia Animal e orientação do Professor Dr. Edilson Paes Saraiva. Durante o período do doutorado, realizou estágio no Laboratório de Biometeorologia da Unesp – Jaboticabal-SP, com supervisão do Professor Dr. Alex Sandro Campos Maia, cumprindo alguns créditos de disciplinas oferecidas pelo programa de Pós Graduação em Zootecnia da Unesp - Jaboticabal e exercendo atividades de pesquisas desenvolvidas pelo grupo de Inovações de Estudos em Biometeorologia Animal (INO BIO). No ano de 2014, tornou-se membro da Sociedade Internacional de Biometeorologia e, em 2015, membro da Sociedade Brasileira de Biometeorologia. Em dezembro de 2015, foi submetido e aprovado no exame de qualificação de Doutorado, com defesa marcada para o dia 16 de Setembro de 2016 do trabalho de tese intitulado "Termorregulação de ovinos Morada Nova". Em fevereiro de 2016, foi aprovado e contratado como Professor colaborador do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, para lecionar as disciplinas de Fisiologia Animal I, Etologia e Bem-Estar Animal nos cursos de Zootecnia e Medicina Veterinária.

“ O cabra para andar comigo tem que cumprir um degredo, andar devagarzinho, bem na pontinha dos dedos, dá definição de tudo, dormir tarde e acordar cedo” (Geraldo Carvalho Fonsêca, in memorian).

"Meu amigo, o que é verdade eu digo" (Geraldo Manoel Silvano, in memorian)

"Aos meus Geraldos"

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me conduzido até aqui.

Agradeço a CAPES e FAPESP - SP pelo financiamento da bolsa de estudos e equipamentos para realização do experimento, respectivamente; agradeço aos professores examinadores por terem aceitado o convite.

Minha família, minha base, a vocês, dedico todas as coisas boas que aconteceram na minha vida. Todo o meu amor e gratidão Mainha, Painho e Liginha. Muito obrigado por tudo.

Minha Hélia, chegamos ao fim de mais uma caminhada. Obrigado por toda cumplicidade, carinho, força e por sempre andar ao meu lado e me ajudar em tudo. Em cada pedaço dessa longa história, tens uma grande parcela. A ti, minha eterna gratidão. Amo você.

Agradeço ao Professor Edilson Paes Saraiva pela amizade, orientação e companheirismo durante esses oito anos de caminhada. Minha gratidão e reconhecimento por tudo que representa para mim.

Agradeço aos meus amigos Gabriel, Guilherme e Josinaldo por todo o apoio e AMIZADE de sempre; a todos que fazem parte do Bioet, Antônio, Mikael, Elivânia, Thiago, Larissa pela colaboração na execução das atividades e companheirismo. Aos amigos presenteados pelo Doutorado; ao meu amigo Maurício por ter sempre me acolhido nas idas a Jaboticabal, conversas, incentivo e amizade.

Em especial, agradeço ao Professor Walter Esfrain Pereira pela paciência, bondade e humildade de sempre; foram quase oito anos de muitas visitas ao departamento de Ciência Sociais para gastar um pouco do seu tempo.

Registro meu agradecimento a todos do grupo de inovações em Biometeorologia Animal da Unesp - SP por terem me acolhido tão bem. Angela, Carol, Leandro, Sheila, Cínthia, Bruno, Marcus, Laise, Patric, Eric, enfim, o meu muito obrigado a vocês. Minha gratidão ao Professor Alex Maia por todo esforço para que essa pesquisa viesse à acontecer; agradeço por sua disponibilidade, orientação, incentivo e amizade.

Por fim, agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

SUMÁRIO

Resumo geral.....	xiv
Abstract.	xv
CAPÍTULO I - ADAPTAÇÃO E TERMORREGULAÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES EM AMBIENTES QUENTES: UMA REVISÃO	16
Resumo.....	17
Abstract.	18
Conteúdo	19
1. Introdução.....	20
2. A raça Morada Nova	21
3. Adaptação de pequenos ruminantes às zonas áridas e semiáridas	23
4. Termorregulação	34
5. Os limites e os custos biológicos da homeotermia	52
6. Considerações finais.....	55
7. Literatura citada	55
CAPÍTULO II - HABITUAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE OVELHAS MORADA NOVA PARA TESTES DE CALORIMETRIA INDIRETA COM USO DE MÁSCARAS FACIAIS	68
Resumo.....	69
Abstract.	70
1. Introdução.....	71
2. Material e métodos.....	72
3. Resultados.....	78
4. Discussão	82
5. Conclusão	85
6. Literatura citada	85
CAPÍTULO III - VARIAÇÃO CIRCADIANA NA TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA	88
1. Introdução.....	91
2. Material e Métodos	92
3. Resultados.....	98
4. Discussão.....	103
5. Conclusões.....	105
6. Literatura citada	105

CAPÍTULO IV - TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELO TRATO RESPIRATÓRIO EM OVINOS MORADA NOVA.....	108
Resumo.....	109
Abstract.	110
1. Introdução.....	111
2. Material e métodos.....	112
3. Resultados.....	114
4. Discussão	120
5. Conclusões.....	122
6. Literatura citada	122
APÊNDICES	125

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - ADAPTAÇÃO E TERMORREGULAÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES EM AMBIENTE QUENTE: UMA REVISÃO

Figura 1: Raças de ovinos criadas em ambiente árido e semiárido.....	24
Figura 2: Balanço de calor de ovinos a campo.....	38
Figura 3: Sistema de calorimetria indireta desenvolvido no laboratório de Biometeorologia Animal da UNESP - Jaboticabal, SP.....	42
Figura 4: Protocolo para medida da temperatura vaginal de ovinos.....	46

CAPÍTULO II - HABITUAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE OVELHAS MORADA NOVA PARA TESTE DE CALORIMETRIA INDIRETA COM USO DE MÁSCARAS FACIAIS

Figura 1: Protótipos e máscara facial utilizadas durante o período de treinamento.....	74
Figura 2: Balança e tronco de contenção utilizados nas etapas de treinamento.....	74
Figura 3: Layout da área utilizada no teste de reatividade e de aproximação.....	77
Figura 4: Médias por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da frequência respiratória na 2ª e 3ª etapa do treinamento.....	79
Figura 5: Movimentos com a cabeça no tronco de contenção.....	80
Figura 6: Vocalizações das ovelhas no tronco de contenção.....	81
Figura 7: Probabilidade das ovelhas subirem no tronco sem a necessidade de auxílio humano.....	82
Figura 8: Ovelhas nos dois primeiros componentes principais.....	83

CAPÍTULO III - VARIAÇÃO CIRCADIANA NA TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

Figura 1: Diagrama do arranjo experimental.....	94
Figura 2: Sistema de calorimetria indireta.....	96
Figura 3: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura do ar (T_{ar}), radiante média (T_{RM}), umidade relativa (U_R) e pressão de vapor da atmosfera ($e[T_{ar}]$) nas horas do dia.....	102
Figura 4: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura retal (T_R), epiderme (T_{EP}), pelame (T_S), ar expirado (T_E), frequência respiratória (F) e ventilação (V_E) nas classes de temperatura do ar.....	103

Figura 5: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura retal (T_R), epiderme (T_{EP}), da atmosfera (T_{ar}), fluxo de calor sensível (q_{sens}), evaporação respiratória (q_{er}) e produção de calor metabólico (q_{met}) como função da hora do dia.....	104
Figura 6: Transfência de calor sensível ($W\ m^{-2}$), produção de calor metabólico ($W\ m^{-2}$) e evaporação respiratória ($W\ m^{-2}$) como função da temperatura do ar ($^{\circ}C$).....	105
Figura 7: Classes da temperatura do ar nos dois primeiros componentes principais.....	105

CAPÍTULO IV - TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELO TRATO RESPIRATÓRIO EM OVINOS MORADA NOVA

Figura 1: Diagrama do arranjo experimental.....	114
Figura 2: Volume respiratório corrente (V_{RC}) como função da frequência respiratória (F)..	115
Figura 3: Frequência respiratória (F) como função da temperatura do ar (T_{ar}).....	118
Figura 4: Temperatura do ar expirado (T_E) como função da temperatura do ar (T_{ar}), umidade relativa (U_R), pressão de vapor da atmosfera ($e[T_{ar}]$) e temperatura retal (T_R).....	120
Figura 5: Médias por quadrados mínimos da temperatura do ar expirado (T_E), retal (T_R) e frequência respiratória (F).....	121
Figura 6: Transferência de calor por convecção (C_R) e evaporação respiratória (E_R) como função da temperatura do ar.....	122

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - ADAPTAÇÃO E TERMORREGULAÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES EM AMBIENTE QUENTE: UMA REVISÃO

Tabela 1: Espectro eletromagnético solar no nível do mar.....	33
Tabela 2: Medidas respiratórias ($\bar{x} \pm \text{EPM}$) de ovinos Morada Nova e caprinos Anglo Nubiano.....	43
Tabela 3: Transferência de calor através da superfície cutânea (E_c , W m^{-2}) de ovinos e caprinos.....	48
Tabela 4: Amplitude para temperatura de mínimo esforço termorregulatório descritos na literatura para caprinos e ovinos.....	54

CAPÍTULO II - HABITUAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE OVELHAS MORADA NOVA PARA TESTE DE CALORIMETRIA INDIRETA COM USO DE MÁSCARAS FACIAIS

Tabela 1: Medidas comportamentais.....	75
Tabela 2: Classificação dos escores de reatividade na balança.....	76
Tabela 3: Probabilidade cumulativa (%) para os escores de reatividade na balança.....	82
Tabela 4: Distância de aproximação de ovelhas treinadas e não treinadas.....	83

CAPÍTULO III - VARIAÇÃO CIRCADIANA NA TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

Tabela 1: Média ($\bar{x}$), valor mínimo (mín.) e máximo (máx.) da umidade relativa (U_R), pressão parcial de vapor da atmosfera ($e[\text{Tar}]$) e temperatura média radiante (T_{RM}) nas classes de temperatura do ar.....	101
--	-----

CAPÍTULO IV - TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELO TRATO RESPIRATÓRIO EM OVINOS MORADA NOVA

Tabela 1: Valores médios, mínimos e máximos da temperatura do ar (T_{ar} ; °C), umidade relativa (U_R ; %), temperatura radiante média (T_{RM} ; °C) e pressão de vapor de atmosfera ($e[\text{Tar}]$).....	117
---	-----

TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

Vinícius de França Carvalho Fonsêca¹, Edilson Paes Saraiva²

1 - Doutorando no PPGZ/Areia - PB;

2 - Professor do Departamento de Zootecnia - UFPB, Areia/PB - Orientador;

Resumo geral: Objetivou-se, com este estudo, avaliar a termorregulação de ovelhas da raça Morada Nova utilizando um sistema de calorimetria indireta. Com o propósito de desenvolver uma metodologia para habituação e condicionamento dos animais para os testes com o sistema de calorimetria indireta, dezesseis ovelhas Morada Nova com peso de $32,6 \pm 1,8$ kg e $2,8 \pm 0,9$ anos de idade foram selecionadas em um rebanho com 60. A duração do período de treinamento foi de 83 dias, sendo dividido em três etapas. A partir da segunda, medidas fisiológicas e comportamentais foram utilizadas como indicadores da resposta aversiva aos procedimentos. Quando o tempo de permanência dos animais com a máscara facial no tronco de contenção aumentou de 10 para 50 minutos, a frequência respiratória não foi alterada. A probabilidade das ovelhas apresentarem resistência no momento da subida no tronco diminuiu conforme o aumento no tempo de permanência, chegando a ser praticamente nula no final da 3ª etapa. Ao término dessa fase, doze animais com peso de $32,76 \pm 3,72$ kg foram distribuídas em dois quadrados latino 12×12 (24 dias de registros e 24 horários). As ovelhas foram avaliadas das 07:00 às 18:00 h (Q_{L1}) e das 19:00 às 06:00 horas (Q_{L2}), mantidas na sombra e abrigadas durante a noite. A taxa de ventilação pulmonar (V_E), frequência respiratória (F), temperatura (T_E), pressão de vapor ($e[T_E]$), percentual de oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) do ar expirado foram quantificados por meio de um sistema de calorimetria indireta com uso de máscara facial. O balanço de calor dos animais foi quantificado de acordo com os princípios da lei de conservação de energia. No intervalo de 00:00 às 06:00 h, o fluxo de calor sensível chegou a ser duas vezes maior que o produzido pelo metabolismo. Numa faixa de temperatura maior que 30 e menor que 32 °C, o calor latente (q''_{er}) começou a ganhar importância na manutenção do equilíbrio térmico. Um modelo não linear simples para estimar o volume corrente (V_{RC}) como função da frequência respiratória (F) foi desenvolvido. Uma equação para calcular a temperatura do ar expirado (T_E) foi construída e a temperatura do ar foi o melhor estimador, juntamente com a umidade relativa e pressão de vapor da atmosfera. As funções apresentadas neste estudo permitem estimar o fluxo de calor sensível e latente pelo trato respiratório de ovinos Morada Nova em condições de campo, utilizando parâmetros fisiológicos e ambientais simples como a frequência respiratória, temperatura do ar e umidade relativa. Na faixa de 22 a 31 °C, o balanço de calor de ovelhas Morada Nova protegidas da radiação solar, vento e chuva é mantido numa condição de mínimo esforço termorregulatório.

Palavras-chave: adaptação, clima semiárido, modelos matemáticos, pequenos ruminantes, transferência de calor e massa

THERMOREGULATION OF MORADA NOVA SHEEP

Abstract: The objective of this study was to evaluate the thermoregulation of Morada Nova sheep using an indirect calorimetry system. In order to develop a methodology for habituation and conditioning of animals for testing with the indirect calorimetry system, sixteen Morada Nova sheep with 32.6 ± 1.8 kg body weight and 2.8 ± 0.9 years old were selected from a herd of 60. The duration of the training period was 83 days, which was divided into three steps. From the second step, physiological and behavioral traits were used as indicators of aversive response to the procedures used. When the time spent by the animals in the contention trunk with facial mask increased from 10 to 50 minutes, the respiratory rate did not change. The probability of the sheep to show resistance at the time of the rise in the trunk decreased with the increase in time spent in the contention trunk, becoming practically nil at the end of the 3rd step. At the end of this phase, twelve animals with 32.76 ± 3.72 kg body weight were distributed in two Latin squares 12 x 12 (24 hours and 24 days of records). Animals were evaluated from 07:00 to 18:00 (Q_{L1}) and from 19:00 to 06:00 hours (Q_{L2}), kept in the shade and sheltered overnight. Ventilation rate (V_E), breathing rate (F), temperature (T_E), the vapor pressure ($e[T_E]$), percentage of oxygen (O_2) and carbon dioxide (CO_2) from the exhaled air were quantified by an indirect calorimetry system. The animal's heat balance was quantified according to the principles of energy conservation law. In the range of 00:00 to 06:00 h, sensible heat flow became twice that the heat produced by metabolism. In a temperature range higher than 30 and minor than 32 ° C, latent heat (q''_{er}) became important in the thermal balance. A simple non-linear model to estimate the tidal volume (V_{RC}) as a function of respiratory frequency (F) was developed. An equation to calculate the temperature of the expired air (T_E) was built and the air temperature was the best estimator, together with the relative humidity and atmospheric vapor pressure. Functions presented in this study allow to estimate the sensible and latent heat flux form the respiratory tract of Morada Nova sheep under field, using physiological and environmental simple parameters as respiratory rate, air temperature and relative humidity. For Morada Nova sheep protected from solar radiation, wind and rain, a minimum thermoregulatory effort is observed under temperature range of 22 and 30 °C.

Keywords: adaptation, semiarid climate, mathematic models, small ruminants, mass and heat transfer

CAPÍTULO I

ADAPTAÇÃO E TERMORREGULAÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES EM AMBIENTES QUENTES: UMA REVISÃO

ADAPTAÇÃO E TERMORREGULAÇÃO DE PEQUENOS RUMINANTES EM AMBIENTE QUENTE: UMA REVISÃO

Resumo: Características anatômicas, comportamentais e fisiológicas traduzem algumas especificidades no balanço de energia dos animais autóctones das zonas áridas e semiáridas do planeta. Esses animais lidam frequentemente com desafios como baixa disponibilidade de recursos hídricos, oferta e qualidade de alimentos, elevados níveis de radiação solar, e flutuações sazonais e circadianas de temperatura. No estudo da relação animal e clima, é importante conhecer bem os componentes do clima e do balanço de calor, caracterizando-os corretamente para uma avaliação segura dos processos de transferência de calor e massa. Portanto, essa revisão sumarizou informações disponíveis na literatura acerca das bases anatômicas, comportamentais e fisiológicas da adaptação de pequenos ruminantes criados em regiões áridas e semiáridas do planeta. Ademais, uma síntese sobre como caracterizar o ambiente térmico radiante e quantificar os componentes do balanço de calor animal também foi apresentada.

Palavras-chave: ambiente térmico radiante, homeotermia, metabolismo de repouso, ovinos deslanados, seleção natural, sobrevivência

THERMOREGULATION AND ADAPTATION OF SMALL RUMINANT IN A HOT ENVIRONMENT: A REVIEW

Abstract: Anatomical, behavioral and physiological characteristics translate some specificities of the energy balance in the naturalized animals of arid and semi-arid lands. These animals often deal with challenges such as low availability of water resources, supply and quality food, high levels of solar radiation, seasonal and circadian temperature changes. Regarding of the animal and climate relationship, it is important to know the components of climate and heat balance, characterizing them correctly for safe evaluation of heat and mass transfer processes. Therefore, this review summarized information available in the literature about the anatomical, behavioral and physiological adaptation bases of small ruminants raised in arid and semi-arid regions of the planet. In addition, an overview of how to characterize the radiant thermal environment and quantify the animal heat balance components was also presented.

Keywords: homeothermy, resting metabolism, hair-coat breeds, natural selection, survival, radiant mean temperature

Conteúdo

1. Introdução.....	20
2. A raça Morada Nova	21
3. Adaptação de pequenos ruminantes às zonas áridas e semiáridas.....	23
3.1 Zonas áridas e semiáridas.....	23
3.2 Propriedades estruturais e radiativas na superfície dos animais e tamanho corporal	24
3.3 Interação ambiente e comportamento animal	27
3.3.1 Utilização de sombra, abrigos e orientação corporal	27
3.4 Fisiologia da adaptação de pequenos ruminantes às zonas áridas e semiáridas	30
3.4.1 Metabolismo, estoques de reserva energética e eficiência digestiva.....	30
3.4.2 Uso de água	32
4. Termorregulação	34
4.1 Caracterizando o ambiente térmico radiante.....	34
4.2 Quantificando os componentes do balanço de calor animal	39
4.2.1 Radiação de ondas curtas absorvida na superfície do animal	40
4.2.2 Produção de calor metabólico.....	41
4.2.3 Estocagem térmica	46
4.2.4 Transferência de calor sensível	47
4.2.5 Transferência de calor latente	48
4.2.5.1 Evaporação cutânea.....	48
4.2.4.2 Transferência de calor e massa pelo trato respiratório.....	51
5. Os limites e os custos biológicos da homeotermia	52
6. Considerações finais.....	55
7. Literatura citada	55

1. Introdução

O clima e a nutrição são os fatores não genéticos de maior influência no valor fenotípico de um indivíduo. Nas zonas áridas e semiáridas do planeta, pesquisas com caprinos beduínos (Finch et al., 1980,1984; Silanikove, 2000), ovinos da raça Bighorn, Awassi, Nadji e Merino (Cain et al., 2008; Abdoun et al., 2012; Al-Haidary et al., 2012), camelos e dromedários (Cain et al., 2012) deixam claro tal afirmação. Em síntese, esses animais otimizam o balanço de energia térmica diminuindo sua exposição à radiação pela busca de sombra ou abrigos e estocam uma quantidade significativa de calor durante o dia, garantindo maior economia de água e menores custos energéticos com a homeotermia. Eficiência digestiva na utilização da fibra e conservação do nitrogênio são outros atributos fisiológicos que garantem a sobrevivência destas espécies (Silanikove, 2000).

O processo evolutivo em ambientes quentes dirigiu as propriedades estruturais e radiativas na superfície cutânea de caprinos e ovinos (pelo e pele) de tal forma que proporcionem maior proteção da epiderme e menor resistência à transferência de calor para o ambiente (McManus et al., 2009a; Castanheira et al., 2010; Amorim et al., 2016, em preparação). Em contrapartida, nas zonas áridas de latitude elevada, a superfície do animal também precisa garantir maior conservação e absorção do calor nas épocas frias do ano, a qual coincide com o período de escassez de alimento. Nessas regiões, a predominância de cabras beduínas pretas em relação às brancas pode ser atribuída a maior capacidade na absorção da energia térmica radiante, o que garante menores custos metabólicos com a termogênese facultativa nos meses frios do ano (Finch et al., 1980).

Informações na literatura acerca da relação do ambiente térmico com o comportamento e processos de transferência de calor e massa de caprinos e ovinos criados em ambiente tropical semiárido são escassas. Maia et al. (2015) avaliaram a termorregulação de caprinos "Sem Padrão Racial Definido" utilizando um sistema de calorimetria indireta; de acordo com estes autores, o equilíbrio térmico de animais expostos a níveis de radiação acima de 800 Wm^{-2} foi alcançado com aumento substancial na taxa de evaporação cutânea e respiratória.

Animais de pequeno porte e superfície cutânea com baixa resistência à transferência de calor, como é o caso dos caprinos e ovinos criados nas zonas tropicais semiáridas, são mais susceptíveis às variações do ambiente térmico (McManus et al., 2011). Nestas regiões, as noites frias (amplitude térmica diária de $\pm 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) favorecem a rápida transferência de calor sensível para o ambiente, podendo ser maior que a quantidade de calor metabólico produzido

(Fonsêca et al., 2016; em preparação). Além disso, o vento e as chuvas, mesmo que esporadicamente, podem tornar o balanço de calor mais custoso, pelo recrutamento da termogênese facultativa para repor o excesso de calor perdido, caso o animal não tenha oportunidade de encontrar um abrigo (DeShazer et al., 2009).

O propósito deste artigo foi revisar e discutir os conhecimentos disponíveis na literatura sobre os seguintes pontos:

- I) Histórico e aspectos fenotípicos da raça Morada Nova;
- II) Bases anatômicas, comportamentais e fisiológicas da adaptação de pequenos ruminantes criados em regiões áridas e semiáridas;
- III) Como caracterizar o ambiente térmico radiante e quantificar os componentes do balanço de calor animal para avaliação da termorregulação.

2. A raça Morada Nova

A evolução dos animais domésticos tem sido moldada pelo homem ao longo das gerações, bem como a expansão das espécies seguindo a rota migratória e o estabelecimento do ser humano nas mais diversas regiões; assim sendo, quando a América foi colonizada, raças de ovinos (*Ovis aries*) e caprinos (*Capra hircus*) ibéricas foram trazidas por portugueses e espanhóis (Egito et al., 2002); estas evoluíram, adaptando-se às condições sanitárias, climáticas e de manejo encontradas nos mais diferentes habitats, dando origem às raças denominadas de locais, ou num termo mais genérico, de crioulas, nativas ou naturalizadas (Egito et al., 2002; Ribeiro e González Garcia, 2016). Entretanto, por definição, o termo nativo, local ou crioulo é entendido como "algo produzido pela natureza", ou seja, com origem e domesticação local, não sendo adequado para maioria dos animais domésticos encontrados na América. Nesta localidade, apenas lhamas (*Lama glama*), alpacas (*Lama pacos*), perus (*Meleagris gallopavo*) e cobaias (*Cavia porcellus*) são realmente nativos; de outra forma, o termo naturalizado, o qual significa "aclimação durável de plantas ou animais num ambiente que lhes é estranho", parece ser o mais adequado.

No semiárido do Brasil, estima-se que 85 a 90% do rebanho ovino seja formado por raças deslanadas (Ribeiro et al., 2014). Os ovinos Morada Nova constituem uma dessas raças, a qual sofreu ação seletiva natural nas condições extensivas de criação, tornando-se um

importante recurso genético para os pequenos produtores da região (Selaive-Villarroel et al., 2008). Estudos anteriores direcionaram a aptidão destes animais para produção de carne e pele, destacando sua adaptação à semi-aridez em função de boas taxas de fertilidade e prolificidade (Fernandes, 2001; Selaive-Villarroel e Fernandes, 2000; Quesada et al., 2002; Shiotsuki et al., 2014). Ademais, por serem animais de pequeno porte, lidam melhor com os desafios da escassez de alimento, em virtude de sua baixa exigência de manutenção em relação às raças ovinas de maior tamanho corporal (Gonzaga Neto et al., 2005; Shiotsuki et al., 2016).

A respeito do surgimento da raça, o professor Octávio Domingues, nos anos de 1937 a 1938, numa visita técnica ao município de Morada Nova no estado do Ceará (zona semiárida, $\pm 5^\circ\text{S}$), foi o primeiro a descrever o que seria o "carneiro deslanado de Morada Nova", segundo ele, "um tipo de animal precioso para o homem e para a região" (Facó et al., 2008); são animais de pequeno porte com ausência de lã e chifres, pelos curtos e ásperos, machos com 40 a 60 kg e fêmeas adultas de 30 a 50 kg, sendo reconhecidos pela Associação dos Criados de Ovinos (ARCO) dois tipos de pelagem: a vermelha (variações de vermelha escura ou clara), correspondendo a $\pm 99\%$ da população da raça e a branca ($\pm 1\%$), restrita a poucos rebanhos de conservação. No entanto, o nascimento de animais com pelame preto oriundos de machos e fêmeas registrados tem sido observado em pequenas propriedades com rebanhos Morada Nova. Por meio de um sequenciamento do gene receptor (MC1R) que ativa a síntese de melatonina, Muniz et al. (2016) verificaram uma pequena variação genética de animais de coloração vermelha e preta, sugerindo, assim, registro e inclusão de animais pretos nos programas de melhoramento e conservação da raça.

Quanto a sua origem, hipóteses indicam que a raça tenha contribuições ibéricas e africanas na sua constituição genética (Egito et al., 2002; Paiva et al., 2005; Muniz et al., 2016; Ribeiro e González Garcia, 2016). Kijas et al. (2012) utilizaram mais de 50000 marcadores SNP (*Single Nucleotide Polimorphism*) e confirmaram duas fontes de variabilidade genética principal, uma de origem europeia e outra de origem africana para as raças de ovinos naturalizadas brasileiras. Nas últimas décadas, a seleção artificial por meio dos cruzamentos com outras raças tem ocasionado uma redução significativa na população destes animais (Aranda et al., 2012). De acordo com Ribeiro et al. (2014), a raça Morada Nova encontra-se ameaçada pela introdução de outras raças menos adaptadas às condições de semiárido, principalmente a Dorper, para substituição ou em cruzamentos, contribuindo para perda da variabilidade genética e modificações na estrutura da população. A diversidade genética dentro das espécies domésticas está refletida na variedade de genótipos e raças, além da variação presente dentro de cada uma. Ovinos Morada Nova possuem diferenças marcantes

quanto à sua variabilidade genética quando comparados com outras raças de ovinos deslanados do Brasil, ratificando a importância dos programas de conservação desse recurso genético (Paiva et al., 2005).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem investindo cada vez mais nos programas de conservação de raças naturalizadas, incluindo Morada Nova, Santa Inês, Somálias Brasileira, entre outras. Em síntese, os objetivos de um programa de conservação de recursos genéticos com animais incluem identificar e caracterizar fenotipicamente núcleos de conservação, estabelecendo os centros de origem, diversidade e variabilidade genética para os grupos ameaçados (Egito et al., 2002; Bianchini et al., 2006). Além disso, uma articulação de pesquisadores, professores e produtores locais, deram início, no ano de 2007, a uma rede de ações em torno da raça Morada Nova, envolvendo discussões a respeito das estratégias de conservação da raça além da elaboração e execução de projetos nas áreas de nutrição, forragicultura, sanidade, manejo reprodutivo, comportamento e bioclimatologia.

3. Adaptação de pequenos ruminantes às zonas áridas e semiáridas

3.1 Zonas áridas e semiáridas

O clima de uma região pode ser considerado como resposta da atmosfera à interação da energia solar incidente com os fatores geológicos e biológicos; é o que descreve a hipótese Gaia, onde "a evolução do ambiente climático afeta a evolução dos organismos e vice-versa, num fenômeno de co-evolução" (Silva, 2008; Hill et al., 2012). Quando um indivíduo consegue sobreviver e além disso aumentar sua frequência gênica, diz-se que este adaptou-se (Bernabucci et al., 2010). Um indicativo simples que se aplica a essa definição é a predominância de determinadas espécies num local específico do planeta (Ivanov, 2006). Em resumo, a seleção natural cria uma combinação melhor entre os animais e os seus ambientes, ou seja, uma população adaptada às condições de um ambiente deverá ter indivíduos com fenótipo preparado para enfrentar os desafios "*in loci*". Portanto, entender como tais fenômenos ocorreram e ainda ocorrem é essencial para compreensão dos conceitos de seleção natural e adaptação dos organismos vivos.

No planeta, existe uma gama de ecossistemas e, dentre esses, as zonas áridas e semiáridas. Biólogos definem essas regiões enfatizando duas características de importância para as plantas e animais que as habitam: primeiro, como sendo o local onde a precipitação é

tão baixa que a disponibilidade de água exerce um efeito controlador dominante sobre os processos biológicos; segundo, uma região onde as precipitações ocorrem sempre na forma de eventos raros e imprevisíveis (Schwinning et al., 2004). Zonas áridas e semiáridas são dispersas em vários locais do planeta e muito diferenciadas entre si, mas guardando pontos comuns de identificação que as tornam singulares em relação a outros ecossistemas (Tilahun, 2006). As diferenças são marcadas pelas variações latitudinais, com locais próximos a linha do Equador como a região semiárida do Brasil, e as terras áridas de latitudes elevadas como o deserto do Atacama no Peru (27 °S) e Neguev em Israel (30°N). Como semelhança, apresentam baixos índices pluviométricos, sendo consideradas como zonas áridas aquelas com níveis de aproximadamente 250 mm anuais e as semiáridas com precipitações que podem alcançar os 400 mm. Um outro ponto em comum são os altos níveis de temperaturas do ar e carga térmica radiante (Walsberg, 2000; Silva et al., 2015).

Características anatômicas, comportamentais e fisiológicas traduzem algumas especificidades no balanço de energia dos animais autóctones das zonas áridas e semiáridas. Estes animais lidam frequentemente com desafios como: baixa disponibilidade de recursos hídricos, oferta e qualidade de alimentos, elevados níveis de radiação solar e flutuações sazonais e circadianas de temperatura. Diante desses desafios, quais características conferem a esses animais sucesso de adaptação? Como a morfologia corporal, comportamento e a fisiologia podem esclarecer este questionamento? Em um contexto mais específico, os esclarecimentos aqui apresentados serão feitos com ênfase na adaptação de pequenos ruminantes, especialmente caprinos e ovinos. Contudo, sempre que necessário, exemplos pontuais de outros ungulados serão utilizados.

3.2 Propriedades estruturais e radiativas na superfície dos animais e tamanho corporal

A quantidade de energia que sai de um organismo é transferida da superfície corporal por: condução através dos tecidos (derme e epiderme); condução por meio das fibras do pelame (pelos, lã ou cerdas); condução através da camada limite; convecção livre ou forçada; evaporação na pele e radiação (Silva, 2008; DeShazer et al., 2009; Silva e Maia, 2013). O ambiente em torno do animal é complexo e muda continuamente em seus diferentes aspectos. Assim, a superfície corporal animal não pode ser meramente uma montagem fixa e estável, mas dinâmica e totalmente ajustável, sendo sua natureza diretamente relacionada com o padrão de vida do animal e trocas de energia com o ambiente (Silva e Maia, 2013).

Uma superfície pode comportar-se de três formas em relação à radiação solar: ela pode absorver (α), refletir (ρ) e transmitir (τ). As propriedades radiativas são determinantes nos processos de termorregulação dos animais, sobretudo nos mantidos em ambiente de elevada carga térmica de radiação, como nas regiões semiáridas e áridas. A evolução dos animais nessas regiões dirigiu as características na superfície cutânea para dois objetivos principais: proteção da epiderme contra a penetração da radiação de ondas curtas, e menor resistência à transferência de calor através da capa (Fig. 1 [a]; Silanikove, 2000; Silva et al., 2001; McManus et al., 2010). Estes objetivos se opõem em alguns casos, sendo necessário um conjunto de características que envolvem não somente a superfície do pelame, mas também da pele. Em outras palavras, uma superfície que ofereça menor resistência à transferência de calor para o ambiente deve ser sobreposta por uma pele altamente pigmentada para a proteção dos tecidos mais profundos da epiderme e derme.

A importância da pigmentação e de outras características da capa de cobertura para as trocas térmicas radiantes nos animais tem sido objeto de um grande número de estudos (Finch et al., 1984; Gebremedhin e Hillman, 1997; Silva et al., 2001; Silva et al., 2003). É usualmente aceito que animais com superfície externa escura são mais sujeitos ao estresse de calor que os de coloração clara, apresentando maior absorção de diversos comprimentos de onda (Gebremedhin e Hillman, 1997; Silva et al., 2003; Maia et al., 2005c). Em contrapartida, pelames mais claros apresentam maior refletância, absorvendo menores quantidades de energia térmica, o que tem levado a maioria dos pesquisadores a aceitarem a vantagem adaptativa dos pelames claros em ambientes de temperatura radiante média elevada. No entanto, alguns exemplos na natureza contrariam, em um primeiro momento, tais afirmações.

Povos que habitam o deserto no Neguev têm preferência por cabras de coloração preta em relação às brancas. Nessas regiões, o período de inverno coincide com a época de temperaturas mais baixas e menor disponibilidade de alimento; assim, cabras com pelame preto conseguem absorver maior quantidade de energia térmica, necessitando produzir uma menor quantidade de calor, diminuindo a exigência de energia metabolizável para manutenção (Finch et al., 1980). A predominância de ovinos lanados (*Ovis aries* → Awassi, Nadji, Malpura Fig. 1 [b]) nessas regiões também é indício de vantagem adaptativa tanto para maior proteção da pele, quanto para conservação do calor corporal nas épocas frias do ano.

Outro exemplo são os ovinos da raça Santa Inês, selecionados nas regiões semiáridas do Brasil, onde a população de animais com pelames pretos é superior aos animais brancos, supostamente, por este último possuir baixos níveis de pigmentação na epiderme (McManus et al., 2010). Em um estudo com bovinos Holandeses no Brasil (5° S), Moraes (2002) relatou

alguns casos de danos no tecido cutâneo de vacas na região corporal com pelame branco, devido à baixa pigmentação da epiderme. Tais achados devem explicar a maior população de vacas holandesas com predominância de pelames pretos em quase todo território nacional. Um exemplo clássico da sincronia na pigmentação do pelame e pele são os bovinos da raça Nelore, os quais possuem pelames brancos ou acinzentados (mescla de pelos brancos e pretos) sobre uma epiderme altamente pigmentada (Silva et al., 2003).

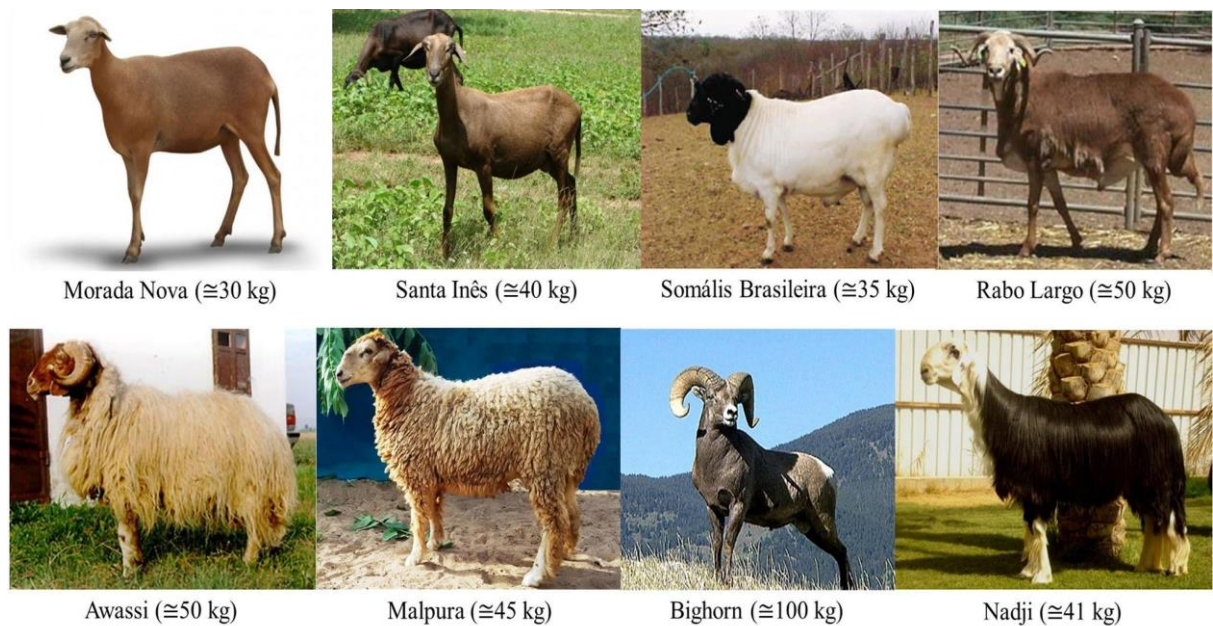


Figura 1: Raças de ovinos selecionadas em ambiente árido ou semiárido de baixa (a) e alta latitude (b). Fonte: Google imagens.

Costa (2012) verificou maior densidade, comprimento e diâmetro de pelos para animais Morada Novos da variedade branca em relação aos vermelhos, sugerindo maior proteção da epiderme. Não há informações sobre o nível de pigmentação na pele de ovinos Morada Nova vermelhos ou brancos, sendo provável que o último possua menor proteção (pigmentação) contra a penetração da radiação de ondas curtas nos tecidos profundos da epiderme; estes animais possuem mucosas (ocular principalmente; informação pessoal) despigmentadas, não garantindo proteção e aumentando a susceptibilidade dos danos cutâneos e aparecimento de neoplasias (Silva e Maia, 2013). Gardiner et al. (1972) constataram casos de câncer na região ocular de bovinos em função dos baixos níveis de melanina.

As relações de tamanho corporal são importantes para analisar quase todos os tipos de questões no estudo da fisiologia, ecologia e biologia evolutiva (Hill et al., 2012). De acordo com a regra zoogeográfica descrita por Bergman (1847): "para animais homeotermos, raças

de regiões quentes são menores que as de regiões frias". Apesar de ser uma generalização puramente empírica descrevendo a correlação de características morfológicas e temperatura ambiente, esta regra se encaixa bem quando observamos os caprinos e ovinos selecionados nas zonas áridas e semiáridas (Ribeiro e González-Garcia, 2016), porém, com algumas exceções, especialmente nas zonas áridas de latitude elevada, a qual predominam também raças de ovinos de grande porte (Fig. 1 [b]).

O pequeno tamanho corporal e uma superfície relativamente grande em relação a sua massa são características marcantes nos caprinos e ovinos dessas regiões, tornando-os eficientes dissipadores de calor (McManus et al., 2009b). Neste sentido, a pressão de seleção promoveu uma alteração gradual na taxa de lotação nesses ambientes com altos índices de sobrevivência e reprodução para animais menores, possibilitando assim, manter maior número de animais por área (Silanikove, 2000). Porém, o pequeno tamanho corporal desses animais deixa-os mais susceptíveis às variações do ambiente térmico, o que torna o balanço de energia altamente dependente dos ajustes comportamentais (Cain et al., 2006).

3.3 Interação ambiente e comportamento animal

3.3.1 Utilização de sombra, abrigos e orientação corporal

O comportamento oferece melhor compreensão sobre como os animais imediatamente lidam com às condições do ambiente (Broom e Fraser, 2010; Fonsêca et al., 2016). Os animais economizam energia buscando micro-climas nos horários mais quentes ou frios do dia. No entanto, o homem modifica o ambiente que o animal vive e, em muitas ocasiões, impõe barreiras físicas, impedindo que eles expressem comportamentos naturais que sejam motivados, como o simples ato de procurar sombra ou abrigo. É errôneo o pensamento de que, por serem animais adaptados ao clima local, caprinos e ovinos das zonas áridas e semiáridas possam ser criados em condições de ambiente sem proteção da radiação ou de outros componentes do clima como ventos e chuvas. Na verdade, a adaptação expressa exatamente a plasticidade de resposta desses animais frente aos desafios presentes nestes ecossistemas, e o comportamento, sem dúvida, é a principal delas.

Mudanças na duração das atividades diárias podem reduzir a carga de calor e minimizar as perdas de água pelos mecanismos evaporativos de resfriamento corporal. Nas épocas mais quentes do ano, ovinos Bighorn (*Ovis canadensis*) tendem a diminuir o tempo de atividade durante o dia, buscando áreas sombreadas (cavernas) para descansar nos horários de

maior carga térmica, desenvolvendo assim, padrões de comportamento crepuscular de forrageamento (Cain et al., 2008). O efeito da sombra está associado à capacidade dos animais suportarem a radiação solar (Silva, 2006); na literatura, não existem informações acerca dos níveis de radiação que motivam os caprinos e ovinos a buscarem sombra. No semiárido do Brasil, vacas holandesas mantidas a pasto foram motivadas a cessarem o pastejo e buscarem a sombra quando os níveis de radiação solar estavam no intervalo de 500 a 700 W m⁻² (Oliveira et al., 2014).

Os custos da homeotermia aumentam quando os animais não são protegidos da radiação solar direta (Brown, 1970; Silva, 1999; Silva, 2000; Gebremedhin et al., 2010). Caprinos sem padrão racial definido (SPRD) expostos a radiação solar, chegam a absorver mais de 400 W m⁻² de calor; nessa situação, a manutenção do equilíbrio térmico foi totalmente dependente do acionamento das vias evaporativas, sendo a cutânea responsável por aproximadamente 94% do calor transferido para o ambiente (Maia et al., 2015). Numa pesquisa com animais semelhantes, Costa et al. (2014) também verificaram aumento substancial na taxa de evaporação cutânea dos animais expostos à radiação solar em comparação com os mantidos na sombra. Os benefícios da oferta de sombra consistem na preservação dos mecanismos de perda de calor sensível pela redução da temperatura radiante média. Por sua vez, o acionamento das vias evaporativas (superfície cutânea e trato respiratório) ocorre com o aumento da temperatura e diminuição do gradiente térmico (pelame e ambiente), ocasionando gasto extra de energia e alterações significativas no balanço hídrico dos animais (Silanikove, 2000).

Na ausência de sombra, mudanças contínuas na orientação corporal dos animais devem diminuir os custos com a termorregulação (Hetem et al., 2011a). Nas condições que ovinos Morada Nova não tiveram acesso voluntário à sombra, verificou-se modificações na orientação corporal em relação a predominância dos ventos e radiação solar, hora aumentando a exposição da superfície corporal para uma maior perda de calor por convecção, e ao mesmo tempo, diminuir a irradiância de ondas curtas (Silva et al., 2016; em preparação); mesmo assim, a taxa respiratória dos animais aumentou de forma linear com a temperatura radiante média, demonstrando o incremento dos custos energéticos com a regulação da temperatura corporal quando não há provisão de sombra. Para diminuir a absorção de calor na superfície, animais sem acesso a sombra preferem posicionar seu eixo corporal na direção paralela aos raios solares (Hofmeyr e Louw 1987). Em ambiente tropical semiárido, Almeida et al. (2008) confirmaram que vacas prefeririam a postura de pé com o eixo corporal formando um ângulo azimutal (ϖ) de 0° quando estavam expostas à radiação solar direta. Durante o dia, animais

evitam o contato com superfícies mais quentes para não ganhar calor por condução; deste modo, estudos avaliando a termorregulação de animais em ambientes quentes têm desconsiderado este componente de transferência de calor nos modelos do equilíbrio térmico (Smith et al., 1985; Silva, 1999; Silva, 2000; Thompson et al., 2014).

Nas épocas frias das regiões áridas de latitude elevada, os propósitos dos animais se invertem para uma menor exposição da superfície corporal, evitando a perda excessiva de calor (radiação e convecção) para o ambiente, assim como também, direcionam seu eixo corporal para otimizar a absorção de calor via radiação de ondas curtas; este padrão de "ectotermia" corrobora para uma diminuição nos custos com a termorregulação (Finch et al., 1984; Keren e Olson, 2006a, 2006b, 2007). Animais absorvem maior quantidade de calor posicionando seu eixo corporal na direção perpendicular ao feixe de radiação (Maloney et al., 2005; Hetem et al., 2011). Num estudo com três espécies de mamíferos africanos (*Tragelaphus oryx*; *Aepyceros melampus*; *Connochaetes taurinus*), Hetem et al. (2011a) utilizaram um sistema artificial (heated models) para estimar a quantidade de energia conservada pelos animais em função das alterações na orientação corporal; tais autores estimaram que os custos metabólicos foram reduzidos quando os animais posicionaram o eixo corporal na direção perpendicular à fonte de radiação, conservando aproximadamente 16% da produção de calor metabólico nos dias frios de inverno.

No frio, a exposição de uma menor área de superfície dos animais inclui comportamentos de amontoamento e contato com superfícies mais quentes, objetivando reduzir a transferência de calor para o ambiente (DeShazer et al., 2009; Collier e Gebremedhin, 2014). A elevada amplitude térmica diária é característica comum dos climas áridos e semiáridos, podendo alcançar 25 °C (Lowe et al., 2001; Fonsêca et al., 2014); a noite, a superfície dos solos aquecidos durante o dia podem ser importante fonte de calor para os animais (Walsberg, 2000).

Ruminantes de pequeno tamanho corporal e com pouco isolamento na superfície terão dificuldade de conservar o calor interno nas horas mais frias, sendo necessário o recrutamento da termogênese facultativa para manter a homeotermia, um processo metabolicamente custoso (Hill et al., 2012). Em vez disso, o contato dos animais uns com outros e com os solos aquecidos devem assegurar a manutenção do equilíbrio térmico de forma mais econômica (Collier e Gebremedhin, 2014). Nas condições naturais de ambiente semiárido, é comum observar caprinos e ovinos se deitarem amontoados no período noturno e, além disso, muitos deles cavam o solo antes de se deitarem, buscando talvez, uma superfície mais aquecida (observação pessoal). Portanto, nessas regiões, para uma avaliação mais precisa da

termorregulação animal, sugere-se a construção de modelos do equilíbrio térmico animal adicionando o componente de transferência de calor por condução.

3.3.2 Comportamento de ingestão de alimentos

Apesar de possuírem capacidade superior de digerir alimentos fibrosos e com presença de compostos fenólicos, caprinos que habitam as regiões secas do planeta são altamente seletivos nas condições de ambiente natural e conseguem obter as partes mais nutritivas das plantas, preferindo leguminosas e espécies com maior teor de umidade, garantindo o atendimento das necessidades de nutriente e água (Warrick e Krausman, 1989; Silanikove, 2000; Cain et al., 2012). Entretanto, o grau de seletividade da dieta de caprinos tem relação direta com a disponibilidade de alimento. Em áreas de Caatinga, com o avançar do período seco, o consumo de serrapilheira de caprinos SPRD aumentou de forma expressiva; além disso, espécies arbóreas que não faziam parte da dieta destes animais no período chuvoso devido a presença de fatores anti-nutricionais, como o marmeleiro (*Croton sonderianus* Mull. Arg. sp.) e a catingueira (*Poincianella pyramidalis*), passaram a ser consumidas no período de estiagem (Formiga, 2014).

3.4 Fisiologia da adaptação de pequenos ruminantes às zonas áridas e semiáridas

A habilidade para reduzir o metabolismo, realocar os estoques de reserva corporal, eficiência digestiva na utilização da fibra, conservar o nitrogênio e usar eficientemente a água são algumas das bases fisiológicas que podem explicar o sucesso da adaptação de pequenos ruminantes aos climas áridos e semiáridos do planeta.

3.4.1 Metabolismo, estoques de reserva energética e eficiência digestiva

Nas zonas áridas e semiáridas, em boa parte do ano, a disponibilidade e qualidade de forragem caem drasticamente, ocasionando restrição energética natural. Nos meses de estiagem, a produção de fitomassa na Caatinga (bioma presente no semiárido do Brasil) é reduzida, com perdas que podem alcançar os 70% (Araújo Filho et al., 2002). Animais da raça Saanen, selecionados em climas não áridos, conseguem manter o peso corporal sob condições de restrição de 20 a 30% de energia; por outro lado, caprinos beduínos (*Capra hircus*) mantiveram o peso corporal sob restrição energética de até 55% do seu consumo voluntário

(Silanikove, 1987). Estes resultados podem ser explicados devido às diferenças na capacidade de reduzir o metabolismo de repouso, chegando a ser 50% menor nos caprinos beduínos em comparação com outras espécies relacionadas, não adaptadas aos climas áridos. A diminuição no tamanho de alguns tecidos viscerais pode explicar essa adequação, não sendo atribuída à atividade metabólica específica do tecido, ou seja, o consumo de O₂ por unidade tecidual permanece o mesmo (Burrin et al., 1990; Eisemann e Nienaber, 1990).

A redução no metabolismo em períodos de restrição energética também favorece a mobilização gradativa das reservas corporais, o que é fundamental em períodos prolongados de escassez alimentar (Louw e Seely, 1982; Chilliard et al., 2000; Hill et al., 2012; Schmidt-Nielsen, 1983). Normalmente, depósitos de reserva corporal são localizados nos tecidos subcutâneos da maioria dos mamíferos. Animais adaptados a climas quentes realocaram esses depósitos para outras partes do corpo com propósito de diminuir a resistência do tecido cutâneo à transferência de calor por condução. Raças de ovinos (*Ovis aries*) como a Dâmara, Somális Brasileira e Rabo Largo possuem depósitos de reserva localizados na cauda (Ribeiro e González-García, 2016), enquanto outros genótipos de caprinos e ovinos criados no semiárido brasileiro possuem deposição significativa de gordura renal (observação pessoal).

Forragens com altos níveis de fibra e compostos secundários tornam o aproveitamento de energia pelos animais algo desafiador. Em um contexto mais próximo de ambiente natural, estudos comprovaram a superioridade de animais adaptados em relação aos não adaptados (Burrin et al., 1990; Brosh et al., 1986, 1988; Silanikove e Brosh, 1998; Devendra, 1990), atribuída, principalmente, à eficiência na digestibilidade da fibra e reciclagem do nitrogênio. A lignificação na parede celular das plantas é a principal causa da limitação na digestibilidade dos carboidratos estruturais (Kozloski, 2009); no entanto, a lignina pode sofrer algumas modificações, sendo degradada e absorvida no trato gastrointestinal de algumas espécies de regiões áridas, colaborando para aumentar a eficiência na utilização da energia pelo animal. A digestibilidade de forragens com teores elevados de carboidratos estruturais e o consumo voluntário de caprinos beduínos foi maior quando comparados com animais da raça Saanen (Silanikove et al., 1996).

O melhor aproveitamento dos alimentos de baixa qualidade nutricional também se relaciona com a habilidade na neutralização dos efeitos negativos (palatabilidade e digestibilidade) dos compostos secundários, maior tempo de retenção do alimento no trato digestivo, manutenção do pH ruminal e eficiência nos processos de reciclagem do nitrogênio. Conforme investigações de Silanikove et al. (1993), o tempo de retenção do alimento no rúmen de caprinos beduínos foi maior (41 h vs 32 h) em relação aos animais da raça Saanen.

Quanto à utilização do nitrogênio, Silanikove et al. (1980) verificaram que caprinos beduínos alimentados com dietas contendo baixos níveis de proteína (3%) conseguem aproveitar 87% do nitrogênio por meio de mecanismos eficientes de reciclagem da uréia para o rúmen, bem acima dos 40% aproveitados por cabras Saanen. A essa habilidade, operam mecanismo de aumento na retenção renal da uréia, os quais se resumem na diminuição da filtração glomerular e elevadas taxas de reabsorção tubular da uréia (Silanikove, 1984).

3.4.2 Uso de água

Enquanto alguns animais não conseguem sobreviver com perdas de água que alcancem 15% de sua massa corporal, ungulados de regiões áridas suportam perdas que podem chegar aos 40% (Schmidt-Nielsen, 1983). As quatro rotas primárias de eliminação de água nos mamíferos são: evaporação cutânea e respiratória, fezes, urina e a lactação como rota adicional no caso de fêmeas (Jaber et al., 2013). Animais adaptados a climas secos possuem adaptações fisiológicas que reduzem as perdas de água por cada uma dessas rotas (Schmidt-Nielsen, 1983; Cain et al., 2006; Kaliber et al., 2015).

A composição total de água corporal divide-se em dois grandes compartimentos, sendo o líquido intracelular e o líquido extracelular; este último, distribui-se no fluido ruminal, plasma sanguíneo e líquido intersticial (Swenson e Reece, 1996; Hill et al., 2012). A relativa distribuição de água e a contribuição na perda total de fluidos durante a desidratação variam para cada compartimento, dependendo da espécie e estado de hidratação (Jaber et al., 2013). Camelos, caprinos e ovinos de zonas áridas submetidos a estados severos de desidratação perdem menos água do plasma sanguíneo em comparação com outros compartimentos, além de serem capazes de mover água de outros compartimentos com objetivo de manter o volume do plasma sanguíneo constante, prevenindo, assim, falhas do sistema circulatório (Kay e Maloiy, 1989; Jaber et al., 2004; Hamadeh et al., 2006; Ghanem et al., 2008). Silanikove (1994) constatou que a contribuição do fluido ruminal na perda de peso durante um período severo de desidratação chega a ser 68% em caprinos beduínos, enquanto que, com ovinos Merino (*Ovis aries*), essa contribuição foi de aproximadamente 52%.

O rúmen pode ser considerado um excelente reservatório de água, ajudando a manter o balanço hídrico no animal em condições de estresse hídrico. Esse compartimento estoca grandes quantidades de água, representando, em média, 20% do peso corporal em ungulados desérticos. Durante os primeiros dias de desidratação, o fluido ruminal é utilizado para manter a homeostase hídrica na circulação e outros tecidos corporais. A absorção de água do rúmen

para a corrente sanguínea é dependente da absorção ativa de Na^+ , sendo esta estreitamente relacionada com a presença dos ácidos graxos voláteis (AGVs) no ambiente ruminal (Holtenius, 1991). Com base nisso, pode-se inferir que a redução na absorção de Na^+ e água através do rúmen nos estágios avançados de desidratação é consequência da diminuição de substrato (alimento) e produção de AGVs. Uma resposta comum dos animais à restrição hídrica é a diminuição no consumo de matéria seca e energia, ocasionando mudanças no padrão fermentativo do rúmen (diminuição na produção de AGVs e síntese protéica) e perda de peso (NRC, 2007). Mesmo assim, foi comprovado que caprinos beduínos são capazes de continuar ingerindo quantidades significativas de alimento (30% do consumo *ad libitum*) em estados severos de desidratação, garantindo maior eficiência nos mecanismos de transferência de água para circulação sanguínea (Brosh et al., 1986).

Após um período de desidratação, o rúmen tem papel importante na prevenção da hemólise e aumento exagerado da pressão osmótica durante a rápida reidratação. Espécies de regiões desérticas (camelos e caprinos) conseguem ingerir grandes quantidades de água (equivalente a 20 a 40 % do peso corporal) de uma vez só (Laden et al., 1987; Silanikove, 2000). Neste momento, o animal se depara com duas situações opostas de importância vital: prevenção do aumento exagerado na pressão osmótica e, ao mesmo tempo, necessidade de reter o máximo de água ingerida para enfrentar futuros períodos de privação. Para isso, papilas ruminais e sinais hepato-portais identificando a presença de grandes quantidades de água no rúmen e absorção de água vindo deste compartimento para a circulação portal, ativa uma série de respostas homeostáticas, as quais incluem: Secreção de saliva hipotônica e reciprocamente, redução no fluxo urinário; a secreção de saliva garante a reciclagem de boa parte da água que foi transferida de volta para o rúmen, evitando também hemólise exagerada das células sanguíneas (Hill et al., 2012).

A taxa de renovação de água corporal (*water turnover*) relaciona-se positivamente com o aumento da temperatura do ar (Luke, 1987; Araújo et al., 2010). Entretanto, alguns animais, quando desidratados, diminuem a taxa de renovação hídrica, mesmo com o aumento da temperatura do ar. Nessas condições, podem demonstrar, por ora, uma condição de "heterotermia" (McLean et al., 1983, 1984; Lee e Sasaki, 1994). Camelos, por exemplo, estocam quantidades significativas de calor, aumentando sua temperatura corporal em até 7 °C (Schmidt-Nielsen et al., 1957). Como resultado, economizam água, e durante a noite, condições favoráveis do ambiente térmico permitem a eliminação desse calor por meio de mecanismos sensíveis.

A redução no conteúdo de água nas fezes e aumento na osmolalidade da urina são mecanismos que colaboram para conservação de água em ungulados (Maloiy et al., 1979; Sargeant et al., 1994). O conteúdo de umidade nas fezes de espécies de zonas áridas varia de 40 a 50% (*Capra hircus*; *Ovis aries*; *Oryx gazella*), sendo menor que os 70 a 80% de outras espécies, como bovinos de origem européia. A capacidade na redução de água no conteúdo fecal deve-se a uma anatomia diferenciada do colón, sendo este mais longo e com maior área de superfície (Cain et al., 2006). De semelhante modo, a produção de urina hipertônica em relação ao sangue tem ligação direta com o comprimento da alça de Henle nos rins; de acordo com Louw e Seely (1982), mamíferos adaptados a ambientes áridos possuem alça de Henle mais longa que outras espécies de regiões não desérticas.

4. Termorregulação

4.1 Caracterizando o ambiente térmico radiante

A temperatura radiante média é quase sempre maior que a temperatura do ar nas faixas tropicais do planeta (Silva, 1999; Maia et al., 2005b; Silva et al., 2012). Várias fontes de radiação ao redor do animal podem ser mencionadas: o sol, céu, chão, abrigos (paredes e coberturas). De fato, qualquer objeto ou superfície que apresente temperatura acima do zero absoluto (0 K ou - 273,15 °C). A energia térmica radiante na superfície terrestre é proveniente do sol, o qual emite radiação em todos os comprimentos de ondas. De acordo com Silva (2008), a radiosidade aparente dessa superfície, ou seja, a radiação que atinge a Terra fora das camadas atmosféricas, é dada por:

$$S_o = \sigma T_s^4 r_s^2 r_T^{-2} \text{ W m}^{-2} \quad [1]$$

em que S_o é a irradiância solar, T_s é a temperatura aparente do sol (≈ 5755 K), r_s é o raio aproximado da esfera solar ($\approx 0,7 \times 10^6$ km), r_T o raio médio da órbita terrestre ($\approx 149 \times 10^6$ km) e σ a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$). Conforme essa função, a irradiância (Φ) no topo da atmosfera é de aproximadamente $1372,9 \text{ W m}^{-2}$, compreendendo uma faixa espectral de ondas curtas (ultravioletas, visível e infravermelho) e longas (infravermelho).

Quando a radiação chega no topo da ionosfera, algumas interações com as demais camadas atmosféricas (reação fotoquímica com o O_2 e formação do ozônio, além da radiação

refletida pelas nuvens de volta para o espaço), fazem com que, mesmo em um dia de atmosfera limpa, os níveis de radiação que atingem a superfície do solo raramente ultrapassem os 1120 W m^{-2} (Silva, 2000). Conforme informações encontradas no estudo de Silva et al. (2003), por meio de um radiômetro, foram quantificados níveis de radiação ultravioleta em três localidades do Brasil: 1,8 e $12,51 \text{ W m}^{-2}$ em Fortaleza, CE (5° lat), 1,34 e $14,95 \text{ W m}^{-2}$ em Ribeirão Preto, SP (21° lat), 1,23 e $15,1 \text{ W m}^{-2}$ em Jaboticabal; como pode ser observado, a radiação de ondas curtas do espectro ultravioleta (UV) que efetivamente chega à superfície representa um baixo percentual em relação aos outros comprimentos (Tabela 1). Entretanto, a atividade biológica da UV é de importância muito maior.

Tabela 1: Distribuição aproximada do espectro eletromagnético solar no nível do mar

Tipo de onda	Faixa compreendida (μm)	%, irradiância
Ultravioleta	0,200 - 0,400	6,3
Visível	0,400 - 0,780	52,1
Infravermelho	0,780 - 3,000	41,6

Adaptado de Silva (2008).

A relativa complexidade para quantificar o ambiente térmico radiante deve ser reduzida pelo uso de uma superfície padrão, representada pelo termômetro de globo negro (Silva e Maia, 2013), o qual traz uma medida que engloba os efeitos combinados da radiação térmica que é absorvida em todas as direções, juntamente com os da temperatura do ar e velocidade do vento. De posse desta medida, é possível encontrar uma média para temperatura de todas as superfícies que estão em torno do animal, sendo essa conhecida por temperatura radiante média (T_{RM}), utilizada para estimar o total de energia térmica que um corpo troca por radiação com seu ambiente, a carga térmica de radiação (C_{TR}).

É possível estimar a T_{RM} pela equação:

$$T_{RM} = \left[\frac{h_C(T_G - T_A) + \varepsilon_G \sigma T_G^4}{\varepsilon_G \sigma} \right]^{1/4} \quad \text{K} \quad [2]$$

em que $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo; T_G (K) é a temperatura do globo negro; σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$); h_C o coeficiente de convecção do globo ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$), dado por $h_C = k d_G^{-1} N_u$; sendo d_G (0,15 m) o diâmetro do globo, k a condutividade térmica do ar e N_u o número adimensional de Nusselt. No caso de esferas, o

número de N_u para convecção forçada é dada pela relação: $N_u = 0,58 Re^{0,6} Pr^{0,37}$; para a convecção natural $N_u = 2 + 0,43Gr^{0,25}Pr^{0,25}$; os números de Reynolds (Re), Prandtl (Pr) e Grashof (Gr) são dados por:

$$Re = U_G d_G \nu^{-1} \quad [3]$$

$$Pr = \rho c_p \nu k^{-1} \quad [4]$$

$$Gr = g d^3 (T_G - T_a) (\nu^2 T_a)^{-1} \quad [5]$$

onde U_G (ms^{-1}) é a velocidade do vento próxima ao globo negro. A relação Gr/Re^2 deve ser utilizada para especificar se a convecção é natural ($Gr/Re^2 > 3$), forçada ($Gr/Re^2 \leq 0,08$) ou mista ($0,08 < Gr/Re^2 \leq 3$). As propriedades físicas da atmosfera, quais sejam, densidade (ρ), condutividade térmica (k), viscosidade cinemática (ν), aceleração gravitacional (g) e calor específico do ar (c_p) podem ser obtidas em Silva (2000, 2008). Para a carga térmica de radiação (C_{TR}), a equação com base na T_{RM} proposta por Silva e Maia (2013) pode ser utilizada:

$$C_{TR} = \sigma T_{RM}^4 \quad \text{W m}^{-2} \quad [6]$$

Com base na alta correlação encontrada por Silva et al. (2010) entre a radiação de ondas longas (R_{LC} e R_{LS}) e a C_{TR} , foi proposta uma equação para estimar a T_{RM} na ausência da temperatura de globo negro:

$$T_{RM} = (R_{LC} + R_{LS} / 0,944\sigma)^{1/4} \quad \text{W m}^{-2} \quad [7]$$

A energia térmica emitida pelo sol que chega à superfície da Terra é em grande parte absorvida pelo solo, gases, aerossóis e objetos, sendo esta reemitida na forma de ondas de longas. A radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera pode ser quantificada pela função:

$$R_{LC} = \epsilon_c \sigma T_c^4 \quad \text{W m}^{-2} \quad [8]$$

em que T_c é a temperatura aparente do céu (K), estimado a partir da função $T_c = T_a - 20 + 10n$ (n é a proporção de nuvens no céu; Monteith e Unsworth, 1990); ε_c é a emissividade da atmosfera, a qual pode ser estimada para uma condição de atmosfera límpida pela equação $\varepsilon_c = 1,72 (P_v/T_a)^{1/7}$ e para uma atmosfera não límpida $\varepsilon_c = 1,72 [0,84n + (1 - 0,84n)] (P_v/T_a)^{1/7}$ (Brutsaert, 1975); P_v é a pressão parcial de vapor da atmosfera. Smith et al. (1985) sugeriram uma equação descrita por Swinbank (1963) para estimar a quantidade de radiação de ondas longas emitidas pelo céu, na qual $R_{LC} (W m^{-2}) = -170 + 1,195 \sigma T_c$.

A radiação de ondas longas emitida pela superfície do solo (R_{LS}) pode ser calculada como:

$$R_{LS} = \varepsilon_s \sigma T_s^4 \rho_s \quad W m^{-2} \quad [9]$$

onde ε_s e T_s são a emissividade e a temperatura (K) da superfície do solo, respectivamente; T_s pode ser medida utilizando um termômetro de infravermelho. Valores de ε_s e ρ_s para os diferentes tipos de superfícies podem ser encontrados em Silva (2008).

De acordo com os resultados de Silva et al. (2010), em regiões de baixa latitude, a irradiância de ondas longas ($R_{LC} + R_{LS}$) foi em média $700 W m^{-2}$, sendo a maior parte desta radiação emitida pela superfície do solo. Segundo esses autores, a irradiância de ondas curtas apresentou baixa correlação com a C_{TR} , sugerindo não ser uma boa estimativa da energia térmica de ondas curtas no ambiente.

A radiação de ondas curtas pode ser quantificada indiretamente com base nos valores da irradiância solar (S_o). Portanto, a radiação chega no topo da atmosfera e ao atravessar as demais camadas, atinge a superfície do solo num determinado ângulo de elevação da fonte ($\beta = 90 - \theta$) dependendo da localização geográfica, dia do ano e horário. Assumindo-se uma atmosfera totalmente limpa de aerossóis como $S_p = 1327,7 \cos \theta$, sendo θ o ângulo zenital do sol, teremos:

$$\cos \theta = (\cos L)(\cos \Theta)(\cos H) + (\sin L)(\sin \delta) \quad [10]$$

onde L é a latitude local (graus), valor negativo para o hemisfério sul; δ é a declinação do sol $= 23,45 \sin [(360/365)(284 - d)]$, sendo d o número ordinal do dia do ano (1 a 365); H é o ângulo horário do sol ($H = 15(h - 12)$ e h é a hora de dia (0 a 24, em valor decimal).

Com base no coeficiente de atenuação da radiação que atravessa as camadas da atmosfera (lei de Beer), obtém-se a irradiância pela equação: $S = S_p e^{-mt}$, sendo m a massa

atmosférica atravessada pela radiação e t , o coeficiente de turbidez. Silva (1999) sugere para condições usuais a campo a estimativa de $t = 0,1$. Conforme Silva et al. (2010), a irradiância solar direta e difusa com base nos valores de transmitância (τ) da atmosfera pode ser calculada como:

$$S_{dir} = S_o \cos(\theta) \tau^m \quad \text{W m}^{-2} \quad [11]$$

$$S_{dif} = 411,87 (1 - \tau^m) \cos(\theta) \quad \text{W m}^{-2} \quad [12]$$

onde τ é o coeficiente de transmitância da atmosfera, m é o número de massa do ar e ρ_s a refletância do solo. Nesse estudo, foram definidos os coeficientes de transmitância da atmosfera em algumas localidades de baixa latitude, obtendo faixa de variação entre 0,32 e 0,91 em 7 meses do ano nos horários de 10 e 13 horas. Ademais, análises de regressão demonstraram que a pressão de vapor do ar foi o principal efeito sobre as variações na transmitância atmosférica, relacionando elevada atenuação da radiação com dias mais nublados. Outras definições na literatura apresentaram valores próximos, variando de 0,6 a 0,7 para dias de céu limpo (Gates, 1980; Silva et al., 2010). Estimativas para os valores da transmitância atmosférica podem ser obtidos conforme a equação (Silva et al., 2015):

$$\tau = \left(\frac{S_p - 0.3 S^* \cos(\theta)}{0.7 S^* \cos(\theta)} \right)^{1/m} \quad [13]$$

em que m representa o número de massa atmosférica; medidas da radiação de ondas curtas (S_p) são feitas diretamente com um piranômetro. O valor de S_p representa a irradiância de ondas curtas direta (S_{dir}) e difusa (S_{dif}). A partir desse valor, estima-se a radiação refletida (S_{ref}) com base na equação $S_{ref} = \rho_s (S_{dir} + S_{dif})$, sendo os valores de refletância (ρ_s) do solo variáveis em função de suas características físicas. Silva et al. (2010) quantificaram S_p utilizando um piranômetro portátil com faixa espectral de 0,200 a 3,000 μm , encontrando níveis de 450 a 1155 W m^{-2} numa região de baixa latitude.

A precisão na caracterização do ambiente térmico radiante é fundamental para a garantia de resultados seguros a respeito do balanço de energia térmica no animal,

principalmente nas condições de campo. Neste sentido, Silva et al. (2010) propuseram algumas alterações para as medidas da carga térmica de radiação e temperatura radiante média em ambientes tropicais, levando em consideração a quantidade de radiação difusa que atinge os animais, mesmo em abrigos ou sombras naturais. Um animal na sombra pode receber aproximadamente 28% de carga térmica radiante do céu, até 20% do material da estrutura e 50% da superfície do solo (Kelly et al., 1950; Smith et al., 1985; fig. 2). Portanto, uma medida da carga de calor radiante efetiva (C_{TRE} ; Silva et al., 2010) poderá ser calculada no lugar da C_{TR} :

$$C_{TRE} = 0,5S_{dif} + C_{TR} \quad W m^{-2} \quad [14]$$

De semelhante modo, a temperatura radiante média pode ser substituída pela medida da temperatura radiante média efetiva (T_{rm}^* ; Silva et al., 2010) obtida como sendo:

$$T_{rm}^* = \left(\frac{C_{TRE}}{\sigma} \right)^{1/4} \quad K \quad [15]$$

4.2 Quantificando os componentes do balanço de calor animal

Os seres vivos são sistemas termodinâmicos que necessitam de energia para manter sua organização e estão em constante interação com o meio ambiente (Diener, 1997; Fig. 2). Em um sistema biológico, a quantidade de energia que subtraída a quantidade que sai, mais a energia que é gerada pelo metabolismo, deve ser igual à variação da energia acumulada no tempo.

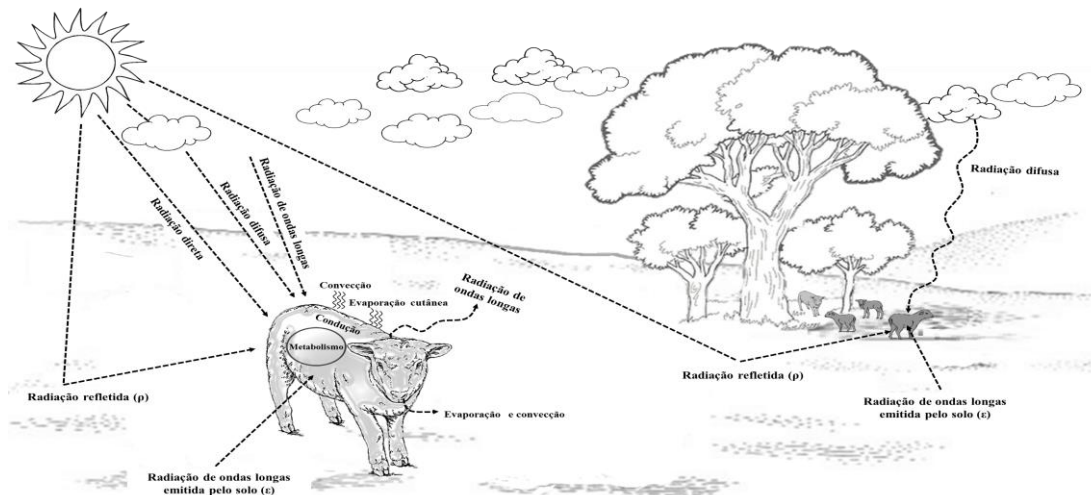


Figura 2: Balanço de calor de ovinos a campo.

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

em que $({}_a)R_C$ é a irradiância de ondas curtas, sendo a quantidade absorvida na superfície de um 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; $({}_a)R_L$ é a quantidade de energia térmica trocada entre animal e ambiente trocada via radiação de ondas longas; C_S é a taxa de calor trocada via convecção na superfície do animal; C_R é a taxa de calor eliminado via convecção respiratória; E_S representa a transferência de calor via evaporação cutânea; E_R é a eliminação de calor por meio da evaporação pelo trato respiratório; por fim, $\Delta q''$ é a variação da energia térmica interna no tempo.

Nos horários de maior carga térmica radiante, a transferência de calor por condução (K) em ambiente tropical pode ser considerada desprezível em função do contato físico direto entre as superfícies do corpo e do ambiente ser bastante limitado (Silva, 2000; Berman, 2006; Thompson et al., 2013); no entanto, nestas regiões, as superfícies aquecidas durante o dia podem ser um meio importante de conservação do calor corporal dos animais no período noturno, especialmente os de pequeno porte.

4.2.1 Radiação de ondas curtas absorvida na superfície do animal

A quantidade de radiação de ondas curtas que um animal pode absorver é dependente de um fator de conformação, sendo este a relação entre a área de sombra do objeto (nesse caso, o animal) que é projetada sobre uma superfície horizontal (A_s) e a área aparente (A_p) do mesmo que é projetada na direção do fluxo de radiação. Para um ruminante, o modelo geométrico de um cilindro horizontal é o que melhor representa (Monteith e Unsworth, 1990; Campbell e Norman, 1998); na determinação do fator de conformação (F_C) é necessário calcular o ângulo de elevação do sol ($\beta = 90 - \theta$), sendo este, função do ângulo zenital ($\cos \theta$). Ademais, é preciso estimar o ângulo do eixo desse cilindro com respeito ao feixe de radiação, denominado azimutal (ϖ). Contudo, em regiões de baixa latitude, o sol encontra-se muito acima do horizonte e as variações no ângulo azimutal não são significativas, exceto nas primeiras e últimas horas do dia. Por exemplo, Silva et al. (2010) atribuíram o valor médio de 23° para o ângulo azimutal (ϖ) de vacas num estudo conduzido em zona de baixa latitude. Considerando o modelo animal como um cilindro horizontal, a equação para estimar o F_C pode ser descrita como:

$$F_c = \frac{2hr[1 - (\cos^2 \beta)(\cos^2 \omega)]^{0.5} + \pi r^2}{2\pi r(h+2r) \sin \beta} \quad [16]$$

em que h e r são o comprimento e o raio do cilindro, respectivamente.

Silva et al. (2010) foram os primeiros a quantificarem a energia térmica radiante recebida por um bovino em condições de campo. De acordo com estes autores, numa pastagem, uma vaca pode absorver $297,9 \text{ W m}^{-2}$ de energia radiante de ondas curtas ($\lambda = 0,200 - 3,000 \text{ }\mu\text{m}$), aproximadamente 46,6% do total da energia térmica radiante absorvida; desse percentual, 6 % foi representado pela radiação direta e o restante, pela difusa e refletida pelo solo. Os outros 53,4% (342 W m^{-2}) representaram a radiação de ondas longas absorvidas, a qual, em grande parte, foi emitida pela superfície do solo. No semiárido brasileiro, quando a radiação solar atinge níveis maiores que 1000 W m^{-2} , caprinos SPRD chegam a absorver 420 W m^{-2} de energia térmica (Maia et al., 2015). Como foi discutido anteriormente, a quantidade de radiação de ondas longas emitidas pelo céu e superfície do solo pode ser calculada conforme as equações [8] e [9]. Portanto, a combinação dos componentes de radiação de ondas curtas e radiação de ondas longas podem ser agrupadas para calcular a quantidade total de energia térmica radiante absorvida pela superfície corporal de um animal a campo.

$$R_{abs} = F_C (1 - \rho_1)S_{dir} + 0,5 [(1 - \rho_1)S_{dif} + (1 - \rho_2)S_{ref} + 0,98 (R_{LC} + R_{LS})] \text{ W m}^{-2} \quad [17]$$

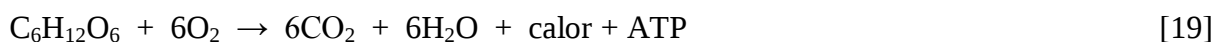
em que ρ_1 e ρ_2 são os valores de refletância do pelame e superfície do solo, respectivamente. Com base nisso, sugeriu-se (Silva et al., 2010) a inclusão do componente (R_{abs}) nos modelos do equilíbrio térmico, descrevendo-o da seguinte forma:

$$M + R_{abs} + H_{est} = R_{em} + C + K + E \quad [18]$$

onde M é a produção de calor metabólico; R_{abs} é a quantidade total de energia térmica radiante absorvida; H_{est} é a estocagem de calor; R_{em} é emissão de ondas longas pela superfície do animal; C é a convecção superficial e respiratória; K é a perda de calor por condução; e por fim, E é a transferência de calor pelos meios evaporativos (cutânea e respiratória).

4.2.2 Produção de calor metabólico

A energia química potencial contida nas ligações C - H dos carboidratos, lipídeos e proteínas é liberada por oxidação desses substratos no interior das células, numa série de passos bioquímicos que acontecem no citosol (anaeróbico) e mitocôndria (aeróbico). Durante o processo, o consumo de O₂ produz água, gás carbônico, energia química armazenada nas ligações fosfato (P) do trifosfato de adenosina (ATP) e calor, conforme a reação:



Aproximadamente 65% da energia liberada na oxidação do substrato é transformada em energia química armazenada na forma de ATP e 35% liberada como calor. Posteriormente, quando uma célula usa a energia química de ligação do ATP para se contrair, geralmente, 25 a 30% da energia liberada aparecem como energia de movimento muscular e o restante é perdido na forma de calor. Portanto, o calor é um produto inevitável quando se utiliza energia de ligação química para manter a "organização" dos organismos vivos; sabendo-se da existência de uma relação de proporção fixa da quantidade de calor liberado com a de O₂ consumido e CO₂ produzido (coeficientes calóricos), variando em função do tipo de substrato utilizado, é possível quantificar o metabolismo aeróbico indiretamente (Ferrannini, 1988; Lachica et al., 1995; Diener, 1997; Arch et al., 2006; Silva e Maia, 2013). Para ruminantes, é feita a inclusão do coeficiente calórico advindo dos processos de síntese e emissão do metano (CH₄) no rúmen.

A calorimetria indireta (C_I) tem sido frequentemente empregada nas pesquisas com exigências nutricionais e termorregulação de animais, sendo os estudos conduzidos em câmaras respirométricas ou com uso de máscaras faciais (Brockway e McEwan, 1969; Bennett, 1973; Brosh et al., 2007). Rodríguez et al. (2007) descreveram a montagem e funcionamento de uma câmara respirométrica operada em circuito aberto, na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais para estudos com animais de pequeno porte (pequenos ruminantes, suínos e cães). Conforme esses autores, um dos benefícios desta unidade respirométrica é a avaliação dos animais em períodos contínuos de 24 h. No entanto, a complexidade das variações do ambiente térmico a campo, dificilmente poderá ser representada.

Com intuito de avaliar a termorregulação de animais, pesquisadores do Laboratório de Biometeorologia Animal da Unesp - Jaboticabal - SP desenvolveram um sistema de C_I em circuito aberto com uso de máscaras faciais (Maia et al., 2014; Maia et al., 2015; Maia et al., 2016; Camerrio et al., 2016; Fonsêca et al., 2016, no prelo; Fig. 3). Por ser um sistema portátil,

um dos pontos positivos dessa metodologia em relação às realizadas em câmaras respirométricas, é a possibilidade de avaliar o animal numa realidade mais próxima de ambiente natural, levando em consideração mudanças contínuas na temperatura, umidade, vento e radiação; ademais, o conjunto de equipamentos pode ser facilmente transportado, tendo um peso aproximado de 25 kg.

Basicamente, o sistema consiste em equipamentos para medidas do ambiente térmico, funções respiratórias (Ventilação, frequência respiratória, volume respiratório corrente, pressão de vapor e temperatura do ar expirado) e gasosas (Volume de oxigênio consumido, volume de gás carbônico e metano), conectados à máscara facial e a um sistema de aquisição de dados para registros a cada segundo. A construção da máscara foi feita com base no modelo desenvolvido por McLean (1963), sendo desenhada para que o volume do espaço ventilado morto seja próximo de zero ($V_M \rightarrow 0$), não interferindo na concentração verdadeira dos gases expirados (Maia et al., 2014). Conforme estes autores, um formato cilíndrico e triangular foi o mais adequado ($V_M \rightarrow 0$) para as máscaras de ovinos e caprinos, respectivamente.

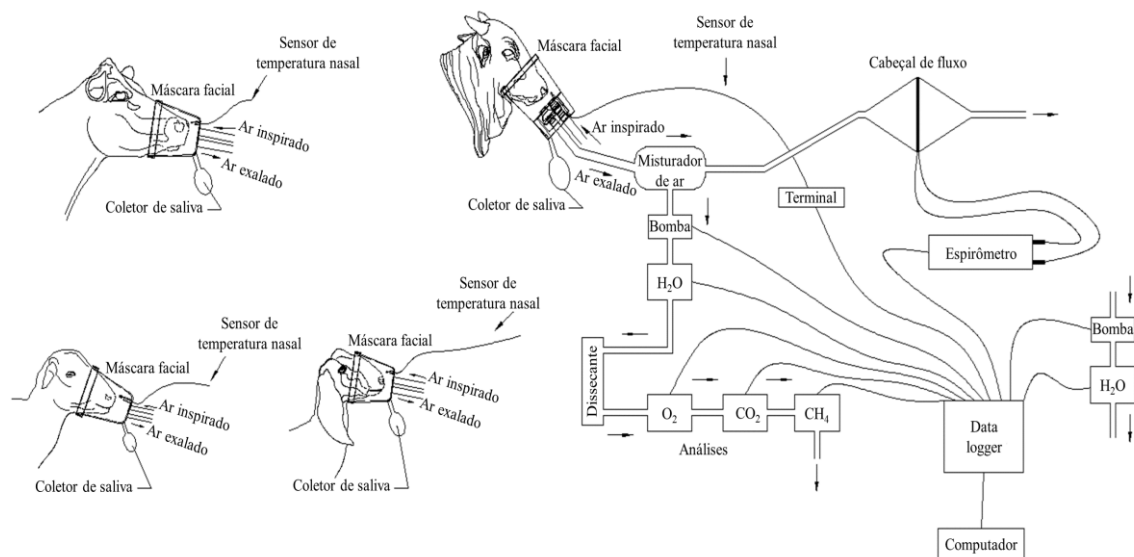


Figura 3: Sistema de calorimetria indireta desenvolvido no Laboratório de Biometeorologia da Unesp - SP, Brasil.

De posse das medidas respiratórias, é possível calcular a produção de calor metabólico (McLean, 1972; Silva e Maia, 2013); tais medidas devem ser expressas nas condições normais de temperatura e pressão (C_{NTP}), sendo necessário ajustá-las por meio das correções de Haldane (McLean, 1972; Wilmore e Costill, 1973):

$$VO_2 = V_E \left[O_{2A} \left(\frac{1 - O_{2E} - CO_{2E} - CH_{4E}}{1 - O_{2A} - CO_{2A} - CH_{4A}} \right) - O_{2E} \right] \quad L \, s^{-1} \quad [21]$$

$$VCO_2 = V_E \left[CO_{2E} - CO_{2A} \left(\frac{1 - O_{2A} - CO_{2A} - CH_{4A}}{1 - O_{2E} - CO_{2E} - CH_{4E}} \right) \right] \quad L \, s^{-1} \quad [22]$$

$$VCH_4 = V_E \left[CH_{4E} - CH_{4A} \left(\frac{1 - O_{2A} - CO_{2A} - CH_{4A}}{1 - O_{2E} - CO_{2E} - CH_{4E}} \right) \right] \quad L \, s^{-1} \quad [23]$$

$$q''_{met} = \frac{16180VO_2 + 5160VCO_2 - 2420VCH_4}{A} \quad W \, m^{-2} \quad [24]$$

em que, O_{2A} e O_{2E} , CO_{2A} e CO_{2E} , CH_{4A} e CH_{4E} são as concentrações (%) dos gases na atmosfera e ar expirado; 16,180-5160 e 2,420 são coeficientes calóricos para O_2 , CO_2 e CH_4 ; A representa a área de superfície corporal (m^2), calculada como função do peso do animal (P). Para pequenos ruminantes, recomenda-se o uso da equação de Bennett (1973) $\rightarrow (A = 0,171P^{0,5025})$. Nagib et al. (2016; em preparação) apresentaram algumas medidas respiratórias de caprinos e ovinos criados em ambiente tropical obtidas com o sistema de calorimetria indireta desenvolvido no Laboratório de Bioclimatologia da UNESP (Tabela 3).

Tabela 3: Medidas respiratórias (média $\pm$ EPM) de ovinos da raça Morada Nova e caprinos Anglo Nubiano.

Medidas	Ovinos Morada Nova	Caprinos Anglo Nubiano
P_V , kg	$33,4 \pm 0,9$	$61,67 \pm 3,43$
V_E , $L \, min^{-1}$	$0,12 \pm 0,08$	$9,564 \pm 3,38$
$F_{R, resp}$, min^{-1}	$20 \pm 0,04$	22 ± 8
$V_{RC, L resp}$, min^{-1}	$0,36 \pm 0,005$	$0,552 \pm 0,09$
VO_2 , $L \, min^{-1}$	$5,94 \pm 0,02$	$14,27 \pm 3,46$
VCO_2 , $L \, min^{-1}$	$5,73 \pm 0,04$	$16,45 \pm 3,94$
q''_{met} , $W \, m^{-2}$	$35,73 \pm 0,21$	$84,53 \pm 0,36$

$q''_{\text{met}}, \text{W kg}^{-1}$	$1,07 \pm 0,002$	$1,37 \pm 0,006$
Adaptado de Nagib et al. (2016); P: peso vivo; V_E : taxa de ventilação; V_{RC} : volume respiratório corrente; VO_2 : volume de oxigênio consumido; VCO_2 : volume de gás carbônico produzido; q''_{met} : produção de calor metabólico.		

Quando não se requer tanta precisão, o emprego da relação do metabolismo de repouso e tamanho corporal pode ser aplicado (Kleiber, 1961). A taxa metabólica de repouso só pode ser medida nas quando o animal estiver na faixa de ambiente termoneutro e em jejum (Hill et al., 2012). Nos estudos em ambientes não controlados, a influência dos fatores temperatura do ar, radiação e horário do dia tornam a metodologia pouco prática e imprecisa. Assim, esforços têm sido feitos para desenvolver métodos que possam estimar a produção de calor metabólico de animais em condições de ambiente natural, sem que haja a necessidade de contenção (Brosh et al., 1998; Brosh, 2007).

Comumente, estudos em câmaras climáticas ou qualquer outro processo que altere o ambiente ao qual os animais estejam habituados, induzem a resposta autônoma simpática de medo. Neste estado, modificações no metabolismo tecidual e intermediário (Mormède et al., 2007 → ativação imediata do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, funções cardiorrespiratórias, imunológicas, utilização de substratos) podem trazer resultados duvidosos acerca dos efeitos reais da fonte de variação testada; para estudos desta natureza, é importante que um treinamento prévio criterioso seja feito com os animais.

A calibração da frequência cardíaca (FC) com a produção de calor aparece como uma boa possibilidade para estimativas do metabolismo animal (Lachica e Aguilera, 2008); mesmo assim, existe a necessidade de um sistema calorimétrico para equivalência das medidas. Em resumo, para cada medida da FC e registro de O_2 consumido, é feita a relação do VO_2 por batimento cardíaco. Posteriormente, em condições de campo, por meio de um sistema de rádio transmissão, medidas contínuas da FC podem ser feitas e indiretamente estimada a produção de calor metabólico. Tentativas preliminares foram feitas por Brockway e McEvan (1969), os quais não encontraram uma boa estimativa da produção de calor como função da FC em ovinos Cheviot (*Ovis aries*); estes autores atribuíram a reatividade dos animais no momento da calibração das medidas como a principal causa. Entretanto, pesquisas recentes com caprinos, ovinos e bovinos têm apresentado bons resultados, demonstrando ser uma boa saída para os ensaios experimentais da energética animal a campo (Arieli et al., 2002; Aharoni et al., 2003; Brosh et al., 1998; Brosh et al., 2007; Lachica e Aguilera, 2005a; Lachica e Aguilera, 2005b; Lachica e Aguilera, 2008).

4.2.3 Estocagem térmica

A estocagem térmica (S) pode ser calculada por meio da diferença entre a quantidade de calor dissipado e a termogênese num dado intervalo de tempo (Silva, 2000). A equação utilizada para estimar a quantidade de calor estocado em um sistema biológico baseia-se na relação da quantidade de energia térmica necessária para aumentar em 1 °C a temperatura desse sistema

$$S = c_{pt} m (\Delta T) \quad \text{W} \quad [26]$$

em que c_{pt} é o calor específico médio dos tecidos ($3340 \text{ J.Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); ΔT , o diferencial de temperatura média corporal (T_C) em um dado intervalo de tempo; m é a massa corporal (kg). Devido a facilidade de obtenção, a temperatura retal (T_R) é comumente utilizada como medida da temperatura média corporal profunda (T_{CP}); Lee e Sasaki (1994) também utilizaram a temperatura do sangue arterial (carótida) como medida segura da T_{CP} . McLean et al. (1983,1984) propuseram a inclusão da temperatura da epiderme (T_{EP}) no cálculo da temperatura média corporal (T_C), estabelecendo um média ponderada da T_{CP} e T_{EP} :

$$T_C = 0,86 T_{CP} + 0,14 T_{EP}, \quad ^\circ\text{C} \quad [27]$$

assim, a quantidade de calor estocado pode ser quantificada como:

$$S = \frac{[0,86\Delta T_R + 0,14\Delta T_{EP}]c_{pt}P_V}{tA} \quad \text{W m}^{-2} \quad [28]$$

em que ΔT_R e ΔT_{EP} representam o diferencial para temperatura retal e da epiderme, respectivamente, num intervalo de tempo ($t \rightarrow s$); A é área de superfície corporal.

A obtenção da temperatura retal de animais a campo é dificultada pela ausência de métodos que evitem a contenção do animal. Alternativamente, pode ser feita a medição da temperatura vaginal por meio de dispositivos com data logger utilizando os CIDR (*Controlled Internal Drug Release* → Brown-Brandl et al., 2003; Burdick et al., 2012; Lee et al., 2014). Silva et al. (2015) propuseram a utilização de um dispositivo para medição da temperatura vaginal de ovinos Morada Nova a campo (Figura 4). Esses autores encontraram alta

correlação ($r = 0,95$) da temperatura retal com a vaginal, sugerindo ser uma boa alternativa para estudos de equilíbrio térmico de animais a campo.



Figura 4: Protocolo para medida da temperatura vaginal em ovinos utilizando o logger T-centi → 1: Dispositivo CIDR; 2: Aplicador (Seringa 10 mL cortada na parte superior); 3: Dispositivo CIDR (cortado); 4: Logger T-centi; 5. Logger Tcenti acoplado ao dispositivo ao CIDR; 6: Dispositivo (logger + CIDR) sendo colocado no aplicador; 7: Dispositivo sendo inserido na vagina do animal; 8: Animal com o dispositivo. Adaptado de Silva et al. (2015).

4.2.4 Transferência de calor sensível

Sempre que existir diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, haverá, necessariamente, transferência de calor. Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que poder ser um sólido ou fluido, o termo condução é utilizado para referir-se a transferência de calor que irá ocorrer através do meio. De outro modo, o termo convecção se refere à transferência de calor que irá ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento, quando estiverem em temperaturas diferentes. Por fim, toda superfície a uma temperatura não nula emite energia na forma de ondas eletromagnéticas; assim, na ausência de um meio que as interponha, existe transferência de calor por radiação entre duas superfícies que se encontram a diferentes temperaturas (Incropera e DeWitt, 1998).

Em um sistema biológico (animal), a convecção (fluido → sangue) é responsável por transferir boa parte do calor produzido pelos tecidos para regiões mais superficiais do corpo; desse ponto, na distância que separa a camada mais interna e externa da pele, o calor é

transferido por condução; por fim, dependendo das características do ambiente térmico e da superfície cutânea do animal (estruturais e radiativas do pelame) o calor poderá ser transferido pela radiação e convecção natural (diferenças na densidade do ar próximo a pele "camada limite" e ambiente) ou forçada (movimentação do fluido → ar).

A transferência de calor sensível por unidade de área corporal pode ser descrita como sendo a soma do calor transferido via radiação de ondas longas e convecção, dada por:

$$q_{\text{sens}} = q_{\text{conv}} + q_{\text{RL}} \quad [29]$$

A transferência de calor por convecção (q''_{conv}) é quantificada conforme a lei do resfriamento de Newton (Incropera e DeWitt, 1998):

$$q''_{\text{conv}} = h_c (T_s - T_{\text{ar}}) \quad \text{W m}^{-2} \quad [31]$$

em que h_c é o coeficiente de convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); T_s é temperatura da superfície do pelame (K); para o cálculo do coeficiente de convecção natural (h_c), assumiu-se como modelo animal, um cilindro horizontal.

A troca de calor pela radiação de ondas longas (q''_{RL}) é calculada de acordo com os princípios da lei de *Stefan-Boltzman*, a qual descreve que a potência emissiva da radiação emitida por um corpo negro é proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta:

$$q''_{\text{RL}} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{RM}}^4) \quad \text{W m}^{-2} \quad [32]$$

em que ε é a emissividade para tecidos biológicos (Steketee, 1973); σ ($5,67051 \times 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$) é a constante de *Stefan-Boltzmann*; T_s (K) é a temperatura da superfície do pelame; T_{RM} (K) é a temperatura radiante média.

4.2.5 Transferência de calor latente

4.2.5.1 Evaporação cutânea

O animal perde calor sensível, o qual é utilizado para evaporar umidade na superfície da pele, garantindo o resfriamento corporal. A evaporação cutânea (E_c) pode representar até 90% do total da energia térmica dissipada em pequenos ruminantes (Silva e Starling, 2003; Costa et al., 2014; Maia et al., 2015; Maia et al., 2016). Entretanto, medidas da E_c para

caprinos e ovinos em condições similares de ambiente têm demonstrado certa divergência (Tab. 3). Em parte, isso se deve ao tipo de metodologia empregada, que pode induzir a erros nas medidas reais da E_C ; na literatura, não há estudos que demonstrem qual a precisão e acurácia das diferentes metodologias disponíveis para quantificar a evaporação cutânea no animal.

Tabela 2: Transferência de calor por evaporação na superfície corporal (E_C , $W.m^{-2}$) em estudos com caprinos e ovinos utilizando diferentes métodos.

Raça	Espécie	Estudo	E_C $W.m^{-2}$	T_a °C	Ambiente	Método
Corriedale	<i>Ovis aries</i>	Starling et al. (2002)	63,94	30	Sombra	A ^[a]
Corriedale	<i>Ovis aries</i>	Silva e Starling (2003)	96,77	35	Sombra	A ^[a]
SPRD*	<i>Ovis aries</i>	Sousa Júnior et al. (2008)	155,82	32	Sombra	C ^[b]
Boer x Saanen	<i>Capra hircus</i>	Ligeiro et al. (2006)	184,60	30	Sombra	B ^[c]
SPRD*	<i>Capra hircus</i>	Costa et al. (2014)	45,54 74,40	32	Sombra Sol	B ^[c]
SPRD*	<i>Capra hircus</i>	Maia et al. (2015)	50,24 85,50 130,97	35	Sombra Sol Sol	B ^[c]

* sem padrão racial definido;

[a] medida original em $g.kg^{-1}.h^{-1}$, transformada para $W.m^{-2}$ utilizando a estimativa da área superficial com base no peso do animal;

[b] medida original em $g.m^{-2}.h^{-1}$, sendo calculada a evaporação cutânea em $W.m^{-2}$ com base na equação $E_c = \lambda S/3600$;

[c] medida original dada em $W.m^{-2}$;

A = Método gravimétrico;

B = Cápsula ventilada;

C = Método colorimétrico de acordo com Schleger & Turner (1965);

O método gravimétrico foi utilizado primeiramente para medida da evaporação por Taneja (1958) e posteriormente por Holmes (1985) e Finch (1984) por meio de uma balança de precisão desenvolvida originalmente para a monitoração da perda de água em humanos; essa mesma metodologia foi empregada por Silva e Starling (2003) para determinar a perda evaporativa total (cutânea + respiratória) de ovinos Corriedale em ambiente controlado. Nessa técnica, avalia-se a perda de massa no tempo, sendo necessário descontar fezes e urina, quantificando somente a massa evaporada via sudação e respiração. A metodologia

gravimétrica é, sem dúvidas, a mais precisa para quantificar a perda de calor por evaporação, uma vez que não altera as condições de ventilação e radiação em torno do animal, principalmente sua camada de cobertura (pelos ou lã). Entretanto, sua utilização é limitada pela necessidade de balanças de alta precisão e contenção de apenas um animal por vez, tornando-a inviável para estudos de campo envolvendo muitos animais.

O método colorimétrico, proposto por Schleger & Turner (1965), é um dos mais difundidos. Consiste na aplicação de uma solução de cloreto de cobalto a folhas de papel de filtro, as quais são secadas até atingir uma coloração azul-violeta intensa; discos de 0,5 cm de diâmetro são cortados dessas folhas de papel tratado e montados sobre uma lâmina de microscópio, fixados com fita de celulose transparente (“durex”). Por conseguinte, raspa-se os pelos de uma área cutânea de cerca de 1 por 3 cm na epiderme do animal, aplicando-se a fita transparente com os discos de papel; imediatamente, é cronometrado o tempo necessário para que a coloração dos discos mude de azul-violeta para róseo-claro. Como resultado, obtêm-se a quantidade da massa de água evaporada, sendo posteriormente, convertida em taxa de evaporação cutânea, conforme as equações:

$$E_c = \frac{\lambda S}{3600} \quad \text{W m}^{-2} \quad [33]$$

$$S = 10,679612t^{-1} \quad \text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1} \quad [34]$$

em que λ é o calor latente de vaporização da água, S é a massa de água evaporada; t é o tempo (segundos) para a completa viragem da coloração azul violeta para rósea claro.

Maia et al. (2005) propuseram uma cápsula do tipo ventilada, baseada no modelo descrito por McLean (1963), a qual compreende uma secção de 6,3 cm de um tubo de PVC com 7 cm de diâmetro. Nela, o ar é sugado diretamente da atmosfera para o interior da cápsula (velocidade de 0,08 a 0,09 m.s⁻¹), junto à superfície do pelame, através de um tubo aberto a ela acoplado; este fluxo sai da cápsula por um outro tubo, que é conectado a um analisador de vapor e este último a uma bomba aspirante; o diferencial na pressão de vapor do ar que entra e deixa a cápsula representa a quantidade de vapor evaporada na superfície do animal.

$$E_c = \frac{\lambda S}{3600} \quad \text{W m}^{-2} \quad [35]$$

$$S = 3600 f_{\text{cap}} (\psi_{\text{cap}} - \psi_{\text{atm}}) A_{\text{cap}}^{-1} \quad \text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1} \quad [36]$$

em que S é a massa de água evaporada; f_{cap} é o fluxo de ar que passa no interior da cápsula ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); ψ_{cap} e ψ_{atm} são a umidade absoluta do ar que deixa a cápsula e da atmosfera, respectivamente ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$); A_{cap} é a área ocupada pela cápsula na superfície corporal do animal (m^2).

Na ausência de métodos diretos para quantificar a E_C , assim como também, impossibilidade na obtenção dessas medidas com animais a campo, a utilização de equações simples com estimadores indiretos da E_C pode ser um bom caminho (Gatenby, 1986; Silva e Maia, 2011). Silva e Maia (2011) obtiveram a evaporação cutânea (E_C) de vacas holandesas utilizando uma cápsula ventilada e propuseram uma função matemática exponencial, tendo a temperatura de superfície (T_s) como variável independente e estimador indireto. Contudo, a função apresenta algumas limitações, uma vez que a quantidade de calor evaporado na superfície cutânea tem influência de fatores como vento, umidade do ar e radiação (Gebremedhin et al., 2008), sendo necessário modelos que incorporem tais variáveis.

4.2.5.2 Transferência de calor e massa pelo trato respiratório

O trato respiratório superior dos animais é tido como um tubo de diâmetro e comprimento finito. Previsões anteriores afirmavam que, durante um movimento respiratório, o ar era exalado saturado e em temperatura igual à corporal (Brockway et al., 1965; McArthur, 1987). No entanto, quando o ar é inalado a uma temperatura e pressão de vapor da atmosfera, ao passar por toda a extensão da traquéia, recebe calor e massa, atingindo as vias aéreas mais profundas completamente saturado e numa temperatura igual à corporal; durante o processo de exalação, o ar aquecido passa através da superfície do trato respiratório superior, outrora resfriada, condensando e transferindo calor. Assim, o ar é expirado saturado e em temperatura inferior à corporal (Stevens, 1981; Silva et al., 2002).

A transferência de calor latente pelo trato respiratório têm sido alvo de investigação constante em animais de produção (Silva et al., 2002; Maia et al. 2005a; Silva et al., 2012; Maia et al., 2015; Maia et al., 2016; Fonsêca et al., 2016, no prelo), podendo ser determinada pela função:

$$E_R = A^{-1} \lambda V_{RC} F (\psi_E - \psi_{atm}) \quad W \, m^{-2} \quad [37]$$

em que λ é o calor latente de vaporização da água ($J \, g^{-1}$); V_{RC} ($m^3 \, resp^{-1}$) é o volume respiratório corrente; F é a frequência respiratória ($resp \, s^{-1}$); ψ_E e ψ_{atm} ($g \, m^{-3}$) são a umidade absoluta do ar expirado e da atmosfera, respectivamente. Os componentes da equação [41] são obtidos frequentemente em ambientes controlados com uso de máscaras faciais, não sendo possível quantificá-los diretamente em animais a campo. Da mesma forma que a evaporação cutânea, o uso de medidas indiretas para estimar a transferência de calor latente pelo trato respiratório também pode ser útil nestas condições. Num estudo com ovinos da raça Corriedale, Silva et al. (2002) propuseram equações para determinar o volume respiratório corrente (função não linear) e a temperatura do ar expirado (T_E) a partir de medidas ambientais e fisiológicas simples como temperatura do ar (T_{ar}) e frequência respiratória (F):

$$V_{RC} = 0,0496 F^{1,1557} \quad m^3 \, resp^{-1} \quad [38]$$

$$T_E = 28,777 + 0,1587 T_{ar} + 0,00241 T_{ar}^2 \quad ^\circ C \quad [39]$$

Smith et al. (1985) ajustaram uma função para o cálculo da E_R em ovinos Merino com base na frequência respiratória e temperatura do ar ($[E_R = F (0,58 - 0,0053 T_{ar})]$). As funções apresentadas foram desenvolvidas para ovinos lanados, os quais possuem características fenotípicas bem diferentes dos ovinos criados nas regiões semiáridas do Brasil, uma vez que evoluíram em ambientes distintos; considerando tais aspectos, Fonsêca et al. (2016, no prelo) também propuseram equações simples para estimativa da E_R de ovinos da raça Morada Nova. De acordo com esses autores, o V_{RC} e a T_E podem ser estimados como:

$$V_{RC} = 10,0351 F^{1,0376} \quad L \, resp^{-1} \quad [40]$$

$$T_E = 14,56 + 0,64 T_{ar} - 0,08 U_R + 0,0007 U_R^2 \quad ^\circ C \quad [41]$$

5. Os limites e os custos biológicos da homeotermia

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 homeotermia, por si só, é um

processo biológico custoso; as taxas metabólicas de pequenos mamíferos placentários (10 g de peso vivo) chegam a ser 10 vezes maiores que as de lagartos (peclotermos) em condições de repouso e temperaturas tissulares semelhantes (Hill et al., 2012).

A faixa de variação da temperatura ambiente na qual a taxa metabólica é relativamente constante, sendo o controle da temperatura corporal proporcionado apenas por mecanismos não-evaporativos, é definida por Silva (2008) como zona de termoneutralidade; neste caso, o organismo realiza esforço mínimo para adquirir ou eliminar energia térmica. No limite mínimo (limite crítico inferior - LCI) desta faixa de temperatura, 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 um certo limite, na qual não seja mais possível sustentar a homeotermia (limite de sobrevivência). 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 homeotermia (faixa de sobrevivência do LCS).

Inicialmente, os animais lidam com alterações no ambiente térmico ajustando sua temperatura de superfície por meio de mecanismos vasomotores (vasodilatação e vasoconstrição) e comportamentais (Ivanov, 2006). Com base nisso, DeShazer et al. (2009) referenciaram uma temperatura ambiental, na qual o animal atinge o limite máximo de vasoconstrição como de crítica inferior; por outro lado, um limite máximo de vasodilatação é alcançado numa temperatura crítica superior. De acordo com estes autores, ambos os limites, definem a amplitude térmica de mínimo esforço termorregulatório. Diferenças no gradiente da temperatura retal e da pele devem indicar a magnitude das respostas vasomotoras (Hetem et al., 2009). Sallvik (1999) apresenta um modelo simples definindo uma zona de regulação por perdas sensíveis (ZS), zona de regulação metabólica (ZM) e controlada por mecanismos latentes de transferência de calor (ZL):

ZS → O animal consegue manter a homeotermia primariamente controlando o fluxo sanguíneo para as regiões periféricas corporais mediante ações vasomotoras. Ademais, nesta faixa, quando a temperatura aumenta ou diminui, ajustes primários como redução na exposição da superfície do animal ao ambiente por meio de mudanças na postura, agrupamento ou amontoamento com outros animais garante uma certa constância no balanço de calor sensível e manutenção da temperatura corporal com uso mínimo da energia metabolizável (Collier e Gebremedhin, 2014).

ZL → Quando a temperatura ambiente se aproxima da corporal, a transferência de calor sensível se aproxima de zero e os meios evaporativos passam a ser o principal caminho de resfriamento corporal, sendo referenciada também como temperatura crítica evaporativa (DeShazer et al., 2009).

ZM → A manutenção da homeotermia depende do aumento na produção de calor metabólico. A termogênese facultativa induzida pelo frio ocorre no tecido adiposo marron (TAM), sendo controlada por glicocorticóides, insulina e hormônios da tireóide (Todini, 2007); além desse local, ocorre também nos músculos esqueléticos, por meio de tremores, neste caso, induzida diretamente pela acetilcolina e em menor escala, glicocorticóides e catecolaminas (Silva, 2008).

O tamanho, isolamento corporal, vento e umidade são fatores que afetam a amplitude da temperatura de mínimo esforço termorregulatório. Animais de pequeno porte e com pouco isolamento na superfície cutânea são mais vulneráveis às flutuações do ambiente térmico (McManus et al., 2011) e, portanto, possuem limites mais estreitos da zona termoneutra (Tab. 4). A movimentação das massas de ar em torno do animal altera substancialmente os limites de temperatura crítica superior e inferior.

Tabela 3: Limites da faixa de temperatura de mínimo esforço termorregulatório descritos na literatura para caprinos e ovinos.

Espécie	Raça	Estudo	Condição	LCI [‡] , C°	LCS [†] , °C
<i>Ovis aries</i>	Corriedale	Blaxter (1967)	Com velo	- 2	20
<i>Ovis aries</i>	Merino	Hanh (1985)	Tosquiado	-	29
<i>Ovis aries</i>	Merino	Hanh (1985)	Com velo	-	31
<i>Ovis aries</i>	-	McManus et al. (2009)	-	20	34
<i>Ovis aries</i>	Morada Nova	Fonsêca et al. (2016; em preparação)	Sombra	22 - 24	29 – 30
<i>Capra Hircus</i>	Raças de deserto	Salem et al. (1982)	-	10 - 20	25 – 30
<i>Capra hircus</i>	Canindé, Moxotó	Lucena et al. (2013)	Ambiente controlado	20	28
<i>Capra hircus</i>	Anglo Nubiano	Maia et al. (2016)	Ambiente controlado	-	26

‡limite crítico inferior; † limite crítico superior

Nas condições de temperaturas elevadas, a diminuição na resistência da camada limite ou do pelame é vantajosa. Berman (2005) observou que o início da ofegação de vacas holandesa em lactação ocorreu numa temperatura ambiente 4 °C maior quando a velocidade do vento foi de 1,5 m s⁻¹ em comparação com 0,2 m s⁻¹. No entanto, em ambiente frio, a diminuição da resistência na superfície corporal do animal pode adiantar o recrutamento da termogênese facultativa. Por exemplo, a adição de umidade e vento ($\pm 0,1$ m s⁻¹) na superfície de bezerros mantidos em temperatura de 7 °C dobrou a perda de calor sensível (Holmes, 1981); conforme este mesmo autor, a transferência de calor seco aumentou em 40% quando borregos da raça Merino foram tosquiados.

6. Considerações finais

- A adaptação de pequenos ruminantes as regiões áridas e semiáridas do planeta é bem discutida na literatura; estudos comprovaram a habilidade desses animais para lidarem com períodos de escassez de alimento e água, altos níveis de carga térmica radiante e baixas temperaturas, os quais operam mecanismos eficientes na utilização da energia do alimento, ajustes de orientação corporal, busca por micro-climas e ajustes fisiológicos que garantem maior economia de água e energia para termorregulação.
- Há um número pequeno de informações acerca do valor fenotípico de raças de caprinos e ovinos deslanados criados em regiões tropicais semiáridas. A capacidade desses animais suportarem longos períodos de desidratação, eficiência na utilização fibra, alterações sazonais e circadiana no metabolismo, além dos processos de transferência de calor e massa são lacunas que, se esclarecidas, contribuirão para um melhor entendimento dos aspectos evolutivos destes animais em ambiente tropical semiárido.
- O estudo da termorregulação animal requer uma caracterização minuciosa do ambiente térmico radiante e dos componentes do balanço de calor. As informações apresentadas nessa revisão servem de base para o direcionamento de pesquisas sobre os processos de transferência de calor e massa em animais.

7. Literatura citada

ABDOUN, K. A. et al. A comparative study on seasonal variation in body temperature and blood composition of camels and sheep. **Journal Animal and Veterinary Advances**, v. 11, n. 6, p. 769-773, 2012.

AHARONI, Y. et al. The variability of the ratio of oxygen consumption to heart rate in cattle and sheep at different hours of the day and under different heat load conditions. **Livestock Production Science**, v. 79, n. 2, p. 107-117, fev. 2003.

AL-HAIDARY, A. A. et al. Thermoregulatory and physiological responses of Najdi sheep exposed to environmental heat load prevailing in Saudi Arabia. **Pakistan Veterinary Journal**, v. 32, n. 4, p. 515-519, fev. 2012.

ALMEIDA, B. C. N. et al. **Orientação com Relação à Radiação Solar e Busca por Sombra de Vacas Holandesas Manejadas em Região Semi-Árida**. 45º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Lavras, MG, 2008.

ARANDAS, J. K. G. et al. Estrutura Populacional de Ovinos da Raça Morada Nova. **Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal**, v. 9, jun. 2012.

ARAÚJO FILHO, J. A. Histórico do uso dos solos da caatinga. In: ARAÚJO, Q. R. **500 anos de uso do solo no Brasil**. Bahia: UESC, p.329-338, 2002.

ARAÚJO, G. G. L. et al. Water and small ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 326-336, jul. 2010.

ARCH, J. R. S. et al. Some mathematical and technical issues in the measurement and interpretation of open-circuit indirect calorimetry in small animals. **International Journal of Obesity**, v. 30, n. 9, p. 1322-1331, jun. 2006.

BENNETT, J. W. Regional body surface area of sheep. **Journal of Agricultural Science**, v. 81, n. 03, p. 429-432, dez. 1973.

BERMAN, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 6, p. 1377-1384, fev. 2005.

BERMAN, A. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 10, p. 3817-3825, maio. 2006.

BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 07, p. 1167-1183, jul. 2010.

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

BROCKWAY, J. M.; MCDONALD, J. D.; PULLAR, J. D. Evaporative heat-loss mechanisms in sheep. **Journal of Physiology**, v. 179, n. 3, p. 554, jan. 1965.

BROCKWAY, J. M.; MCEWAN, E. H. Oxygen uptake and cardiac performance in the sheep. **The Journal of Physiology**, v. 202, n. 3, p. 661-669, jan. 1969.

BROOM, D. M.; FRASER, A. F. **Domestic Animal Behaviour and Welfare**. Manole São Paulo 4. ed. p. 452 , 2010.

BROSH, A. et al. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. **Journal of Animal Science**. v.76, p.2671-2677, 1998.

BROSH, A. et al. Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different conditions. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 12, p. 3054-3064, jun. 1998.

BROSH, A. et al. Infrequent drinking, digestive efficiency and particle size of digesta in black Bedouin goats. **The Journal of Agricultural Science**, v. 106, n. 03, p. 575-579, jun. 1986.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 5, p. 1213-1227, jan. 2007.

BROWN, G. D. Thermal status of sheep at pasture in western New South Wales. **Crop and Pasture Science**, v. 22, n. 5, p. 797-808, nov. 1970.

BROWN-BRANDL, T.M. et al. A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 19, p.583-589, 2003.

BRUTSAERT, Wilfried. The roughness length for water vapor sensible heat, and other scalars. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 32, n. 10, p. 2028-2031, out. 1975.

BURDICK, N.C. et al. Development of a self-contained, indwelling vaginal temperature probe for use in cattle research. **Journal of Thermal Biology**. v.37, n. 4, p. 339-343, jul. 2012.

BURRIN, D. G. et al. Level of nutrition and visceral organ size and metabolic activity in sheep. **British Journal of Nutrition**, v. 64, n. 02, p. 439-448, mar. 1990.

CAIN, J. W. et al. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. **Wildlife Society Bulletin**, v. 34, n. 3, p. 570-581, out. 2006.

CAIN, J.W. et al. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. **Wildlife Society Bulletin**. v. 34, p.570-581, 2012.

CAIN, J.W. et al. Potential thermoregulatory advantages of shade use by desert bighorn sheep. **Journal of Arid Environments**. v. 72, n. 8, p. 1518-1525, abr. 2008.

CAMERRO, L. Z. et al. Thermal equilibrium responses in Guzerat cattle raised under tropical conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 60, p. 213-221, jul. 2016.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**. New York: Springer-Verlag, 2. ed., p. 286, 1998.

CASTANHEIRA, M. et al. Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. **Tropical Animal Health and Production**, v. 42, n. 8, p. 1821-1828, jul. 2010.

CHILLIARD, Y. et al. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 59, n. 01, p. 127-134, fev. 2000.

COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513-532, out. 2014.

COSTA, C. C. M. et al. Latent heat loss and sweat gland histology of male goats in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 2, p. 179-184, 2014.

COSTA, W. P. **Atributos adaptativos de ovinos Morada Nova criados no Semiárido brasileiro**. Areia: CCA/UFPB, (Doutorado Integrado em Zootecnia) 117f, 2012.

DESHAZER, J. A. **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

DEVENDRA, C. Comparative aspects of digestive physiology and nutrition in goats and sheep. **Ruminant Nutrition and Physiology in Asia**, p. 45-60, 1990.

DIENER, J. R. C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 245-253, set. 1997.

EGITO, A.A.; MARIANTE, A.S.; ALBUQUERQUE, M.S.M. Programa brasileiro de conservação de recursos genéticos animais. **Arquivos de Zootecnia**. v.51, p. 39-52, 2002.

EISEMANN, J. H.; NIENABER, J. A. Tissue and whole-body oxygen uptake in fed and fasted steers. **British Journal of Nutrition**, v. 64, n. 02, p. 399-411, maio. 1990.

FACÓ, O.; PAIVA, S. R.; ALVES, L. de R. N.; LÔBO, R. N. B.; VILLELA, L. C. V. **Raça Morada Nova: Origem, Características e Perspectivas**. Sobral-CE: Embrapa Carpinos e Ovinos, 2008.

FERNANDES, A. A. O.; BUCHANAN, D.; SELAIVE-VILLARROEL, A. B. Avaliação dos fatores ambientais no desenvolvimento corporal de cordeiros deslanados da raça Morada Nova. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1460-1465, maio. 2001.

FERRANNINI, E. The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. **Metabolism**, v. 37, n. 3, p. 287-301, mar. 1988.

FINCH, V. A. Why black goats in hot deserts? Effects of coat color on heat exchanges of wild and domestic goats. **Physiological Zoology**, v. 53, n. a, p. 19-25, jan. 1980.

FINCH, V. A.; BENNETT, I. L.; HOLMES, C. R. Coat colour in cattle: effect of thermal balance, behaviour and growth and relationship with coat type. **The Journal of Agricultural Science**, v. 102, n. 01, p. 141-147, fev. 1984.

FONSÊCA, V. F. C. et al. Influence of the climatic environment and duration of labor on the mother-offspring interaction in Morada Nova sheep. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 9, p. 4123-4129, dez. 2014.

FONSÊCA, V. F. C., SARAIVA, E. P., MAIA, A. S. C. M., NASCIMENTO, C. C. N., SILVA, J. A. S., PEREIRA, W. E. Heat loss from respiratory tract in Morada Nova sheep bred in a semiarid tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, 2016 (no prelo).

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. Adequacy of the Haldane transformation in the computation of exercise $\dot{V}O_2$ in man. **Journal of Applied Physiology**, v.35, p.85-89, 1973.

FORMIGA, L. D. A. S. **Organismos edáficos, cinética do CO_2 do solo e herbivoria em áreas de caatinga sob pastejo caprino**. (Doutorado em zootecnia), Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2014.

FORTIN, D. LAROCHELLE, J. GAUTHIER, G. The effect of wind, radiation and body orientation on the thermal environment of Greater Snow goose goslings. **Journal of Thermal Biology**. v.25, n. 3, p.227-238, fev. 2000.

GARDINER, M. R.; ANDERSON, J. L.; ROBERTSON, D. E. Cancer eye of cattle. **Journal of Agriculture Western Australia**, v. 13, p. 53-59, 1972.

GATENBY, Ruth M. Exponential relation between sweat rate and skin temperature in hot climates. **The Journal of Agricultural Science**, v. 106, n. 01, p. 175-183, fev. 1986.

GATES, D. M. **Biophysical ecology**. Springer-verlag, New York, 1980.

GEBREMEDHIN, K. G. et al. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 239-247, 2010.

GEBREMEDHIN, K. G.; HILLMAN, P.E. Modeling temperature profile and heat flux through irradiated fur layer. **Transactions of the ASAE**. v.40, n.5, p. 1441-1447, 1997.

GHANEM, A. M. et al. Physiological and chemical responses in water-deprived Awassi ewes treated with vitamin C. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 3, p. 141-149, jan. 2008.

GONZAGA NETO, S. et al. Composição corporal e exigências nutricionais de macrominerais para cordeiros Morada Nova. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2133-2142, jul. 2005.

HAMADEH, S. K. et al. Physiological responses to water restriction in dry and lactating Awassi ewes. **Livestock Science**, v. 101, n. 1, p. 101-109, jan. 2006.

HETEM, R. S. et al. Effects of desertification on the body temperature, activity and water turnover of Angora goats. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 1, p. 20-28, jan. 2011.

HETEM, R. S. et al. Energy advantages of orientation to solar radiation in three African ruminants. **Journal of Thermal Biology**, v. 36, n. 7, p. 452-460, ago. 2011.

HETEM, Robyn S. et al. Body temperature, thermoregulatory behaviour and pelt characteristics of three colour morphs of springbok (*Antidorcas marsupialis*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 152, n. 3, p. 379-388, jan. 2009.

HILL, R. W.; WYSE, G. A.; ANDERSON, M. **Fisiologia Animal**, 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

HOLMES, C. W. A note on the protection provided by the hair coat or fleece of the animal against the thermal effects of simulated rain. **Animal Production**, v. 32, n. 6, p. 225-226, abr. 1981.

HOLTENIUS, K. Intraruminal loading with short chain fatty acids in the food-deprived goat. **Swedish Journal of Agricultural Research (Sweden)**, 1991.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4. ed. Rio de Janeiro: JC editora, 1998.

IVANOV, K. P. The development of the concepts of homeothermy and thermoregulation. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 1, p. 24-29, fev. 2006.

JABER, L; CHEDID, M; HAMADEH, S. **Water stress in small ruminants**. INTECH Open Access Publisher, 2013.

KALIBER, M.; KOLUMAN, N.; SILANIKOVE, N. Physiological and behavioral basis for the successful adaptation of goats to severe water restriction under hot environmental conditions. **Animal**, v. 10, n. 01, p. 82-88, jul. 2015.

KAY, R. N. B.; MALOIY, G. M. O. Digestive secretions in camels. In: **Ouargla (Algeria), 27 Feb-1 Mar 1988**. CIHEAM-IAMZ, 1989.

KELLY, C.F.; BOND, T.E.; ITTNER, N.R. Thermal design of livestock shades. **Agricultural Engineering**, v.36, n. 5, p. 173-80, jan. 1950.

KEREN, E. N.; OLSON, B. E. Applying thermal imaging software to cattle grazing winter range. **Journal of thermal biology**, v. 32, n. 4, p. 204-211, jan. 2007.

KEREN, E.N.; OLSON, B.E. Thermal balance of cattle grazing winter range: Model application. **Journal of Animal Science**. v.84, n. 5, p.1238-1247, jan 2006a.

KEREN, E.N.; OLSON, B.E. Thermal balance of cattle grazing winter range: Model development. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, n. 5, p. 371-377, mar. 2006b.

KIJAS, J. W. et al. International Sheep Genomics Consortium Members. Genome-wide analysis of the world's sheep breeds reveals high levels of historic mixture and strong recent selection. **PLoS Biol**, v. 10, n. 2, p. e1001258. 2012.

KLEIBER, M. **The Fire of Life**. New York: J. Wiley. p. 454, 1961.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos Ruminantes**. 2. ed. Santa Maria UFSM, 2009. 216 p.

LACHICA, M.; AGUILERA, J. F. Energy expenditure of walk in grassland for small ruminants. **Small Ruminant Research**, v. 59, n. 2, p. 105-121, ago. 2005a.

LACHICA, M.; AGUILERA, J. F. Energy needs of the free-ranging goat. **Small Ruminant Research**, v. 60, n. 1, p. 111-125, out. 2005b.

LACHICA, M.; AGUILERA, J. F. Methods to estimate the energy expenditure of goats: From the lab to the field. **Small Ruminant Research**, v. 79, n. 2, p. 179-182, jul. 2008.

LACHICA, M.; AGUILERA, J. F.; PRIETO, C. A confinement respiration chamber for short gaseous exchange measurements. **Archives of Animal Nutrition**, v. 48, n. 4, p. 329-336, jan. 1995.

LADEN, S.; NEHMADI, L.; YAGIL, R. Dehydration tolerance in Awassi fat-tailed sheep. **Canadian Journal of Zoology**, v. 65, n. 2, p. 363-367, fev. 1987.

LEE, S. R.; SASAKI, Y. Body heat content, heat production and respiration in sheep exposed to intermittent cold. **Albanês Journal of Agricultural Sciences** v. 7, n. 3, p. 357-362, mar. 1994.

LOUW, G. et al. **Ecology of Desert Organisms**. n. 04, QH541. 5. D4, L6, 1982.

LOWE, T. E. et al. Impact of climate on thermal rhythm in pastoral sheep. **Physiology & Behavior**, v. 74, n. 4, p. 659-664, Ago. 2001.

LUKE, T. W. Chernobyl: The packaging of transnational ecological disaster. **Critical Studies in Media Communication**, v. 4, n. 4, p. 351-375, dez. 1987.

MAIA, A. S. C. et al. Development of Facial Masks for Indirect Calorimetric Studies for Livestock. In: **Montreal, Quebec Canada July 13–July 16**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1-3, 2014.

MAIA, A. S. C. et al. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 58, p. 43-49, mar. 2016.

MAIA, A. S. C. et al. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 8, p. 1025-1033, jan. 2015.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; BERTIPAGLIA, E. C. A. Características do Pelame de Vacas Holandesas em Ambiente Tropical: Um Estudo genético e adaptativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n. 4, p.843-853, set. 2003.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R.G.; BERTIPAGLIA, E.A. Environmental and genetic radiation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cows under tropical conditions. **Livestock Production Science**, v.92, n. 3, p.307-315, jan. 2005.

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.332-335, jan. 2005.

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, abr. 2005.

MALOIY, G. M. O. et al. Allometry of the legs of running birds. **Journal of Zoology**, v. 187, n. 2, p. 161-167, fev. 1979.

MALONEY, S. K. et al. Energy intake and the circadian rhythm of core body temperature in sheep. **Physiological Reports**, v. 1, n. 5, set. 2013.

MCLEAN, J. A. et al. Body heat storage, metabolism and respiration of cows abruptly exposed and acclimatized to cold and 18° C environments. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 64, n. 3, p. 641-653, abr. 1984.

MCLEAN, J. A. et al. Thermal adjustments of steers (*Bos taurus*) to abrupt changes in environmental temperature. **The Journal of Agricultural Science**, v. 100, n. 02, p. 305-314, jan. 1983.

MCLEAN, J. A. Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilated capsules. **The Journal of Physiology**, v. 167, n. 3, p. 417-426, jul. 1963.

MCLEAN, J. A. On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements. **British Journal of Nutrition**, v. 27, n. 03, p. 597-600, jan. 1972.

MCMANUS, C, et al. Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, jan. 2009.

MCMANUS, C. et al. Genetic factors of sheep affecting gastrointestinal parasite infections in the Distrito Federal, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 166, n. 3, p. 308-313, dez. 2009.

MCMANUS, C. et al. Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. **Tropical Animal Health Production**, v.43, p.121- 126, 2011.

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

MCMANUS, C.; PAIVA, Samuel Rezende; ARAÚJO, Ronyere Olegário de. Genetics and breeding of sheep in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 236-246, jul. 2010.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2nd edn. Arnold, London, 1990.

MORAIS, D. A. E. F. **Variação de características do pelame, níveis de hormônios tireoideanos e produção de vacas leiteiras em ambiente quente e seco**. (Doutorado em zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo. 121f. 2002.

MORMÈDE, P. et al. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. **Physiology & behavior**, v. 92, n. 3, p. 317-339, jan. 2007.

MUNIZ, M. M. M. et al. Application of genomic data to assist a community-based breeding program: A preliminary study of coat color genetics in Morada Nova sheep. **Livestock Science**, v. 190, p. 89-93, jun. 2016.

OLIVEIRA, S. E. O. et al. Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 8, p. 1413-1417, ago. 2014.

PAIVA, S. R. et al. Genetic variability of the Brazilian hair sheep breeds. **Pesquisa Agropecuária de Brasília**. v. 40, n. 9, p. 887-893, set. 2005.

QUESADA, M. et al. Estimation of genetic and phenotypic parameters for Brazilian hair sheep in Central Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 1, p. 342-349, fev. 2002.

RIBEIRO, E. L. A.; GONZÁLEZ-GARCÍA, E. Indigenous sheep breeds in Brazil: potential role for contributing to the sustainability of production systems. **Tropical Animal Health and Production**, p. 1-9, jul. 2016.

RIBEIRO, M. N. et al. Demografia e grau do perigo de extinção de ovinos da raça Morada Nova. **Zootecnia Tropical**, v. 32, n. 4, p. 309-313, mar. 2014.

RODRÍGUEZ, N. M. et al. A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 495-500, fev. 2007.

SALLVIK, K. **CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Volume II Animal Production & Aquacultural Engineering**, Part I Livestock Housing and Environment, Chapter 2 Environment for Animals, Part 2.1 Animal Environment Requirements. 1999.

SARGEANT, A. J. Human power output and muscle fatigue. **International Journal of Sports Medicine**, v. 15, n. 03, p. 116-121, jan. 1994.

SCHLEGER, A. V.; TURNER, H. G. Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. **Crop and Pasture Science**, v. 16, n. 1, p. 92-106, 1965.

SCHMIDT-NIELSEN, K. Animal physiology: adaptation and environment, 5th ed. Cambridge University, 2002.

SCHMIDT-NIELSEN, A. Intelligibility of VCV segments excised from connected speech. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 74, n. 3, p. 726-738, jun. 1983.

SCHMIDT-NIELSEN, B. et al. Urea excretion in the camel. **American Journal of Physiology--Legacy Content**, v. 188, n. 3, p. 477-484, fev. 1957.

SCHWINNING, S. et al. Thresholds, memory, and seasonality: understanding pulse dynamics in arid/semi-arid ecosystems. **Oecologia**, v. 141, n. 2, p. 191-193, ago. 2004.

SELAIVE-VILLARROEL, A. B.; FERNANDES, A. A. O. Desempenho reprodutivo de ovelhas deslanadas Morada Nova no Estado do Ceará. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 2, n. 1, 2000.

SHIOTSUKI, L. et al. Genetic parameters for growth and reproductive traits of Morada Nova sheep kept by smallholder in semi-arid Brazil. **Small Ruminant Research**, v. 120, n. 2, p. 204-208, maio. 2014.

SHIOTSUKI, L. et al. The impact of racial pattern on the genetic improvement of Morada Nova sheep. **Animal Genetic Resources/Ressources Génétiques Animales/Recursos Genéticos Animales**, v. 58, p. 73-82, mar. 2016.

SILANIKOVE, N. Effect of imposed reduction of energy intake on resting and fasting heat production in the black bedouin desert goat. **Nutrition Reports International (USA)**, v. 35, p. 725-731, 1987.

SILANIKOVE, N. et al. Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 1, p. 199-205, jan. 1996.

SILANIKOVE, N. Renal excretion of urea in response to changes in nitrogen intake in desert (black Bedouin) and non-desert (Swiss Saanen) goats. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 79, n. 4, p. 651-654, mar. 1984.

SILANIKOVE, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. **Small Ruminant Research**. v.35, n. 3, p. 181-193, 2000.

SILANIKOVE, N. Why goats raised on harsh environment perform better than other domesticated animals. **Options Mediterraneennes**, v. 34, p. 185-194, 1997.

SILANIKOVE, N.; BROSH, A. Lignocellulose degradation and subsequent metabolism of lignin fermentation products by the desert black Bedouin goat fed on wheat straw as a single-component diet. **British Journal of Nutrition**, v. 62, p. 509-520, abr. 1989.

SILANIKOVE, N.; NITSAN, Z.; PEREVOLOTSKY, A. Effect of a daily supplementation of poly (ethylene glycol) on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Ceratonia siliqua*) by sheep. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 12, p. 2844-2847, dez. 1994.

SILANIKOVE, N.; TAGARI, H.; SHKOLNIK, A. Comparison of rate of passage, fermentation rate and efficiency of digestion of high fiber diet in desert Bedouin goats compared to Swiss Saanen goats. **Small Ruminant Research**, v. 12, n. 1, p. 45-60, jan. 1993.

SILANIKOVE, N.; TAGARI, Haim; SHKOLNIK, Amiram. Gross energy digestion and urea recycling in the desert black Bedouin goat. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 67, n. 1, p. 215-218, jan. 1980.

SILVA, J. A. et al. **Relação da temperatura intravaginal e retal em ovelhas da raça Morada Nova**. In: I Workshop Internacional de Biometeorologia - Interação Homem, Animal e Ambiente, Jaboticabal. Anais, 2015.

SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental: os animais e seu ambiente**. São Paulo: FUNEP, 450p. 2008.

SILVA, R. G. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.28, n.6, p.1403-1411, jan. 1999.

SILVA, R. G. et al. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 5, p. 927-932, set. 2012.

SILVA, R. G. et al. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**. v.46, n. 3, 136-140, ago. 2002.

SILVA, R. G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA, R. G. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**. v.26, n.1, p.268-281, 2006.

SILVA, R. G. Um modelo para determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 29, n.4, p.1244-1252, jan. 2000.

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

SILVA, R. G.; LASCALA JR, N.; TONHATI, H. Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. **Transactions of the ASAE**. v.46, n. 3, p.913-918, 2003.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, n.5, p.1143-1147, maio. 2011.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of Animal Biometeorology**. New York: Springer, 261p. 2013.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; MACEDO COSTA, L. L. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 5, p. 551-559, maio. 2015.

SILVA, R. G.; SCALA JR, N. L.; POCA, P. L. B. Transmissão de Radiação Ultravioleta Através do Pelame e da Epiderme de Bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30 n. 6, p.1939-1947, jul. 2001.

SMITH, D. M.; NOBLE, I. R. JONES, G. K. A heat balance model for sheep and its use to predict shade-seeking behaviour in hot conditions. **Journal of Applied Ecology**. v.22, n.5, p. 753-774, dez. 1985.

SMITH, R. L. Male brooding behavior of the water bug *Abedus herberti* (Hemiptera: Belostomatidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 69, n. 4, p. 740-747, jul. 1976.

STEVENS, D. G. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. **Transactions of the ASAE**. v. 24, n. 1, p. 151-0153, jan. 1981.

SWENSON, M. J.; REECE, W. O. Fisiologia dos animais domésticos. **Circulação Sanguínea e Sistema cardiovascular**, v. 11, p. 13-34, 1996.

SWINBANK, W. CQJR. Long-wave radiation from clear skies. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 89, n. 381, p. 339-348, mar. 1963.

TANEJA, G. C. Sweating in cattle. I. Cutaneous evaporative losses in calves and its relationship with respiratory evaporative loss and skin and rectal temperatures. **The Journal of Agricultural Science**, v. 50, n. 01, p. 73-81, jan. 1958.

THOMPSON, P. D. et al. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. **Current sports medicine reports**, v. 12, n. 4, p. 215-217, ago. 2013.

THOMPSON, V. A. et al. The development of a dynamic, mechanistic, thermal balance model for *Bos indicus* and *Bos taurus*. **The Journal of Agricultural Science**. v. 152, n. 03, p. 464-482, jan. 2014.

TILAHUN, K. The characterisation of rainfall in the arid and semi-arid regions of Ethiopia. **Water SA**, v. 32, n. 3, p. 429-436, out. 2006.

WALSBERG, G. E. Small mammals in hot deserts: some generalizations revisited. **BioScience**, v. 50, n. 2, p. 109-120, fev. 2000.

WARRICK, G. D.; KRAUSMAN, Paul R. Barrel cacti consumption by desert bighorn sheep. **The Southwestern Naturalist**, p. 483-486, dez. 1989.

CAPÍTULO II

HABITUAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE OVELHAS MORADA NOVA PARA TESTES DE CALORIMETRIA INDIRETA COM USO DE MÁSCARAS FACIAIS

HABITUAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE OVELHAS MORADA NOVA PARA TESTES DE CALORIMETRIA INDIRETA COM USO DE MÁSCARAS FACIAIS

Resumo: Objetivou-se, com este estudo, desenvolver uma metodologia para habituar e condicionar ovelhas da raça Morada Nova à contenção e ao uso de máscara facial para testes de calorimetria indireta. Dezesseis animais com peso de $32,6 \pm 1,8$ kg e $2,8 \pm 0,9$ anos de idade foram selecionados em um rebanho de 60. A duração do período de treinamento foi de 83 dias, sendo dividido em três etapas. A partir da segunda etapa, medidas fisiológicas e comportamentais foram utilizadas como indicadores da resposta aversiva aos procedimentos. Após o término do período de treinamento, a reatividade das ovelhas foi avaliada por meio de testes na balança e de aproximação em arena. Quando o tempo de permanência dos animais com a máscara facial no tronco de contenção aumentou de 10 para 50 minutos, a frequência respiratória não ($P > 0,05$) foi alterada. A probabilidade das ovelhas apresentarem resistência no momento da subida no tronco diminuiu ($P < 0,05$) conforme o aumento no tempo de permanência, chegando a ser praticamente nula ao final da 3ª etapa. Com base no teste de reatividade na balança, 90% das ovelhas que foram submetidas ao período de habituação e condicionamento expressaram comportamentos que indicaram ausência de medo. Um método para habituação e condicionamento de ovinos para testes de calorimetria indireta com uso de máscaras faciais foi desenvolvido. O processo de habituação e condicionamento à contenção e ao uso de máscara facial diminui a reatividade de ovelhas da raça Morada Nova.

Palavras-chave: aprendizagem, calorimetria, máscaras faciais, respostas aversivas, reforço positivo

HABITUATION AND CONDITIONING OF MORADA NOVA EWES FOR INDIRECT CALORIMETRY TESTS WITH USE OF FACIAL MASK

Abstract: The aim of this study was to develop a habituation and conditioning method to restraint and the use of facial mask for Morada Nova ewes to be used in indirect calorimetry test. Sixteen animals with 32.6 ± 1.8 kg body weight and 2.8 ± 0.9 years old were selected. Training duration was 83 days, and divided into three steps. From the 2nd, physiological and behavioral measurements were recorded as an indication of fear reaction to the procedures. After the training period, animal's reactivity was evaluated by approach test in the arena. When the time spent by the animals in the contention trunk with facial mask increased from 10 to 50 minutes, the respiratory rate did ($P > 0.05$) not change. Probability of sheep to show resistance at the time of the rise in the trunk decreased ($P < 0.05$) with the increase in the permanence time, being nearly to zero at the end of the 3rd step. In the reactivity test, 90% of the sheep were subjected to habituation and conditioning period expressed behaviors that indicated no fear. A method for habituation and conditioning sheep for indirect calorimetry tests with the use of facial mask was developed. The habituation and conditioning process for restraint and the use of facial mask decreases the reactivity of Morada Nova sheep.

Keywords: learning, calorimetry, facial mask, aversive responses, positive reinforcement

1. Introdução

A calorimetria tem sido utilizada nas pesquisas de nutrição e termorregulação animal, sendo essa, conduzida em calorímetros, câmaras climáticas, respirométricas ou com máscaras faciais (Brockway e McEwan, 1969; Bennett, 1972; Kelly et al., 1993; Brosh et al., 2006; Lachica e Aguilera, 2008; Maia et al., 2016). A imprevisibilidade ambiental, isolamento social, contenção e presença humana são componentes clássicos que induzem a resposta autônoma do medo nos animais, os quais, comumente, estão presentes nestas condições experimentais. O medo é uma reação adaptativa do indivíduo a um perigo percebido (Hotzel et al., 2005); nesse estado, alterações no metabolismo tecidual e intermediário (Mormède et al., 2007), devido à ativação imediata do eixo hipotálamo - hipófise – adrenal podem resultar em medidas pouco confiáveis (Brockway e McEwan, 1969; Rushen et al., 1999; Désiré et al., 2002).

A aplicação dos princípios da habituação e condicionamento (clássico e operante) pode atenuar as respostas de medo e facilitar o manejo dos animais em ambientes "aversivos" (Hutson, 1985; Yamamoto e Volpato, 2007; Clay et al., 2009; Broom e Fraser, 2010; Slater et al., 2016). Ovelhas da raça Merino habituadas ao transporte durante oito dias consecutivos apresentaram frequência cardíaca menor que as não treinadas (Stockman et al., 2011). Os animais associam um ambiente ou condição que seja pareada com eventos positivos, como por exemplo, a possibilidade de obter alimento em um tronco de contenção (Hemsworth et al., 1996; Verbeek et al., 2011). Com base nisso, Grandim (1989) submeteu ovelhas a testes de habituação e condicionamento utilizando alimento como reforço positivo; após um período regular de quatro semanas, ovelhas aceitaram voluntariamente a contenção.

Medidas fisiológicas e comportamentais são frequentemente utilizadas na avaliação das respostas de medo nos animais (Mateo et al., 1991; Rainville et al., 2006). Maia et al. (2014) e Camerero et al. (2016) utilizaram a frequência respiratória como indicador da reatividade animal durante a contenção e uso de máscara facial em testes de calorimetria indireta com caprinos, ovinos e bovinos. Por outro lado, o comportamento oferece uma resposta imediata de como os animais percebem os estímulos presentes no ambiente, sendo também uma boa medida do estado psicológico e fisiológico do animal (Grandim, 1997).

Métodos e técnicas de habituação e condicionamento são úteis para pesquisas com animais em ambientes de laboratório. Nesse sentido, Clay et al. (2009) e Slater et al. (2016) descreveram todos os passos do treinamento de macacos Rhesus (*Macaca mulatta*) para serem utilizados em experimentos com uso de dispositivos faciais e contenção em gaiolas. No

entanto, para animais de produção, não há estudos que descrevam as etapas de um processo de habituação e condicionamento para situações que possam induzir respostas aversivas nos animais. Assim, os propósitos deste estudo foram:

I) Desenvolver uma metodologia para habituar e condicionar ovelhas da raça Morada Nova à contenção e ao uso de máscara facial para testes de calorimetria indireta.

II) Verificar o efeito do treinamento sobre a reatividade de ovelhas da raça Morada Nova.

2. Material e métodos

2.1 O rebanho Morada Nova da Unidade Experimental de Pesquisa em Pequenos Ruminantes

O rebanho Morada Nova da Unidade Experimental de Pesquisa em Pequenos Ruminantes é formado por 60 fêmeas ($30,6 \pm 3,8$ kg de peso e $4,5 \pm 2,5$ anos de idade) e 5 reprodutores. As fêmeas são manejadas em áreas de pastagem nativa (*Caatinga*) das 6:00 às 16:00 h, quando retornam para o centro de manejo para receberem alimento volumoso (feno de capim elefante) e concentrado. Normalmente, a qualidade da interação homem-animal é de natureza positiva, breve e regular, nos momentos da oferta de alimento e liberação dos animais para as áreas de pasto. Em contrapartida, experiências negativas, breves e irregulares, ocorrem durante tratamentos veterinários (aplicação de medicamentos, vacinação, vermifugação e processos cirúrgicos), contenção para pesagem, medição de escore corporal, casqueamento, entre outros procedimentos invasivos.

2.2 Habituação e condicionamento de ovelhas Morada Nova para testes de calorimetria indireta com uso de máscaras faciais

Dezesseis ovelhas da raça Morada Nova com peso corporal de $32,6 \pm 1,8$ kg e $2,8 \pm 0,9$ anos de idade foram selecionadas e submetidas a um processo de habituação e condicionamento à contenção e ao uso de máscara facial para testes de calorimetria indireta. Em um primeiro momento, a uniformidade de peso e idade foram os critérios utilizados na seleção dos animais. A duração do período de treinamento foi de 83 dias, realizado diariamente por três pessoas, obedecendo a regularidade de horários em cada uma das etapas; as pessoas utilizavam vestimentas de cores claras (camisa branca e calça *jeans*), dirigindo-se

ao animal sempre com movimentos suaves e voz branda, evitando qualquer tipo de interação de natureza negativa. O processo de treinamento foi dividido em três etapas, quais sejam:

I) 1ª etapa: Com objetivo de reduzir a área de vida dos animais, as ovelhas selecionadas foram confinadas (9,0 m x 7,0 m) e suplementadas (volumoso e concentrado; CMS: 1,5 % do peso médio do lote) duas vezes no dia, sempre nos mesmos horários (06:00 e 16:00 h). Sete dias após o início desta fase, o próximo passo foi iniciar o processo de habituação e condicionamento ao local de colheita de dados, presença humana, contenção e uso da máscara facial. Para isso, as ovelhas eram conduzidas (07:00 h) calmamente a uma baia coletiva (3,0 m x 4,0 m; área coberta), onde permaneciam por aproximadamente sessenta minutos. No primeiro dia, os animais receberam um cabresto (peso: 0,60 kg; fig. 1 a); durante sessenta minutos, uma pessoa (altura: 1,69 m) ficava no centro da baia, sentada numa cadeira, interagindo com as ovelhas através de contatos tácteis positivos (acariciar as regiões do dorso e pescoço dos animais), sempre com movimentos suaves.

Por conseguinte, uma ovelha de cada vez era conduzida por uma segunda pessoa até uma balança (distância percorrida: $\cong$ 1 m), a mesma utilizada em procedimentos de rotina na unidade experimental; uma terceira pessoa colocava 30 g de ração num cocho adaptado, sendo o animal liberado para o curral de confinamento 3 minutos depois. A combinação desses eventos foi feita durante 10 dias, num total de 17 para primeira etapa do treinamento. Essa duração foi estabelecida com base nas reações dos animais; por exemplo, a ausência de comportamentos como tentativas de escape na balança, determinaram o término dessa fase.

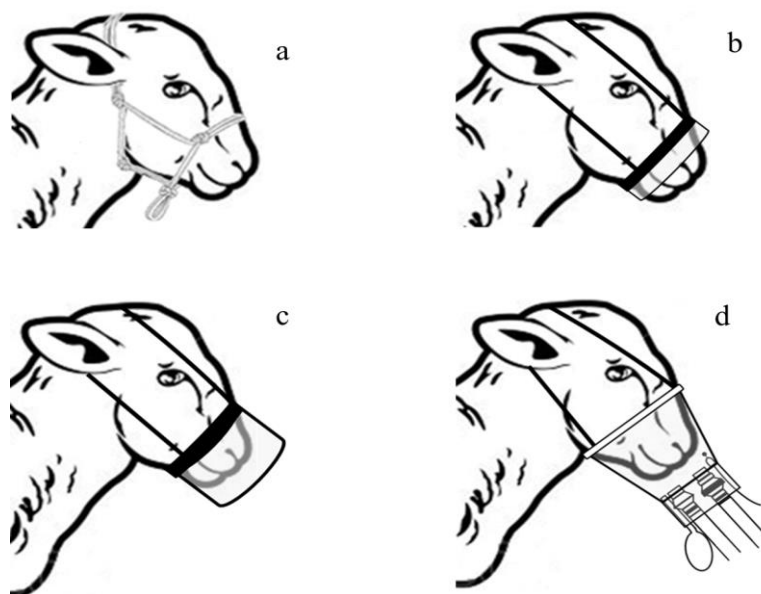


Figura 1: Protótipos e máscara facial utilizada durante o período de treinamento

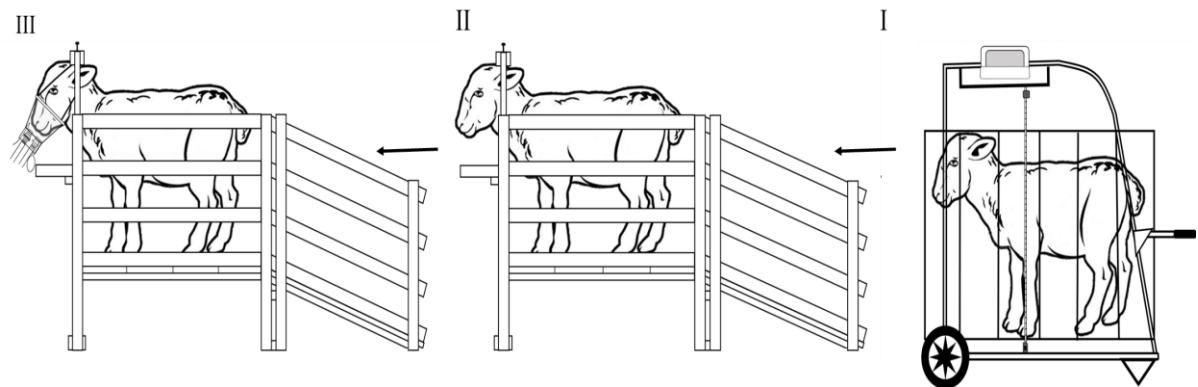


Figura 2: Balança e tronco de contenção utilizada durante as etapas de treinamento

II) 2ª etapa: Semelhante a primeira fase, às 07:00 h, as ovelhas eram conduzidas à baia coletiva; no primeiro dia, imediatamente a chegada dos animais, o cabresto foi substituído por um protótipo facial (Fig. 1 b → material suplementar pag. 129) feito de material plástico (garrafa tipo pet) e com uma fita elástica para fixá-lo na face da ovelha. Após um período de tempo, três ovelhas, uma por vez, eram conduzidas até a entrada de três troncos de contenção (Fig. 2 II); antes disso, o protótipo facial era retirado. A condução era feita de forma calma, colocando a mão embaixo do pescoço do animal. Na entrada do tronco, a ovelha que não subisse a rampa era estimulada pela técnica do *luring* ou por meio de força manual, finalizando com o fechamento da guilhotina; imediatamente, era ofertado um reforço positivo (ração concentrada; 30 g) colocada no cocho da parte frontal do tronco; o tempo de permanência das ovelhas no tronco de contenção variou entre 10, 20, 30, 40 e 50 minutos. Para cada intervalo, gastou-se, aproximadamente, 4 a 5 dias, num total de 24. A partir do 12º dia, o protótipo facial (Fig. 1 b) colocado nas ovelhas no momento que elas chegavam na baia coletiva (07:00 h), foi substituído por outro (Fig. 1 c → material suplementar pag. 129) de mesmo material, no entanto, com a parte frontal fechada e dois orifícios de entrada e saída de ar.

III) 3ª etapa: Durante este período, seguiu-se uma rotina semelhante às realizadas na 1ª e 2ª etapa. Como diferença, o protótipo facial não foi mais utilizado na chegada dos animais a baia (07:00 h). Por outro lado, quando a ovelha era levada para o tronco de contenção, após a oferta do alimento (reforço positivo), uma máscara facial (Peso: 0,300 kg → Fig. 2 III), desenhada de acordo com o modelo descrito por Maia et al. (2014), foi inserida no animal com auxílio de uma fita de náilon e velcro. O tempo de permanência no tronco com a máscara facial também variou de 10 a 50 minutos. Em cada intervalo (10, 20, 30, 40 e 50 minutos), foi

gasto, aproximadamente, 7 a 8 dias, num total de 42. Para a duração de 10 minutos, a ovelha permanecia no tronco por mais 40 sem a máscara; na de 20, mais 30 minutos no tronco sem a máscara, e assim por diante, até a permanência do animal durante 50 minutos com a máscara facial.

2.3 Repostas fisiológicas e comportamentais

A partir da 2ª etapa do treinamento, medidas fisiológicas e comportamentais foram registradas. Antes dos animais serem conduzidos ao tronco de contenção, a frequência respiratória (F , resp min⁻¹) foi quantificada por meio da observação visual nos movimentos do flanco; imediatamente a chegada ao tronco e fechamento da guilhotina, a F foi aferida mais uma vez e a cada cinco minutos. Na terceira etapa, repetiu-se o mesmo procedimento, no entanto, a F só foi quantificada dentro do intervalo que o animal estivesse com a máscara no tronco. A medida era realizada sempre pela mesma pessoa.

O comportamento das ovelhas foi registrado de forma contínua, direta e por amostragem animal focal (Martin e Bateson, 1986). No momento da subida no tronco, ao serem colocadas na entrada da rampa, observou-se as ovelhas que acessaram voluntariamente e subiram no tronco sem auxílio (E_{C1}) e as que demonstraram alguma resistência, necessitando de auxílio com alimento (*luring*) ou condução ativa (E_{C2}). No tronco, vocalizações e ocorrências de movimentos com a cabeça foram registradas (Tab. 1). Na 3ª etapa, os registros eram feitos apenas quando os animais estavam com a máscara facial.

Tabela 1: Medidas comportamentais

Comportamento	Descrição
	E_{C1} : Ovelha ao ser conduzida para entrada do tronco subia voluntariamente, sem auxílio.
Resistência na subida ao tronco de contenção	E_{C2} : Ovelha ao ser conduzida para entrada do tronco demonstrava certa resistência, necessitando de auxílio para a subida.
Vocalizações	Balidos de alta e baixa intensidade.
Movimentos com a cabeça	Movimentos rápidos com a cabeça para cima e para baixo, lateralmente, além de tentativas para soltar-se da guilhotina, foram sumarizados nesse comportamento.

2.4 Teste de reatividade na balança e aproximação em arena

Após o término do período de treinamento, a reatividade das ovelhas foi avaliada por meio de testes na balança e de aproximação em arena (Waiblinger et al., 2006 → Fig. 3). Para isso, outras dezesseis ovelhas do rebanho foram comparadas com as que foram submetidas ao processo de habituação e condicionamento. Os testes foram realizados em dois dias consecutivos; o primeiro, com as ovelhas não treinadas, e o segundo, com as ovelhas treinadas. Pela manhã (07:00 h), um grupo de animais foi conduzido para uma baia coletiva (2,5 m x 4,0 m) próximo da balança e da arena. Uma pessoa conduzia um animal de cada vez até a balança; durante 1 minuto, uma segunda pessoa registrava o comportamento da ovelha para classificação dos escores de reatividade (Tab. 2).

A ovelha saía da balança direto para arena; uma terceira pessoa (altura $\cong 1,75$ m) ficava em pé, estática, no centro de uma arena (área = 52 m² → Fig. 3). Em um primeiro momento, media-se a distância de aproximação a cada 20 segundos durante os 2 primeiros minutos. Após este período, a pessoa calmamente, em linha reta, dirigia-se até o animal, sendo medida a distância de aproximação três vezes num intervalo de mais dois minutos. Quadrados de 1 m foram pintados no chão da arena; assim, a distância de fuga foi estimada contando-se o número de quadrados entre a pessoa e o animal. Para o primeiro e segundo método, fazia-se uma média da distância de fuga para cada animal. Ademais, nos quatro minutos de teste, o número de vezes que o animal vocalizou foi registrado. Essas observações eram realizadas por uma terceira pessoa localizada fora da arena.

Tabela 2: Classificação dos escores de reatividade na balança

Classificação dos escores	Descrição
S _{C1} – Tranquilo	Animal relaxado e sem movimentos bruscos; postura normal (quartos traseiros não arqueados).
S _{C2} – Alerta	Orelha levantada, ocorrência de vocalizações de baixa intensidade (balidos com a boca fechada).
S _{C3} – Agitado	Quartos traseiros arqueados, tentativas de escape, vocalizações frequentes e com alta intensidade (balidos com a boca aberta, berros), cavar o chão da balança.

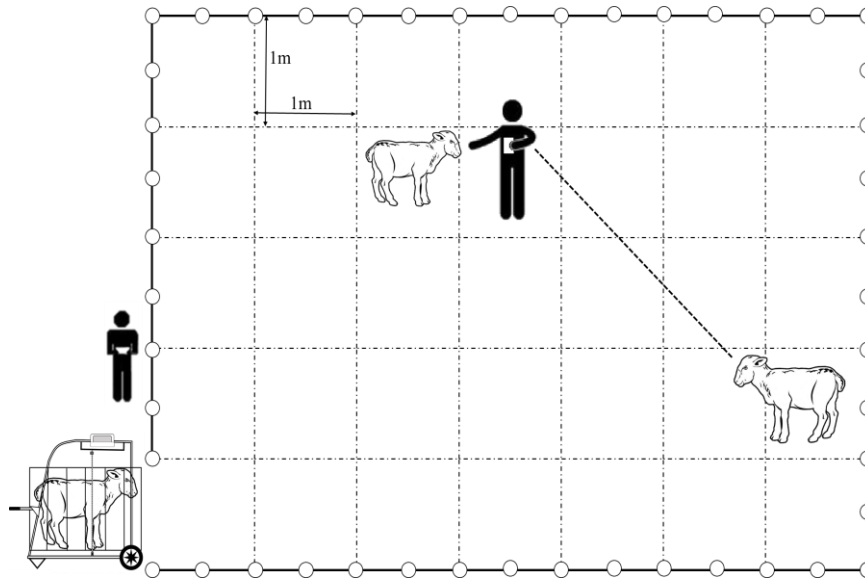


Figura 3: Layout da área utilizada no teste de reatividade e de aproximação

2.5 Análise estatística

Os dados foram coletados conforme um planejamento experimental inteiramente ao acaso e medidas repetidas no tempo. A condição de normalidade na distribuição foi checada pelos coeficientes de assimetria e curtose. Registros múltiplos da F foram tomados na mesma unidade experimental (animal) durante a 2ª e 3ª etapa do período de habituação e condicionamento, sendo analisados por modelos mistos (PROC Mixed), conforme descrito:

$$Y_{ijklmn} = \mu + S_i + T_j + D_k + D(T)_{jk} + A_l + E_m + e_{ijklmn}$$

onde Y_{ijklmn} é n -ésima observação da frequência respiratória do l -ésimo animal na i -ésima sequência e k -ésimo dia de avaliação, durante o j -ésimo tempo de permanência no tronco da m -ésima etapa do treinamento; S é o efeito fixo da i -ésima sequência de avaliação (i = antes e após a subida no tronco); T é o efeito fixo do j -ésimo tempo de permanência no tronco (j = 10, 20, 30, 40 e 50 minutos); D é o efeito aleatório do k -ésimo dia de treinamento (k = 1,2,3,4,...,83); $D(T)$ é o efeito aleatório do k -ésimo dia de treinamento dentro do j -ésimo tempo de permanência no tronco; A é o efeito fixo do l -ésimo animal (l = A_{n1} , A_{n2} , A_{n3} ,..., A_{n16}); E é o efeito fixo da m -ésima etapa do treinamento (m = 2ª e 3ª etapa); μ é a média paramétrica e e_{ijklmn} , o resíduo.

Medidas comportamentais não foram transformadas. Em vez disso, os efeitos do tempo de permanência no tronco (10, 20, 30, 40 e 50 minutos) e etapas de treinamento (2ª e 3ª etapa) sobre a frequência de vocalizações e o número de vezes que as ovelhas balançaram a

cabeça foram analisados por modelos lineares generalizados mistos (PROC Glimmix), considerando uma distribuição binomial negativa (Boykin et al., 2010). Ademais, modelos de regressão logística foram utilizados para testar a probabilidade de haver resistência no momento da subida no tronco como função do tempo de permanência do animal durante a 2ª e 3ª etapa de treinamento (Eyduran et al., 2005). Por fim, utilizaram-se modelos lineares generalizados para testar o efeito do processo de habituação e condicionamento sobre os escores de reatividade na balança (distribuição multinomial), frequência de vocalizações (distribuição binomial negativa) na arena e distância de aproximação (distribuição lognormal) em ovelhas treinadas e não treinadas. Na 3ª etapa do treinamento, com base na frequência de vocalizações e movimentos com a cabeça, os animais foram separados em 3 grupos no 1º e 2º componente principal com intuito de selecionar os animais menos reativos a contenção e uso da máscara facial. Todas as análises foram feitas utilizando o software estatístico SAS 9,3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, 2011).

3. Resultados

3.1 Respostas fisiológicas e comportamentais durante a 2ª e 3ª etapa do treinamento

A frequência respiratória (F) média observada das ovelhas na 2ª e 3ª etapa do treinamento foi de $17,12 \pm 0,9$ e $16,09 \pm 1$ resp min^{-1} , respectivamente. Nesses períodos, a medida da F antes e após o animal subir no tronco foi a mesma ($P > 0,05$). Quando o tempo de permanência aumentou de 10 para 50 minutos, a F não foi ($P > 0,05$; Fig. 4) alterada nas duas etapas de treinamento. Na 2ª etapa, gastou-se, em média, 4,5 dias para cada tempo de permanência no tronco (10, 20, 30, 40 e 50 minutos); conforme a análise de variância, não houve ($P > 0,05$) efeito dos dias de avaliação sobre a F . Na fase que os animais foram treinados ao tronco com a máscara facial (3ª etapa), a F não ($P > 0,05$) foi alterada com o passar dos dias. Para o efeito animal, uma variação mínima da F ($P > 0,05$) foi observada entre as ovelhas durante a 2ª e 3ª etapa.

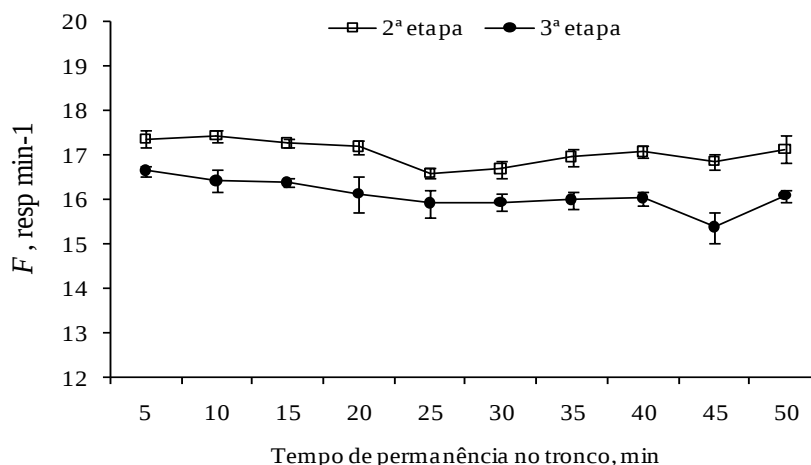


Figura 4: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da frequência respiratória das ovelhas na 2ª e 3ª etapa do treinamento.

A ocorrência média dos movimentos com a cabeça foi relativamente baixa, tanto na 2ª quanto 3ª etapa do treinamento (Fig. 5). Mesmo assim, na 2ª etapa, houve uma diminuição ($P < 0,05$) para esse comportamento em função do aumento no tempo de permanência dos animais no tronco (Fig. 5). No início da 3ª etapa (Tempo de permanência no tronco = 10 e 20 minutos), houve uma redução ($P < 0,05$) em comparação com mesmo período da etapa anterior. Nas duas etapas, quando o tempo de permanência no tronco atingiu 50 minutos, a expressão desse comportamento foi praticamente nula (Fig. 5). Ademais, observou-se uma constância na frequência de vocalizações ($P > 0,05$) em ambas as etapas de treinamento.

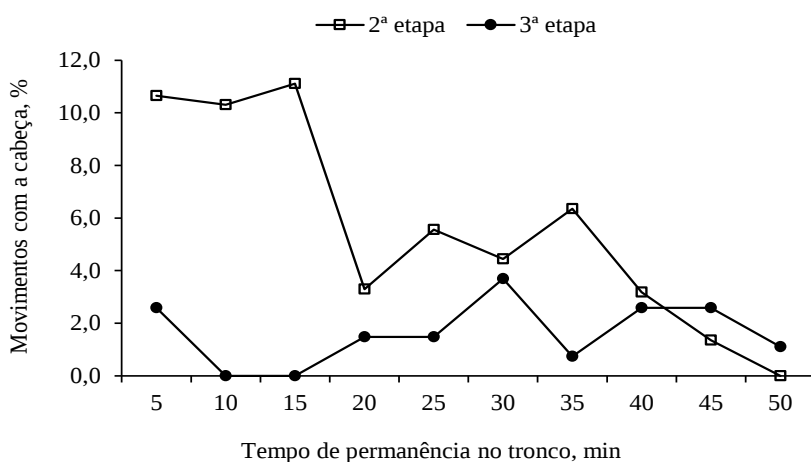


Figura 5: Movimentos com a cabeça no tronco de contenção.

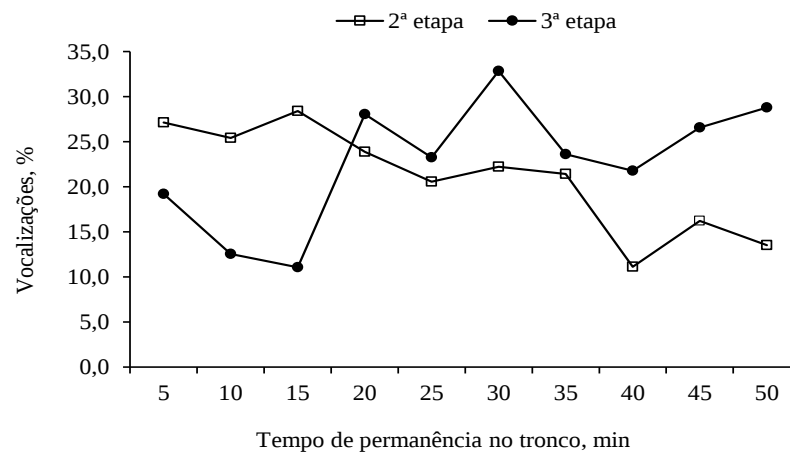


Figura 6: Vocalizações das ovelhas no tronco de contenção.

A probabilidade das ovelhas apresentarem resistência no momento da subida no tronco diminuiu ($P < 0,05$) conforme o aumento no tempo de permanência (Fig. 7). Na 2ª etapa, quando esse tempo aumentou de 10 ($\cong 29\%$) para 50 ($\cong 10\%$) minutos, houve redução na probabilidade dos animais rejeitarem a subida no tronco. Por conseguinte, na 3ª etapa, no período que as ovelhas foram treinadas a permanecerem por 50 minutos no tronco com a máscara facial, a probabilidade de elas rejeitarem a subida foi próxima de zero ($\cong 3\%$; Fig. 7). Nesse momento, todas as ovelhas acessaram voluntariamente o tronco de contenção sem a necessidade de auxílio. Mais adiante, nos experimentos realizados com o sistema de calorimetria indireta, registrou-se o momento que as ovelhas acessaram voluntariamente o tronco de contenção (material suplementar $\rightarrow$ pag. 129).

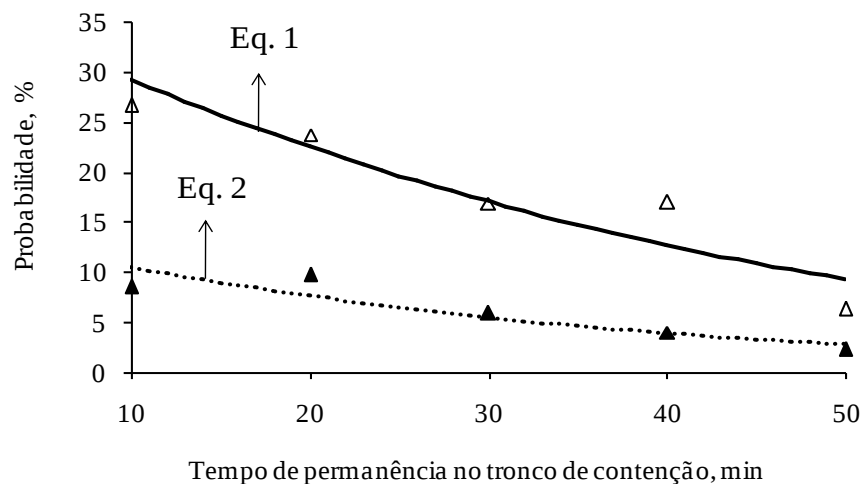


Figura 7: Probabilidade das ovelhas subirem no tronco sem a necessidade de auxílio humano; 2ª etapa do treinamento (Δ), 3ª etapa do treinamento ($\blacktriangle$).

$$Y_{(2^a \text{ etapa})} = \frac{e^{(0,5395 - 0,0347 \text{Tempo de permanência})}}{1 + e^{(-5395 - 0,0347 \text{Tempo de permanência})}} \quad \text{Eq. [1]}$$

$$Y_{(3^a \text{ etapa})} = \frac{e^{(-1,7861 - 0,03544 \text{Tempo de permanência})}}{1 + e^{(-1,7861 - 0,03544 \text{Tempo de permanência})}} \quad \text{Eq. [2]}$$

Durante a 3ª fase, por meio da frequência dos movimentos com a cabeça e vocalizações nos intervalos de 10, 20, 30, 40 e 50 minutos de permanência no tronco, uma análise de componentes principais foi feita para selecionar ovelhas menos reativas à contenção e ao uso da máscara facial. De acordo com a análise, as ovelhas foram classificadas em três grupos nos dois primeiros componentes principais, os quais representaram 67,33% de todas as variações em relação à variância das variáveis originais (Fig. 8). Em um desses grupos, o número de ocorrências para esses comportamentos foi quase nulo, sendo essa condição constante à medida que o tempo de permanência no tronco aumentou. Nesse grupo, as doze ovelhas foram escolhidas para serem utilizadas nos testes com o sistema de calorimetria indireta. No outro grupo, dois animais (A_{n5} e A_{n2}) aumentaram substancialmente a frequência de vocalizações e movimentos com a cabeça. Por fim, em um animal (A_{n13}), a expressão desses comportamentos aumentou de forma suave.

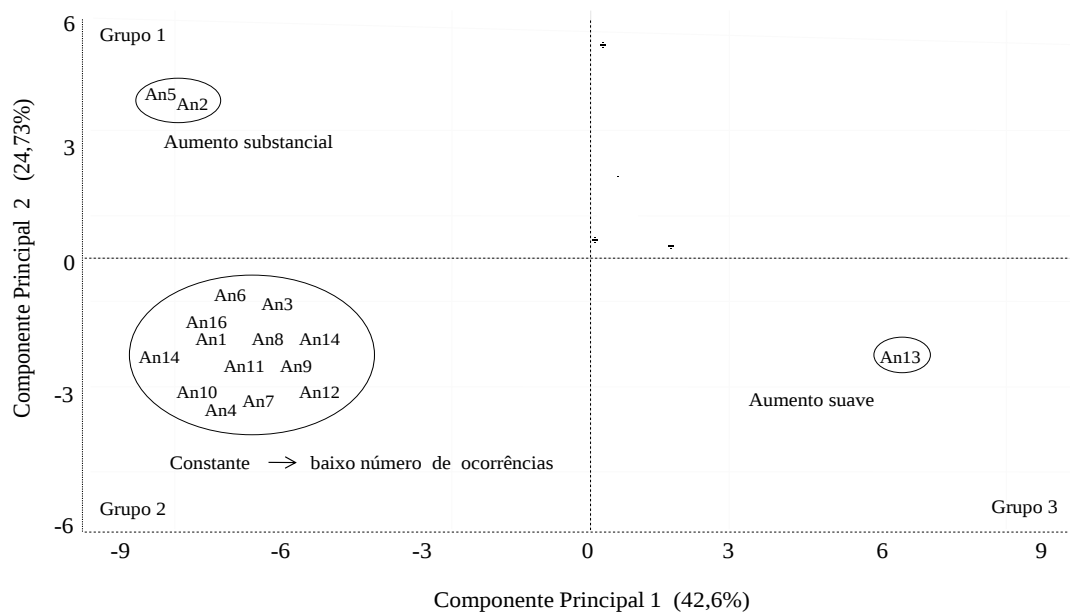


Figura 8: Bi-plot das ovelhas nos dois componentes principais.

3.2 Teste de reatividade na balança e aproximação em arena

No teste de reatividade na balança, 90% das ovelhas que foram submetidas ao período de habituação e condicionamento expressaram comportamentos que indicaram ausência de medo (S_{C1} ; $P < 0,05$; Tab.3). Por outro lado, 55% e 29% das que não foram treinadas estavam em estado de alerta (S_{C2}) e agitadas (S_{C3}), respectivamente.

Tabela 3: Probabilidade cumulativa (%) para os escores do teste de reatividade na balança.

Medida	Treinadas	Não Treinadas	<i>p</i>
Estado, %			
S_{C1}	90a	16b	0,001
S_{C2}	10b	55 ^a	
S_{C3}	0b	29 ^a	

A média para distância de aproximação de ovelhas treinadas e não treinada foi a mesma ($P > 0,05$) nos primeiros dois minutos de avaliação na arena (Tab. 4). No entanto, quando a pessoa no centro da arena realizou o movimento em linha reta na direção da ovelha, a distância de aproximação média foi maior para o grupo de animais que não recebeu treinamento.

Tabela 4: Distância de aproximação de ovelhas treinadas e não treinadas.

Distância de aproximação, m	Método		<i>p</i>		
	1†	2‡	Treinamento	Método	Interação
Treinadas	3,95a	1,19b	0,001	0,001	0,001
Não treinadas	4,41a	3,01a			

† posição estática; ‡ movimento direcional.

4. Discussão

O propósito desse estudo foi desenvolver e descrever todas as etapas da habituação e condicionamento de ovelhas Morada Nova para serem utilizadas em testes de calorimetria indireta com uso de máscaras faciais e verificar o efeito desse treinamento na reatividade dos animais. De uma forma geral, o processo foi dividido em três etapas, as quais consistiram numa alteração gradual no "ambiente" do animal utilizando os princípios da repetição, regularidade e associação com estímulos positivos, sendo esses, as bases da habituação e do condicionamento (Yamamoto e Volpato, 2007; Broom e Fraser, 2010).

A falta de controle no ambiente e a presença humana são fatores que induzem a ativação de respostas autônomas do medo. No entanto, quando uma condição aversiva (presença humana → isolamento → contenção) é pareada com experiências positivas, essas respostas podem desaparecer (Murphy e Duncan, 1977; De Passilé et al., 1996). Na 1ª etapa do treinamento, durante dez dias consecutivos, associou-se o ambiente de colheita de dados e a presença humana com interações tácteis e outros estímulos positivos (manejo gentil). Além disso, a presença humana e a contenção na balança foram pareadas com a oferta de alimento. Em estudos com ovinos da raça Morada Nova e Santa Inês, Freitas (2014) verificou que o estímulo tátil positivo e o deslocamento com auxílio do cabresto durante 15 dias consecutivos foram eficazes em tornar os animais menos reativos a humanos e mais fáceis de serem manejados.

Não foram feitos registros dos possíveis efeitos positivos da primeira etapa de treinamento sobre a reatividade das ovelhas. A partir da 2ª fase de treinamento, medidas fisiológicas e comportamentais foram utilizadas como indicadores das respostas aversivas dos animais. A relação do estado emotivo do animal e alterações no padrão cardiorrespiratório é bem discutida na literatura (Boiten et al., 1994; Rainville et al., 2006; Maia et al., 2014). De acordo com os nossos achados, a taxa respiratória das ovelhas não foi alterada quando o tempo de permanência no tronco aumentou de 10 para 50 minutos, sendo um forte indício da baixa reatividade dos animais à contenção; possivelmente, os efeitos positivos da primeira etapa de treinamento podem ter sido a causa. No entanto, os movimentos com a cabeça (principalmente na tentativa de retirarem da guilhotina) foram reduzidos com o aumento do tempo de permanência no tronco, bem como a probabilidade das ovelhas apresentarem alguma resistência no momento da entrada.

Na terceira etapa do treinamento, um estímulo (máscara facial que iria ser utilizada nos testes de calorimetria indireta) a mais foi adicionado ao ambiente do animal. A esse "novo" ambiente, respostas fisiológicas e comportamentais das ovelhas seguiram praticamente o mesmo padrão das observadas durante a 2ª etapa. Por exemplo, a probabilidade das ovelhas serem contidas sem a necessidade de auxílio humano chegou próxima dos 100 % quando o tempo de permanência no tronco com a máscara facial alcançou os 50 minutos. Ademais, com o término do período de treinamento, foi possível observar uma diminuição na reatividade dessas ovelhas em relação a outras do rebanho que não foram submetidas ao processo de habituação e condicionamento.

Aspectos práticos importantes da habituação e do condicionamento estão relacionados à diminuição das respostas de animais de produção a vários tipos de procedimentos de manejo

(Kilgour, 1987; Hotzel et al., 2005; Broom e Fraser, 2010; Probst et al., 2013; Freitas, 2014; Wickham et al., 2015). Por exemplo, a oferta de alimento no momento da contenção facilitou o manejo de ovinos durante a tosquia (Hutson, 1985). Os princípios do condicionamento operante foram utilizados por Grandin (1989) para treinar ovinos da raça Merino a aceitarem voluntariamente uma mesa de contenção onde eram realizados procedimentos de casqueamento e tosquia; esse autor observou que, após quatro semanas do pareamento da contenção com o alimento, todos os cordeiros aceitaram ser contidos sem resistência alguma.

Um dos fatores que mais limitam a confiabilidade de medidas tomadas em ambiente de laboratório é a influência das reações do animal em resposta a presença de algum agente estressor. Como exemplo, ao utilizar um sistema de calorimetria indireta com dispositivos faciais para ovinos Cheviot (*Ovis aries*), Brockway e McEvan (1969) atribuíram as falhas no ajuste de uma função do consumo de O₂ com a frequência de batimentos cardíacos ao estado de medo dos animais no momento das coletas. Esses autores descreveram que o tempo de seis meses de habituação ao sistema foi insuficiente para diminuir a reatividade dos animais. No presente estudo, um período de 83 dias foi suficiente para habituar e condicionar ovelhas da raça Morada Nova a aceitarem de forma voluntária à contenção e permanecerem por até 50 minutos com uma máscara facial sem alterações comportamentais ou fisiológicas que pudesse indicar algum estado emotivo negativo.

A forma como cada animal reage ou percebe um determinado estímulo no ambiente reflete nas diferenças individuais (temperamento) quanto à capacidade de aprendizagem, definindo assim, a demanda temporal para o treinamento em cada situação. Como exemplo, respostas aversivas em caprinos e ovinos criados extensivamente e submetidos ao manejo gentil quando confinados persistiram por até 12 meses (Moore e Armstrey, 1962). Camerro et al. (2016) gastaram aproximadamente 8 meses de treinamento para condicionar novilhos da raça Guzerá à contenção e ao uso da máscara facial para testes de calorimetria indireta. Por outro lado, respostas aversivas de ovinos da raça Merino ao transporte diminuíram substancialmente após um período curto de oito dias de habituação (Stockman et al., 2011). Portanto, para cada condição de ambiente, genótipo e propósito, diferentes estratégias de treinamento podem ser utilizadas para diminuir as reações dos animais em resposta aos estímulos percebidos como aversivos, desde que, os princípios da repetição, regularidade e associação com estímulos positivos sejam obedecidos.

5. Conclusão

- Uma metodologia de habituação e condicionamento de ovinos para testes de calorimetria indireta com uso de máscaras faciais foi desenvolvida.
- O processo de habituação e condicionamento à contenção e ao uso de máscara facial diminui a reatividade de ovelhas da raça Morada Nova.

6. Literatura citada

BENNETT, J. W. The maximum metabolic response of sheep to cold: effects of rectal temperature, shearing, feed consumption, body posture, and body weight. **Crop and Pasture Science**, v. 23, n. 6, p. 1045-1058, jul. 1972.

BOISSY, A.; L. E NEINDRE, P. Social influences on the reactivity of heifers: implications for learning abilities in operant conditioning. **Applied animal behaviour science**, v. 25, n. 1, p. 149-165, jan. 1990.

BOITEN, F. A. et al. Emotions and respiratory patterns: review and critical analysis. **International Journal of Psychophysiology**, v. 17, n. 2, p. 103-128, 1994.

BOYKIN, D. et al. Generalized linear mixed model estimation using Proc Glimmix: Results from simulations when the data and model match, and when the model is misspecified. 2010.

BROCKWAY, J. M.; MCEWAN, E. H. Oxygen uptake and cardiac performance in the sheep. **The Journal of Physiology**, v. 202, n. 3, p. 661-669, jan. 1969.

BROOM, D. M.; FRASER, A. F. **Domestic animal behaviour and welfare**. Manole São Paulo 4. ed. p. 452, 2010.

BROSH, A. et al. Energy cost of cows' grazing activity: Use of the heart rate method and the Global Positioning System for direct field estimation. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 7, p. 1951-1967, fev. 2006.

CAMERRO, L. Z. et al. Thermal equilibrium responses in Guzerat cattle raised under tropical conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 60, p. 213-221, jul. 2016.

CLAY, A. W. et al. Habituation and desensitization as methods for reducing fearful behavior in singly housed rhesus macaques. **American Journal of Primatology**, v. 71, n. 1, p. 30-39, jan. 2009.

DE PASSILLÉ, A. M. et al. Dairy calves' discrimination of people based on previous handling. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 5, p. 969-974, 1996.

DÉSIRÉ, L.; BOISSY, A.; VEISSIER, L. Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. **Behavioural processes**, v. 60, n. 2, p. 165-180, fev. 2002.

EYDURAN, E. et al. Using of logistic regression in Animal Science. **Journal of Applied Sciences**, v. 5, p. 1753-1756, 2005.

FREITAS, A. C. B. **Avaliação do temperamento de ovinos com treinamento de estímulo tátil e deslocamento com auxílio de cabresto**. (Mestrado em Produção Animal Sustentável). Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios–Instituto de Zootecnia, São Paulo, 73 f. 2014.

GRANDIN, T. Assessment of stress during handling and transport. **Journal of animal science**, v. 75, n. 1, p. 249-257, 1997.

GRANDIN, T. Voluntary acceptance of restraint by sheep. **Applied Animal Behavioral Science**. v.23, p.257-261. 1989.

HEMSWORTH, P. H.; VERGE, J.; COLEMAN, G. J. Conditioned approach-avoidance responses to humans: the ability of pigs to associate feeding and aversive social experiences in the presence of humans with humans. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 50, n. 1, p. 71-82, 1996.

HEMSWORTH, P. H.; VERGE, J.; COLEMAN, G. J. Conditioned approach-avoidance responses to humans: the ability of pigs to associate feeding and aversive social experiences in the presence of humans with humans. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 50, n. 1, p. 71-82, fev. 1996.

HÖTZEL, M.J. et al. Influência de um ordenhador aversivo sobre a produção leiteira de vacas da raça holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1278-1284, 2005.

HUTSON, G. D. The effect of previous experience on sheep movement through yards. **Applied Animal Ethology**, v. 6, n. 3, p. 233-240, 1980.

HUTSON, G. D. The influence of barley food rewards on sheep movement through a handling system. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 14, n. 3, p. 263-273, 1985.

KELLY, J. M. et al. Development of a mobile, open-circuit indirect calorimetry system. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 74, n. 1, p. 65-71, jan. 1993.

KILGOUR, R. Learning and the training of farm animals. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 3, n. 2, p. 269-284, 1987.

LACHICA, M.; AGUILERA, J. F. Methods to estimate the energy expenditure of goats: From the lab to the field. **Small Ruminant Research**, v. 79, n. 2, p. 179-182, jul. 2008.

MAIA, A. S. C. et al. Development of Facial Masks for Indirect Calorimetric Studies for Livestock. In: **Montreal, Quebec Canada July 13–July 16**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1-3, 2014.

MAIA, A. S. C. et al. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 58, p. 43-49, mar. 2016.

MAIA, A. S. C. et al. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 8, p. 1025-1033, out. 2014.

MARTIN, P.; BATESON, P. 1986. **Measuring Behaviour-An Introductory Guide**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1986. 200p.

MATEO, J. M.; ESTEP, D. Q.; MCCANN, J. S. Effects of differential handling on the behaviour of domestic ewes (*Ovis aries*). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 32, n. 1, p. 45-54, mar. 1991.

MOORE, A. U.; AMSTEY, M. S. Tonic immobility: Differences in susceptibility of experimental and normal sheep and goats. **Science**, v. 135, n. 3505, p. 729-730, 1962.

MORMÈDE, P. et al. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. **Physiology & behavior**, v. 92, n. 3, p. 317-339, jan. 2007.

MURPHY, L. B.; DUNCAN, I. J. H. Attempts to modify the responses of domestic fowl towards human beings. I. The association of human contact with a food reward. **Applied Animal Ethology**, v. 3, n. 4, p. 321-334, 1977.

PROBST, J. K. et al. Influence of gentle touching applied few weeks before slaughter on avoidance distance and slaughter stress in finishing cattle. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 144, p. 14– 21, 2013.

RAINVILLE, P. et al. Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. **International Journal of Psychophysiology**, v. 61, n. 1, p. 5-18, jan. 2006.

RUSHEN, J.; TAYLOR, A. A.; PASSILLÉ, A. M. Domestic animals' fear of humans and its effect on their welfare. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 65, n. 3, p. 285-303, 1999.

SLATER, H. et al. Individually customisable non-invasive head immobilisation system for non-human primates with an option for voluntary engagement. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 269, p. 46-60, maio. 2016.

STOCKMAN, C. A. et al. Qualitative behavioural assessment of cattle naïve and habituated to road transport. **Animal Production Science**, v. 51. P.240–249. 2011.

VERBEEK, E. et al. Measurement of feeding motivation in sheep and the effects of food restriction. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 132, n. 3, p. 121-130, mar. 2011.

WAIBLINGER, S. et al. Assessing the human–animal relationship in farmed species: a critical review. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 101, n. 3, p. 185-242, fev. 2006.

WICKHAM, S. L. et al. Validating the Use of Qualitative Behavioral Assessment as a Measure of the Welfare of Sheep During Transport. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, v. 18, n. 3, p. 269-286, 2015.

YAMAMOTO, M. E.; VOLPATO, G. L. **Comportamento Animal**. Natal, RN: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

CAPÍTULO III

VARIAÇÃO CIRCADIANA NA TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

VARIAÇÃO CIRCADIANA NA TERMORREGULAÇÃO DE OVINOS MORADA NOVA

Resumo: Objetivou-se avaliar a variação circadiana na termorregulação de ovinos Morada Nova numa região de clima semiárido. Doze ovelhas Morada Nova com peso de $32,76 \pm 3,72$ kg foram distribuídas em dois quadrados latino 12×12 (24 dias de registros e 24 horários). As ovelhas foram avaliadas das 07:00 às 18:00 h (Q_{L1}) e das 19:00 às 06:00 h (Q_{L2}), mantidas na sombra e abrigadas durante a noite. A taxa de ventilação pulmonar (V_E), frequência respiratória (F), temperatura (T_E), pressão de vapor ($e[T_E]$), percentual de oxigênio (O_2) e dióxido de carbono (CO_2) do ar expirado foram quantificados por meio de um sistema de calorimetria indireta com uso de máscara facial. Os componentes do balanço de calor dos animais foram quantificados de acordo com os princípios da lei de conservação de energia. No intervalo de 00:00 às 06:00 h, a transferência de calor sensível chegou a ser duas vezes maior que o calor produzido pelo metabolismo. O fluxo de calor sensível diminuiu ($P < 0,05$) com o aumento da temperatura do ar; de outro modo, uma relação ($P < 0,05$) inversa pôde explicar a variação na quantidade de calor latente transferido através do trato respiratório. Em temperaturas acima de 33°C , o fluxo de calor latente passou a ser o principal caminho para o resfriamento corporal. Na faixa de 22 a 31°C , o balanço de calor de ovelhas Morada Nova protegidas da radiação solar, vento e chuva é mantido numa condição de mínimo esforço termorregulatório.

Palavras-chave: amplitude térmica, calor sensível, limite crítico superior, transferência de calor latente

CICARDIAN VARIATION IN THE THERMOREGULATION OF MORADA NOVA SHEEP

Abstract: This study aimed to evaluate the circadian variation in the thermal balance of Morada Nova ewes in a semiarid climate. Twelve Morada Nova sheep with 32.76 ± 3.72 kg body weight were distributed in two Latin squares 12 x 12 (24 day records and 24 hours). The sheep were evaluated from 07:00 to 18:00 (Q_{L1}) and from 19:00 to 06:00 hours (Q_{L2}), kept in the shade and sheltered overnight. The ventilation rate (V_E), breathing rate (F), temperature (T_E), the vapor pressure (and $[T_E]$), percentage of oxygen (O_2) and carbon dioxide (CO_2) from the exhaled air were quantified by an indirect calorimetry system with the use of facial mask. The animal thermal equilibrium was quantified according to the principles of energy conservation law. In the range of 00:00 to 06:00, the sensible heat flow was twice that produced by metabolism. The sensible heat flow decreased ($P < 0.05$) with increasing air temperature; otherwise, a reverse relationship ($P < 0.05$) could explain the variation in the amount of heat transferred through the respiratory tract. At temperatures above $33^\circ C$, the latent heat flux became the main pathway body cooling. In the range $22-30^\circ C$, a minimum thermoregulatory effort is observed in Morada Nova sheep protected from solar radiation, wind and rain.

Keywords: thermal amplitude, sensible heat, upper critical limit, latent heat transfer

1. Introdução

O Morada Nova (*Ovis aries*) é uma raça de ovinos presente na região semiárida do Brasil que sofreu ação seletiva natural em condições extensivas de criação, tornando-se importante recurso genético para os pequenos produtores locais (Selaive-Villaroel et al., 2008; Ribeiro et al., 2014; Shiotsuki et al., 2016). São animais de pequeno tamanho corporal e superfície cutânea com baixa resistência à transferência de calor (Muniz et al., 2016), o que os tornam mais sensíveis às variações do ambiente térmico quando comparados com outras raças de grande porte.

Climas tropicais semiáridos são caracterizados por seus altos níveis de temperatura e radiação solar, sendo esses, os principais desafios a homeotermia animal mencionados pela maioria dos estudos sobre termorregulação (McManus et al., 2011; Ribeiro e Gonzalez Garcia, 2016). Entretanto, uma condição pouco discutida diz respeito à elevada amplitude térmica diária dessas regiões, a qual pode alcançar os 20 °C (Lowe et al., 2001; Fonsêca et al., 2014); nesse cenário, a transferência de calor sensível pode exceder a quantidade produzida pelo metabolismo animal nos horários de temperaturas mais baixas. Assim, o balanço de energia térmica deve ser ajustado para duas situações, ora, evitando o rápido aquecimento corporal, e durante a noite, encontrando meios para conservar e não perder calor em excesso para o ambiente.

Não há informações na literatura acerca dos processos de transferência de calor e massa de ovinos deslanados criados nas regiões tropicais semiáridas. Questionamentos sobre quando os custos com a homeotermia começam a aumentar para esses animais, definindo uma faixa de temperatura de mínimo esforço termorregulatório, podem direcionar as intervenções necessárias no ambiente de criação. Para responder a essas questões, o conceito da primeira lei da termodinâmica (conservação de energia), na qual a taxa de variação de energia em um volume controle é devido a taxa de entrada de energia acrescida à gerada pelo metabolismo, menos a taxa de saída de energia, é normalmente aplicado (Incropera e DeWitt, 1998). Nesse sentido, os propósitos deste estudo foram:

- I) Determinar a variação circadiana no balanço de calor de ovinos Morada Nova em região de clima tropical semiárido.
- II) Definir a faixa de mínimo esforço termorregulatório para ovinos Morada Nova mantidos na sombra e abrigados de chuva e vento.

2. Material e Métodos

2.1 Desenho experimental e manejo dos animais

O estudo foi conduzido na Unidade de Pesquisa em Pequenos Ruminantes da UFPB (07 ° S, 36 ° W, 458 m de altitude) de abril a maio de 2015. Doze ovelhas da raça Morada Nova com idade de $3 \pm 1,2$ anos e $32,76 \pm 3,72$ kg de peso foram distribuídas em dois arranjos de quadrado latino 12×12 (24 dias e 24 horários de avaliação). Em um primeiro momento (Q_{L1}), as ovelhas foram avaliadas das 07:00 às 18:00 horas protegidas da radiação (Material suplementar → pag. 130); medidas fisiológicas foram registradas no primeiro animal das 07:00 às 08:00 h, segundo entre 08:00 e 09:00 h, e assim por diante, até o último ser avaliado das 18:00 às 19:00. Posteriormente, os mesmos animais foram avaliados das 19:00 às 06:00 h (Q_{L2}) abrigados de vento e chuva; o primeiro registro foi feito das 19:00 às 20:00 h, o segundo entre 20:00 e 21:00 h, e assim por diante, até o último ser realizado entre 06:00 e 07:00 h (Fig. 1). Na fase de coleta noturna, os animais permaneceram na sombra durante o dia.

		Horários																																					
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18													19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06		
D ₁	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	D ₁₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	D ₁₄	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	
D ₂	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	D ₁₄	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	D ₁₅	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	
D ₃	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	D ₁₅	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	D ₁₆	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	
D ₄	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	D ₁₆	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	D ₁₇	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	
D ₅	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	D ₁₇	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	D ₁₈	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	
D ₆	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	D ₁₈	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	D ₁₉	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	
D ₇	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	D ₁₉	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	D ₂₀	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	
D ₈	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	D ₂₀	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	D ₂₁	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	
D ₉	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	D ₂₁	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	D ₂₂	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	
D ₁₀	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	D ₂₂	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	D ₂₃	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	
D ₁₁	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	D ₂₃	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	D ₂₄	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	
D ₁₂	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	D ₂₄	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁														

Figura 1: Diagrama do arranjo experimental; (D₁,...,D₂₄ → dias de avaliação; A₁,...,A₁₂ → animais).

As ovelhas foram alimentadas numa baia coletiva duas vezes (Q_{L1} → 05:30 e 19:30 h; Q_{L2} → 07:30 e 18:00) com dietas contendo volumoso (Feno de capim-elefante) e concentrado (Milho, soja, trigo e suplementação mineral) numa proporção de 74:26. A água foi fornecida *ad libitum* e o consumo diário de matéria seca, calculado para 1,5 % do peso vivo médio das ovelhas.

2.2 Medidas ambientais

A temperatura do ar (T_{ar} °C), temperatura de globo negro (T_{GN} °C) e umidade relativa (U_{R} %) foram registradas em intervalos regulares de 10 segundos por meio de um datalogger (modelo HOBO, onset), enquanto que, a pressão parcial de vapor da atmosfera ($e[\text{Tar}]$ kPa) foi medida utilizando um analisador de vapor externo (RH - 300, Sable System, USA). A T_{GN} foi obtida com um termopar (Tipo K) inserido no centro de uma esfera oca de cobre com 0,15 m de diâmetro, posicionado próximo dos animais, numa altura de 50 cm do piso. De posse da T_{GN} , foi calculada a temperatura radiante média (T_{RM} ; K) conforme Silva et al. (2010).

2.3 Variáveis fisiológicas

A taxa de ventilação pulmonar (V_{E} , L s⁻¹), frequência respiratória (F , resp min⁻¹), temperatura do ar expirado (T_{E} , °C), pressão parcial de vapor do ar expirado (kPa, $e[\text{T}_{\text{E}}]$), percentual de oxigênio (% O_2) e dióxido de carbono (% CO_2) do ar expirado foram quantificadas por meio de um sistema de calorimetria indireta utilizando máscaras faciais (Maia et al., 2016; Fig. 2); medidas da temperatura do pelame (°C, T_{S}), epiderme (°C, T_{EP}) e retal (°C, T_{R}) também foram registradas.

Para colheita dos dados, o animal era conduzido ao tronco de contenção, e os registros feitos durante 50 minutos. Previamente, as ovelhas utilizadas foram habituadas e condicionadas a contenção e ao uso da máscara facial conforme descrito por Fonsêca et al. (2016; em preparação). A máscara foi desenhada para que o volume do espaço ventilado morto fosse próximo de zero ($V_{\text{M}} \rightarrow 0$), não interferindo na concentração verdadeira dos gases expirados (Mc Lean, 1963; Maia et al., 2014).

2.3.1 Descrição do sistema de calorimetria indireta e medidas fisiológicas

Durante cada respiração, o ar inspirado e expirado foi carregado por duas válvulas (Fig. 2). O ar expirado que saía da máscara facial era direcionado através de um tubo traqueal (MLA 1015 Breathing Tube, ADInstruments, Austrália) para um misturador de gás (MLA246, ADInstruments, Austrália), o qual era conectado a um sistema metabólico portátil (FMS - 1201-05, Sable System, USA) por meio de uma mangueira plástica (Bevaline Tubing, Sable System, USA). Uma amostra (150 mL/min) desse ar foi continuamente sugada por uma

bomba aspirante no FMS, direcionando-o para análise dos gases (H_2O , O_2 , CO_2). Primeiro, a amostra de ar passava pelo analisador de vapor de H_2O , sendo seco por uma coluna de dissecante (Perclorato de magnésio - $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$), antes de seguir para os analisadores de O_2 e CO_2 ; assim, registros da pressão de vapor ($e[\text{T}_\text{E}]$; kPa) e dos percentuais de O_2 e CO_2 no ar expirado foram feitos. Um cabeçal de fluxo (MLT 1000, ADInstruments, Austrália) na porção final do misturador de ar era inter-ligado a um espirômetro (ML 141, ADInstruments, Australia) para medidas da frequência respiratória (F , min^{-1}), ventilação (V_E , L s^{-1}) e do volume respiratório corrente (V_RC , L resp^{-1}).

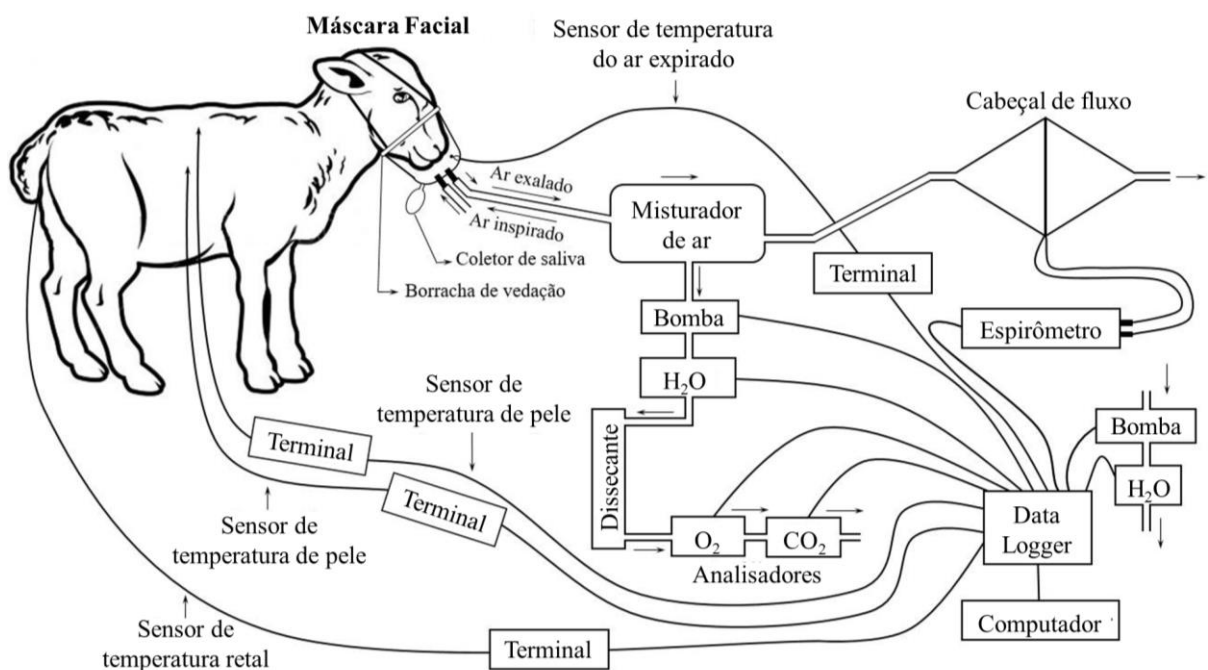


Figura 2: Sistema de calorimetria indireta.

Os percentuais de oxigênio ($\text{O}_{2\text{A}}$) e dióxido de carbono ($\text{CO}_{2\text{A}}$) da atmosfera foram registrados pelo FMS. Estas medidas eram realizadas todas as vezes que o animal estava com a máscara facial. Ademais, um outro analisador de vapor H_2O (RH-300, Sable System, USA) externo, conectado a uma bomba aspirante (SS4, Sable System, USA), retirava uma amostra de ar (150 ml min^{-1}) próxima a máscara facial para quantificar a pressão parcial de vapor da atmosfera ($e[\text{Tar}]$).

Um sensor de temperatura do tipo termopar (MLT 415/AL, ADInstruments, Australia, acurácia: $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$, tempo de resposta: 15 s) foi inserido no interior da máscara para medida da temperatura do ar expirado (T_E , $^\circ\text{C}$). Ademais, um sensor de temperatura do tipo termopar (MLT 1403, ADInstruments, Australia, acurácia: $\pm 0,10 \text{ }^\circ\text{C}$, tempo de resposta: 0,8 s) foi

colocado na cavidade retal (± 8 cm) e outros dois (MLT 422A, ADInstruments, Australia, acurácia: $\pm 0,3$ °C, altura x diâmetro: 4 x 9,7 mm, tempo de resposta: 45 s) fixados na superfície do pelame da pele para medidas da T_R , T_S e T_{EP} (°C), respectivamente. A T_{EP} foi obtida raspando-se os pelos numa área de 2 cm², expondo a epiderme para fixar o sensor (Material suplementar → pag.130). Por fim, um sistema de aquisição de dados (PowerLab 8/32, ADInstruments, Australia), conectado a um computador, registraram e armazenaram todas as medidas a cada segundo.

2.4 Componentes do balanço de calor

O balanço de calor dos animais foi quantificado de acordo com os princípios da lei de conservação de energia (Incropera e DeWitt, 1998) utilizando as equações descritas por Silva e Maia (2013).

2.4.1 Produção de calor metabólico

A taxa de ventilação pulmonar (V_E) e os volumes de oxigênio (VO_2) consumido e dióxido de carbono produzido (VCO_2) foram calculados de acordo com McLean (1972), utilizando as transformações de Haldane para ajuste de medidas nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP):

$$VO_2 = V_E \left[O_{2A} \left(\frac{1 - O_{2E} - CO_{2E}}{1 - O_{2A} - CO_{2A}} \right) - O_{2E} \right] \text{ L s}^{-1} \quad [1]$$

$$VCO_2 = V_E \left[CO_{2E} - CO_{2A} \left(\frac{1 - O_{2A} - CO_{2A}}{1 - O_{2E} - CO_{2E}} \right) \right] \text{ L s}^{-1} \quad [2]$$

$$q''_{\text{met}} = \frac{16180(VO_2) + 5160(VCO_2)}{A}, \text{ W m}^{-2} \quad [3]$$

em que, A é a área de superfície do animal, estimada como função do peso corporal de acordo com Bennett (1973; $A = 0,171P^{-0,5025}$, m²); P é o peso do animal (kg); Q_{O_2} (16180) e Q_{CO_2}

(5160), são os coeficientes calóricos do O₂ e CO₂, respectivamente (J.L⁻¹; Schmidt-Nielsen, 2002).

2.4.2 Transferência de calor sensível

Radiação de ondas longas

A troca de calor pela radiação de ondas longas (q''_{RL}) foi calculada de acordo com os princípios da lei de *Stefan-Boltzman*, a qual descreve que a potência emissiva da radiação emitida por um corpo negro é proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta:

$$q''_{RL} = \varepsilon \sigma (T_S^4 - T_{RM}^4) \quad \text{W m}^{-2} \quad [4]$$

em que, ε é a emissividade para tecidos biológicos (Steketee, 1973); σ ($5,67051 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) é a constante de *Stefan-Boltzmann*; T_S (K) é a temperatura da superfície do pelame; T_{RM} (K) é a temperatura radiante média.

Convecção natural

A transferência de calor por convecção (q''_{conv}) foi quantificada conforme a lei do resfriamento de Newton (Incropera e DeWitt, 1998):

$$q''_{conv} = h_c (T_S - T_{ar}) \quad \text{W m}^{-2} \quad [5]$$

em que, h_c é o coeficiente de convecção ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$); T_S é temperatura da superfície do pelame (K); para o cálculo do coeficiente de convecção natural (h_c), assumiu-se como modelo animal, um cilindro horizontal. No local de coleta, considerou-se a ventilação como nula ($v < 0,3 \text{ m s}^{-1}$). Por fim, o fluxo total do calor sensível foi dado como:

$$q''_{sens} = q_{RL} + q_{conv} \quad \text{W m}^{-2} \quad [6]$$

2.5 Transferência de calor latente

O fluxo de calor e massa pelo trato respiratório foi obtido pela equação:

$$E_R = A^{-1} \lambda V_{RC} F (\psi_E - \psi_{atm}) \quad \text{W m}^{-2} \quad [7]$$

em que, λ é o calor latente de vaporização da água (J g^{-1}); V_{RC} (L respiração^{-1}) é o volume corrente; F é a frequência respiratória (resp s^{-1}); ψ_E e ψ_{atm} (g m^{-3}) são a umidade absoluta do ar expirado e atmosfera, respectivamente.

2.6 Estocagem térmica

A estimativa do calor estocado foi feita conforme a equação descrita por McLean (1983):

$$S = \frac{[0,86\Delta T_R + 0,14\Delta T_{EP}]c_{pt}P}{tA} \text{ W m}^{-2} \quad [8]$$

em que ΔT_R e ΔT_{EP} representaram o diferencial para temperatura retal e da epiderme, respectivamente, num intervalo de tempo ($t \rightarrow s$); c_{pt} é o calor específico médio dos tecidos ($3470 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); P é o peso do animal (kg); A é área de superfície corporal.

2.7 Análise estatística

Os dados foram analisados pelo método dos mínimos quadrados (Harvey, 1960; Silva, 2003) por meio de modelos lineares generalizados, seguindo o modelo:

$$Y_{ijklmno} = \mu + Q_i + D(Q)_{ij} + H(Q)_{jk} + A_l + T_m + e_{ijklmno}$$

em que $Y_{ijklmno}$ é a n -ésima observação da variável resposta observada na m -ésima classe de temperatura do ar, da k -ésima classe de hora, j -ésimo dia de avaliação, no i -ésimo quadrado latino; Q é o efeito aleatório do i -ésimo quadrado latino (Q_{L1} e Q_{L2}); $D(Q)$ é o efeito aleatório do j -ésimo dia de avaliação dentro do i -ésimo quadrado latino (se $i = Q_{L1}$, então $j = 1, 2, \dots, 12$; se $i = Q_{L2}$, então $j = 13, 14, \dots, 24$); H é o efeito fixo da j -ésima classe de hora dentro do i -ésimo quadrado latino (Se $i = Q_{L1}$, então $k = 07:00, 08:00, \dots, 18:00$; se $i = Q_{L2}$, então $k = 19:00, 20:00, \dots, 06:00$); A é o efeito aleatório do l -ésimo animal ($l = A_1, A_2, \dots, A_{12}$); T é efeito fixo da m -ésima classe de temperatura do ar ($m = 22, 23, \dots, 37$); $e_{ijklmno}$ é o resíduo, incluindo o erro aleatório e μ é a média geral. Baseado na produção de calor metabólico, transferência de calor sensível e latente, as classes de temperatura do ar foram separadas em quatro grupos no

1° e 2° componente principal. Todas as análises foram feitas utilizando o software estatístico SAS 9,3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, 2011).

3. Resultados

De acordo com a análise de variância, houve efeito ($P < 0,05$) das classes de temperatura do ar e horários do dia sobre as medidas ambientais e fisiológicas. As médias para a temperatura do ar, umidade relativa, pressão de vapor da atmosfera e temperatura radiante média foram $28,9 \pm 0,3$ °C, $62,11 \pm 0,28$ %, $2,18 \pm 0,46$ kPa e $29,2 \pm 0,5$ °C, respectivamente (Tab. 1). Durante o período experimental, houve variação na T_{ar} de 21,7 a 37,9 °C e de 27,4 a 88,2 % para U_R (Tab. 1); valor máximo e mínimo para temperatura do ar ocorreram às 13:00 e 05:00 h, respectivamente; por outro lado, a umidade relativa seguiu um padrão inverso, com picos máximos por volta das 06:00 e mínimos às 14:00 h (Fig. 3; $r = -0,85$). O local de colheita de dados era protegido da radiação solar direta, refletida e difusa, sendo essa, a principal causa para valores idênticos da T_{ar} e T_{RM} .

Tabela 1: Média ($\bar{x}$), valor mínimo (mín.) e máximo (máx.) da umidade relativa (U_R) pressão parcial de vapor da atmosfera ($e[T_{ar}]$) e temperatura média radiante (T_{RM}) nas diferentes classes de temperatura do ar.

T_{ar} , °C			U_R , %			$e(T_{ar})$, kPa			T_{RM} , °C		
$\bar{x}$	mín.	máx.	$\bar{x}$	mín.	máx.	$\bar{x}$	mín.	máx.	$\bar{x}$	mín.	máx.
28,9	21,7	37,9	60,9	27,4	88,2	2,17	0,97	3,04	29,2	21,9	39,1
Classes de temperatura do ar											
$T_{ar} \leq 22,5 = 22$			86,1	84,5	88,3	2,5	2,4	2,6	22,2	21,9	22,5
$22,5 < T_{ar} \leq 23,5 = 23$			82,6	78,8	85,9	2,5	2,4	2,6	23,1	22,7	23,4
$23,5 < T_{ar} \leq 24,5 = 24$			80,6	75,9	85,9	2,5	2,4	2,7	24,0	23,7	24,5
$24,5 < T_{ar} \leq 25,5 = 25$			77,5	69,6	83,0	2,6	2,3	2,8	25,0	24,6	25,4
$25,5 < T_{ar} \leq 26,5 = 26$			74,0	65,2	80,1	2,5	2,2	2,8	25,9	25,5	26,5
$26,5 < T_{ar} \leq 27,5 = 27$			69,4	61,5	75,9	2,5	2,1	2,8	26,9	26,5	27,3
$27,5 < T_{ar} \leq 28,5 = 28$			64,7	61,8	69,8	2,4	2,2	2,7	28,0	27,6	28,3
$28,5 < T_{ar} \leq 29,5 = 29$			59,9	49,4	73,0	2,3	1,7	3,0	29,0	28,6	29,4
$29,5 < T_{ar} \leq 30,5 = 30$			57,2	48,1	74,1	2,2	1,6	3,0	30,0	29,5	30,5
$30,5 < T_{ar} \leq 31,5 = 31$			51,1	40,4	68,0	2,1	1,5	2,9	31,0	30,5	31,4
$31,5 < T_{ar} \leq 32,5 = 32$			46,9	35,6	54,4	1,9	1,3	2,4	32,0	31,5	32,5
$32,5 < T_{ar} \leq 33,5 = 33$			44,1	33,7	51,5	1,9	1,3	2,4	33,0	32,5	33,5
$33,5 < T_{ar} \leq 34,5 = 34$			41,2	32,4	48,4	1,8	1,1	2,3	34,1	33,7	34,4
$34,5 < T_{ar} \leq 35,5 = 35$			37,6	30,8	42,1	1,6	1,2	2,0	35,0	34,5	36,3
$35,5 < T_{ar} \leq 36,5 = 36$			32,2	29,6	35,3	1,4	1,2	1,7	36,0	35,7	37,2
$T_{ar} > 36,5 = 37$			29,5	27,4	34,0	1,3	1,0	1,7	37,1	36,6	39,1

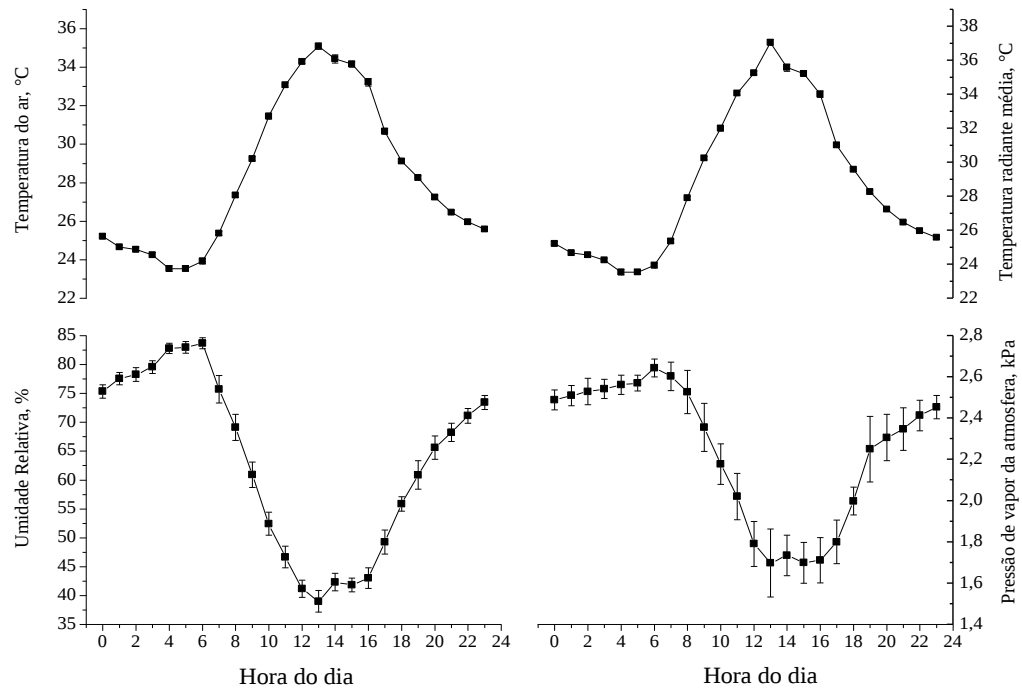


Figura 3: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura do ar (T_{ar}), radiante média (T_{RM}), umidade relativa (U_R) e pressão de vapor da atmosfera ($e[T_{ar}]$) nas horas do dia.

Na classe de temperatura do ar mais baixa (22 °C) e umidade relativa de 86,1 %, verificou-se os menores valores ($P < 0,05$) para as medidas fisiológicas, as quais foram: temperatura do ar expirado = $26,16 \pm 0,15$ °C, temperatura da epiderme = $33,17 \pm 0,70$ °C, temperatura da superfície do pelame = $29,70 \pm 0,43$ °C, temperatura retal = $37,60 \pm 0,13$ °C, frequência respiratória = $15,22 \pm 0,49$ resp min^{-1} e a taxa de ventilação pulmonar = $0,124 \text{ L s}^{-1}$ (Fig. 4). O contrário aconteceu quando a classe de temperatura foi de 37 °C combinada com uma U_R de 29,5 %. Nessa situação, a temperatura do ar expirado foi de $35,89 \pm 0,28$ °C, da pele $37,74 \pm 0,08$ °C, pelame $38,30 \pm 0,12$ °C, retal $38,82 \pm 0,20$ °C, frequência respiratória e ventilação de $26,35 \pm 1,06$ resp min^{-1} e $0,160 \pm 0,02 \text{ L s}^{-1}$, respectivamente.

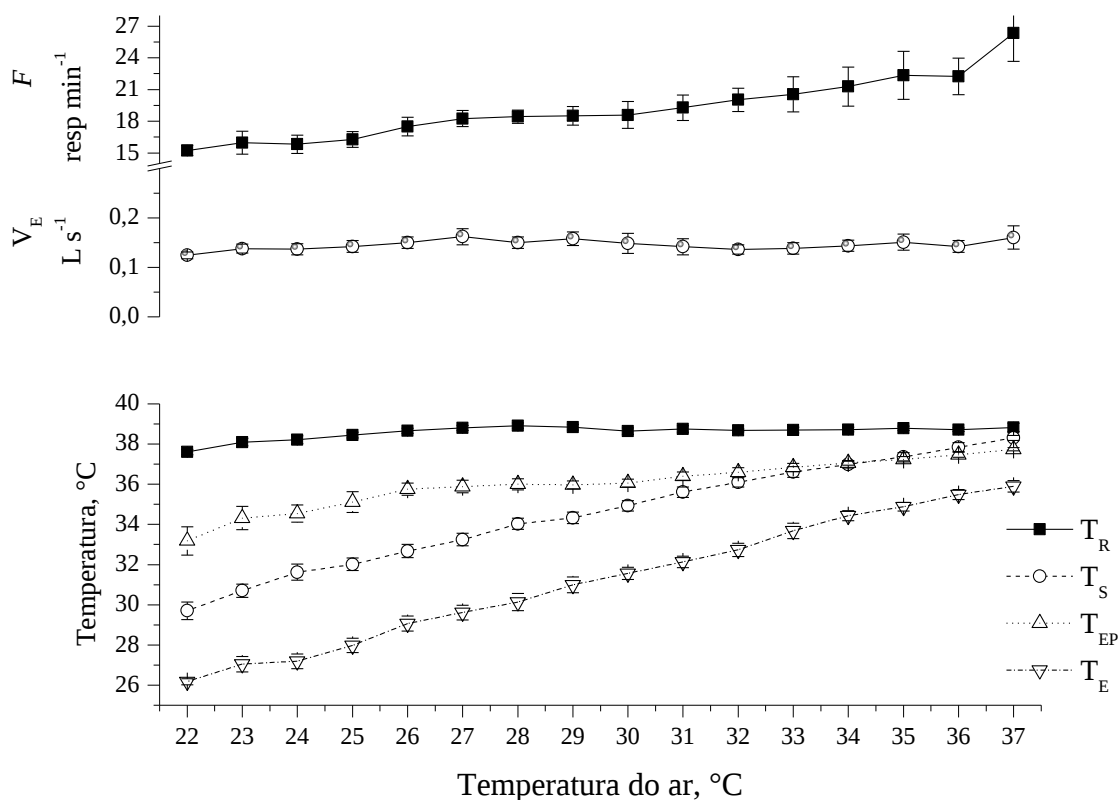


Figura 4: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura retal (T_R), pele (T_{EP}), pelame (T_S), ar expirado (T_E), frequência respiratória (F) e ventilação (V_E) nas classes de temperatura do ar.

No entanto, para a temperatura retal, o maior valor observado ($39,28 \pm 0,13$ °C) foi às 19:00 h com uma T_{ar} de $28,26 \pm 0,09$ °C (Fig. 5). Uma amplitude máxima de 2,7 °C para T_R e 4,62 °C para a T_{EP} no intervalo de 04:00 às 19:00 h resultou numa estimativa de $5,79$ W m⁻² de calor estocado, o que representou, aproximadamente, 10 a 12 % da produção de calor metabólico ($q''_{met} = 40,24 \pm 0,15$ W m⁻²). Durante o dia, houve ($P < 0,05$) variação na quantidade de calor produzido pelo metabolismo, com valor mínimo às 07:00 h ($34,87 \pm 2,21$ W m⁻²) e máximo às 17:00 h ($46,45 \pm 1,05$ W m⁻²). No intervalo de 00:00 às 06:00 h, o fluxo de calor sensível ($q_{sens} = 64$ W m⁻² às 02:00 h) chegou a ser duas vezes maior que o produzido pelo metabolismo; nesse momento, o gradiente térmico ($T_S - T_{ar}$) estava próximo dos 8 °C.

Em contrapartida, às 13:00 h, com a diminuição no gradiente ($T_S - T_{ar}$) para 2,54 °C, a transferência de calor sensível reduziu para $10,17 \pm 1,25$ W m⁻². Das 11:00 h às 16:00 h, as vias sensíveis não foram suficientes para manter o equilíbrio térmico das ovelhas, aumentando substancialmente as necessidades de recrutamento dos caminhos latentes para a transferência

do calor metabólico. Nesse intervalo, a evaporação pelo trato respiratório apresentou valor máximo de $8,19 \pm 0,94 \text{ W m}^{-2}$ (Fig. 5).

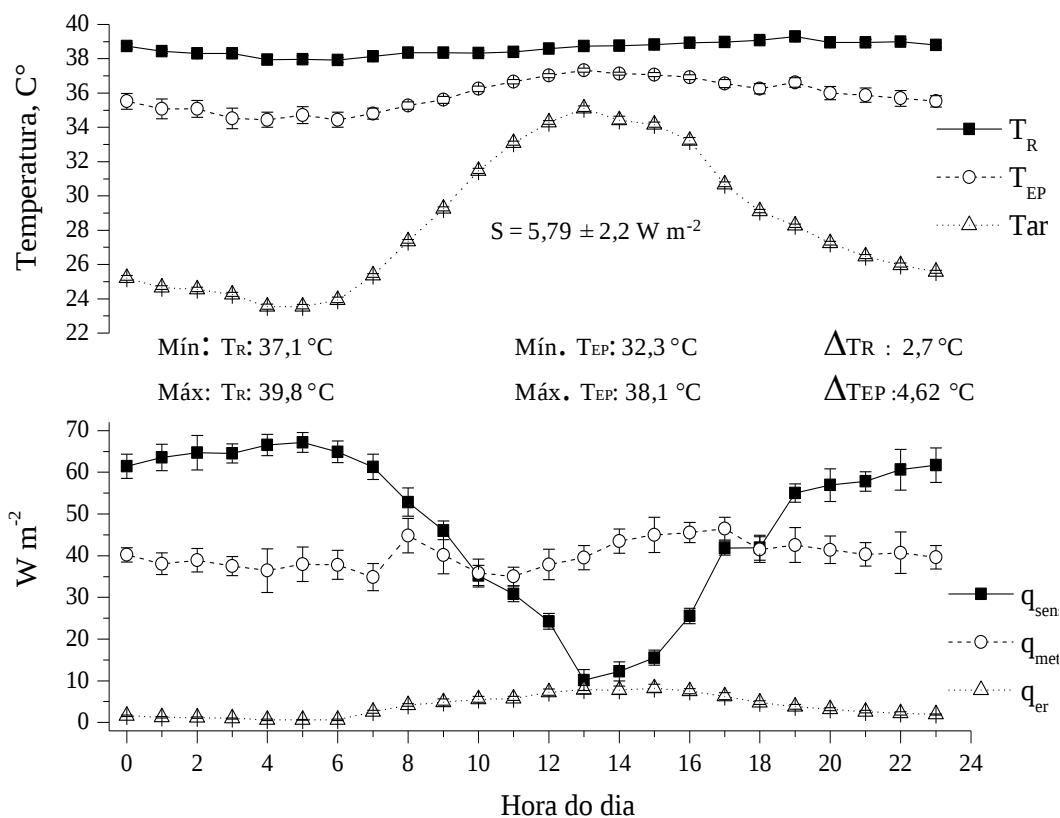


Figura 5: Médias estimadas por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da temperatura retal (T_R), epiderme (T_{EP}) e do ar (T_{ar}), fluxo de calor sensível (q_{sens}), evaporação pelo trato respiratório (q_{er}) e produção de calor metabólico (q_{met}) como função da hora do dia.

A temperatura do ar foi o principal componente do ambiente térmico a influenciar o balanço de calor das ovelhas, uma vez que apresentou uma alta correlação com a T_{EP} , T_S e T_E ($r \rightarrow$ acima de 0,82). Assim, o fluxo de calor sensível diminuiu ($P < 0,05$) com o aumento da temperatura do ar; de outro modo, uma relação inversa pôde explicar a variação na quantidade de calor transferido através do trato respiratório (Fig. 6). A produção de calor metabólico permaneceu praticamente constante em todas as faixas de temperatura do ar, apresentando um aumento suave quando a T_{ar} foi maior que 37 °C. Nessa condição de ambiente, maiores valores para a frequência (F) e volume respiratório (V_E) foram observados (Fig. 4).

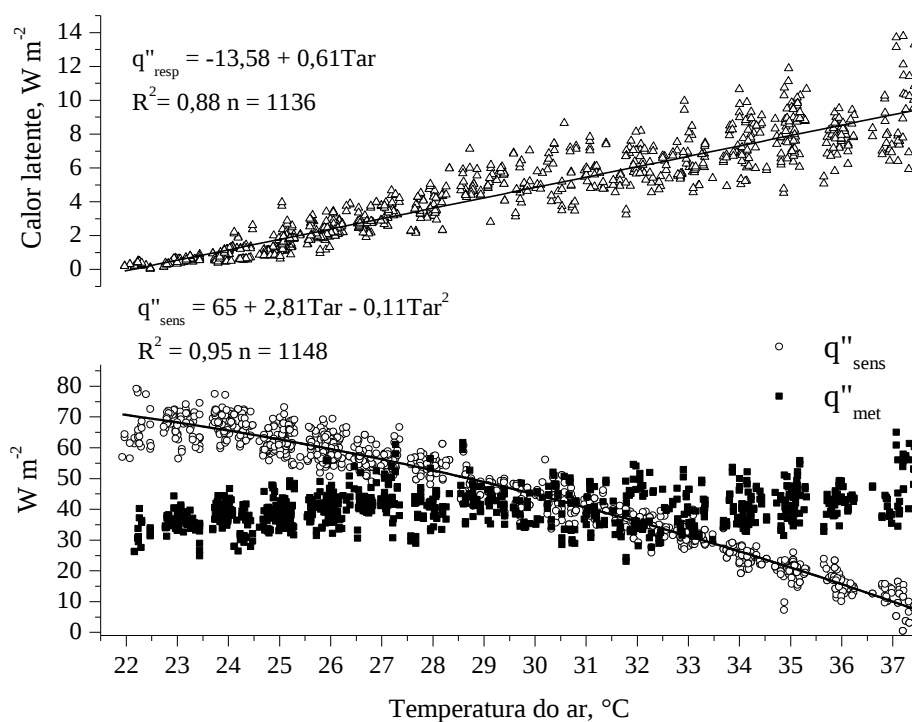


Figura 6: Transferência de calor sensível (W m^{-2}), produção de calor metabólico (W m^{-2}) e evaporação pelo trato respiratório (W m^{-2}) como função da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

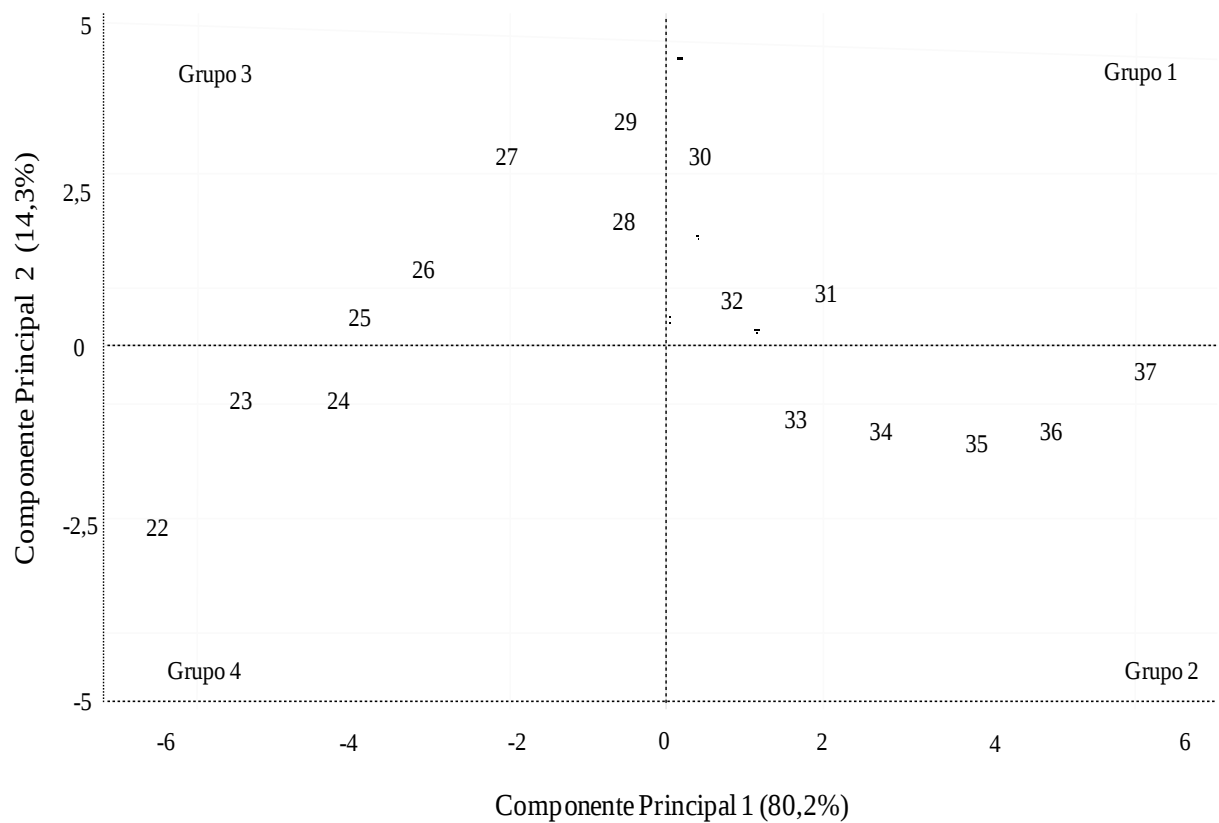


Figura 7: Classes de temperatura do ar nos dois primeiros componentes principais.

Com base na produção de calor metabólico, fluxo de calor sensível e latente, as classes de temperatura do ar foram separadas em quatro grupos nos dois primeiros componentes principais (Fig. 7). Ambos representaram 94,5 % de todas as variações em relação às variáveis originais. Assim, quando a temperatura do ar foi menor que 24 °C (Grupo 4), a transferência de calor por radiação e convecção natural representou o dobro da produção do calor produzido pelo metabolismo; numa temperatura maior que 25 °C e menor que 29 °C (Grupo 3), todo calor metabólico foi perdido através das vias sensíveis; na faixa de temperatura entre 30 °C e 32 °C (Grupo 1), o calor latente começou a ganhar importância na manutenção do equilíbrio térmico; por fim, em temperaturas acima de 33 °C, as vias evaporativas foram os principais meios de resfriamento corporal.

4. Discussão

O propósito dessa pesquisa foi quantificar a variação circadiana na termorregulação de ovinos Morada Nova mantidos em ambiente protegidos da radiação solar e tentar definir uma faixa de temperatura de mínimo esforço termorregulatório. De acordo com os resultados reportados nesse estudo, mesmo na sombra, os custos com a homeotermia de ovelhas Morada Nova começaram a aumentar quando a temperatura do ar chegou aos 30 °C. A partir desse ponto, as vias sensíveis não foram mais suficientes para garantir a manutenção do equilíbrio térmico; Numa temperatura do ar acima de 36 °C, a taxa de evaporação pelo trato respiratório foi de 9 W m⁻² e a transferência de calor sensível para o ambiente passou a ser insignificante; assim, considerando uma taxa metabólica de 45 W m⁻², os 36 W m⁻² restantes devem ser eliminados através da evaporação cutânea. Em termos percentuais, esse valor pode representar 80 % do total de calor latente eliminado para o ambiente. Num estudo com cabras Anglo Nubiano em ambiente controlado, Maia et al. (2016) encontraram um percentual semelhante para a evaporação cutânea quando a temperatura do ar ultrapassou os 31 °C.

Nos horários de temperaturas mais baixas (< 24°C → 01:00 -- 06:00 h), a transferência de calor sensível (radiação e convecção natural) de ovelhas Morada Nova foi quase o dobro da quantidade produzida pelo metabolismo; ademais, a taxa de produção de calor foi praticamente constante em todas as faixas de temperatura do ar. Animais de pequeno tamanho corporal e com pouco isolamento na superfície terão dificuldade de conservar o calor interno nas horas mais frias do dia, sendo necessário o recrutamento da termogênese facultativa para manter a homeotermia, um processo metabolicamente caro (DeShazer et al., 2009; Hill et al., 2012). No entanto, em vez disso, o contato dos animais uns com outros pode assegurar a

manutenção do equilíbrio térmico de forma mais econômica (Collier e Gebremedhin, 2014). Animais conseguem reduzir em até 70 % sua área de superfície corporal para o ambiente quando estão deitados e em contato físico com os outros (Berman, 2006). Nas condições naturais de ambiente semiárido, é comum observar caprinos e ovinos se deitarem amontoados durante a noite (observação pessoal). Assim, possivelmente, boa parte do calor produzido pelo metabolismo pode ser conservado ao invés de aumentar a produção de calor metabólico.

A quantidade de calor estocado durante o dia pode diminuir as necessidades de energia metabolizável pelo não recrutamento dos meios termogênicos facultativos. Alguns animais podem demonstrar, por ora, um padrão de heterotermia, estocando quantidades significativas de calor (Schmidt-Nielsen, 2002; McLean et al., 1983,1984;). Como resultado, economizam água e durante o período noturno, condições favoráveis do ambiente térmico permitem a eliminação desse calor através de mecanismos secos. No presente estudo, uma estimativa máxima de $5,7 \text{ W m}^{-2}$ para a estocagem térmica, pode ter resultado numa economia próxima de 10 % na taxa de produção de calor corporal das ovelhas durante a noite. Em estudos com caprinos Beduínos mantidos na sombra, Finch et al. (1980) encontraram estocagem térmica de 10 W.m^{-2} . Ovinos mestiços (peso médio = 33 kg) submetidos a períodos cíclicos de temperaturas altas e baixas economizaram, em média, 8% da taxa metabólica quando colocados em condições de frio (Lee e Sasaki, 1994).

Uma amplitude de variação da temperatura ambiente na qual o controle da temperatura corporal é proporcionado apenas por mecanismos não evaporativos é definida como zona de termoneutralidade (Silva, 2008); nessa faixa, quando a temperatura aumenta ou diminui, ajustes no comportamento devem garantir uma constância no balanço de calor sensível e manutenção da temperatura corporal com uso mínimo da energia metabolizável (Collier e Gebremedhin, 2014). Conforme os resultados desta pesquisa, numa amplitude de 22 a 30 °C, o balanço de calor das ovelhas foi mantido por meio dos processos sensíveis (radiação e convecção) de transferência de calor, sem que houvesse necessidade de incremento no metabolismo e acionamento das vias latentes para o resfriamento corporal.

A radiação, vento e umidade são fatores que afetam a amplitude da temperatura de mínimo esforço termorregulatório. A absorção da radiação de ondas curtas na superfície do animal pode adiantar a necessidade das vias latentes para manutenção do equilíbrio térmico, ocasionando uma diminuição no limite crítico superior. Por exemplo, nas zonas semiáridas do Brasil, níveis elevados de radiação ($> 800 \text{ W m}^{-2}$) podem ser observados entre 10:00 e 16:00 h (Maia et al., 2015); esses autores verificaram que caprinos "Sem Padrão racial Definido" podem absorver até 250 W m^{-2} de energia térmica em condições de temperatura do ar próxima

de 30 °C. Em contrapartida, numa situação de frio, a adição de umidade (chuva) e vento na superfície corporal dos animais pode aumentar em até 40% a transferência de calor seco para o ambiente (Holmes, 1981), o que também, pode recrutar a termogênese facultativa mais cedo, ocasionando aumento na temperatura do limite crítico inferior. Produtores de ovinos e caprinos da região semiárida relataram sobre a morte de animais em dias de chuva durante a noite, a qual, provavelmente, deve estar relacionada com o quadro de hipotermia (Observação pessoal). Portanto, além da provisão de sombra nos horários de temperaturas e níveis de radiação elevadas, ao serem alojados no período noturno, pequenos ruminantes criados nas zonas semiáridas do Brasil necessitam ser protegidos de vento e chuva.

5. Conclusões

- Na faixa de 22 a 31 °C, o balanço de calor de ovelhas Morada Nova protegidas da radiação solar, vento e chuva é mantido numa condição de mínimo esforço termorregulatório.
- Para ovelhas da raça Morada Nova protegidas da radiação, vento e chuva, a temperatura de limite crítico superior é em torno de 31 °C.

6. Literatura citada

- BENNETT, J. W. Regional body surface area of sheep. **Journal of Agricultural Science**, v. 81, n. 03, p. 429-432, dez. 1973.
- BERMAN, A. Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. **Journal of dairy science**, v. 89, n. 10, p. 3817-3825, maio. 2006.
- COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal biology of domestic animals. **Annual Review of Animal Biosciences**, v. 3, n. 1, p. 513-532, out. 2014.
- COSTA, C. C. M. et al. Latent heat loss and sweat gland histology of male goats in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 2, p. 179-184, 2014.
- DESHAZER, J. A. **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- FINCH, V. A. Why black goats in hot deserts? Effects of coat color on heat exchanges of wild and domestic goats. **Physiological Zoology**, v. 53, n. a, p. 19-25, jan. 1980.

FONSÊCA, V. F. C. et al. Influence of the climatic environment and duration of labor on the mother-offspring interaction in Morada Nova sheep. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 9, p. 4123-4129, dez. 2014.

FONSÊCA, V. F. C., SARAIVA, E. P., MAIA, A. S. C. M., NASCIMENTO, C. C. N., SILVA, J. A. S., PEREIRA, W. E. Heat loss from respiratory tract in Morada Nova sheep bred in a semiarid tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, 2016 (no prelo).

HARVEY, W. R. **Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers**. Beltsville: USDA publ. n. 20-8 1960.

HILL, R. W.; WYSE, G. A.; ANDERSON, M. **Fisiologia Animal**, 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

HOLMES, C. W. A note on the protection provided by the hair coat or fleece of the animal against the thermal effects of simulated rain. **Animal Production**, v. 32, n. 6, p. 225-226, abr. 1981.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: JCEditora 4. ed. p. 494, 1998.

LEE, S. R.; SASAKI, Y. Body heat content, heat production and respiration in sheep exposed to intermittent cold. **Journal of Agricultural Sciences** v. 7, n. 3, p. 357-362, mar. 1994.

LOWE, T. E. et al. Impact of climate on thermal rhythm in pastoral sheep. **Physiology & Behavior**, v. 74, n. 4, p. 659-664, Ago. 2001.

MAIA, A. S. C. et al. Development of Facial Masks for Indirect Calorimetric Studies for Livestock. In: **Montreal, Quebec Canada July 13–July 16**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1-3, 2014.

MAIA, A. S. C. et al. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 58, p. 43-49, mar. 2016.

MAIA, A. S. C. et al. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 8, p. 1025-1033, out. 2015.

MCLEAN, J. A. et al. Thermal adjustments of steers (*Bos taurus*) to abrupt changes in environmental temperature. **The Journal of Agricultural Science**, v. 100, n. 02, p. 305-314, abr. 1983.

MCLEAN, J. A. On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements. **British Journal of Nutrition**, v. 27, n. 03, p. 597-600, mar. 1972.

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

MUNIZ, M. M. M. et al. Application of genomic data to assist a community-based breeding program: A preliminary study of coat color genetics in Morada Nova sheep. **Livestock Science**, v. 190, p. 89-93, jun. 2016.

RIBEIRO, E. L. A.; GONZÁLEZ-GARCÍA, E. Indigenous sheep breeds in Brazil: potential role for contributing to the sustainability of production systems. **Tropical Animal Health and Production**, p. 1-9, jul. 2016.

RIBEIRO, M. N. et al. Demografia e grau do perigo de extinção de ovinos da raça Morada Nova. **Zootecnia Tropical**, v. 32, n. 4, p. 309-313, mar. 2014.

SELAIVE-VILLARROEL, A.B.; MACIEL, M.B.; OLIVEIRA, N.M. Effects of weaning age and weight on lamb growth rate of Morada Nova breed raised in a tropical extensive production system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.784-788, 2008.

SHIOTSUKI, L. et al. The impact of racial pattern on the genetic improvement of Morada Nova sheep. **Animal Genetic Resources/Ressources génétiques animales/Recursos genéticos animales**, v. 58, p. 73-82, mar. 2016.

SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental**: os animais e seu ambiente. São Paulo: FUNEP, 450p. 2008.

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

SILVA, R. G.; LASCALA JR, N.; TONHATI, H. Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. **Transactions of the ASAE**. v.46, n. 3, p.913-918, 2003.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 261p. 2013.

STEKETEE, J. Spectral emissivity of skin and pericardium. **Physics in Medicine and Biology**, v. 18, n. 5, p. 686, maio. 1973.

CAPÍTULO IV

TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELO TRATO RESPIRATÓRIO EM OVINOS MORADA NOVA

TRANSFERÊNCIA DE CALOR PELO TRATO RESPIRATÓRIO DE OVINOS MORADA NOVA

Resumo: Objetivou-se, com este estudo, desenvolver equações para estimar a transferência de calor sensível e latente pelo trato respiratório de ovinos Morada Nova em condições de campo, utilizando medidas ambientais e fisiológicas simples. Doze ovelhas Morada Nova com peso de $32,76 \pm 3,72$ kg foram distribuídas em um quadrado latino 12 x 12 (12 dias de registros e 12 horários). As ovelhas foram avaliadas das 07:00 às 19:00 h em condições de sombra. As medidas frequência respiratória (F), volume corrente (V_{RC}), temperatura do ar expirado (T_E) e pressão de vapor da ar expirado ($e[Tar]$) foram obtidas por meio de um sistema de medidas fisiológicas utilizando máscara facial. Um modelo não linear simples para estimar o volume corrente como função da frequência respiratória foi desenvolvido. Uma equação para calcular a temperatura do ar expirado foi construída e a temperatura do ar foi o melhor estimador, juntamente com a umidade relativa e pressão de vapor da atmosfera. O mecanismo de convecção respiratória teve menor significância, mesmo sob temperaturas mais baixas. Nas temperaturas acima de 35 °C, 90% do total de calor perdido pelo sistema respiratório foi representado pelo calor latente. As funções apresentadas neste estudo permitem estimar o fluxo de calor sensível e latente pelo trato respiratório de ovinos Morada Nova em condições de campo, utilizando parâmetros fisiológicos e ambientais simples como a frequência respiratória, temperatura do ar e umidade relativa.

Palavras-chave: adaptação, equações de predição, volume respiratório corrente

HEAT LOSS FROM THE RESPIRATORY TRACT IN MORADA NOVA SHEEP BRED IN A SEMIARID TROPICAL ENVIRONMENT

Abstract: The aim of this study was to build a prediction model both sensible and latent heat transfer by respiratory tract for Morada Nova sheep under field conditions in a semiarid tropical environment, using easily measured physiological and environmental parameters. Twelve dry Morada Nova ewes with an average of 3 ± 1.2 years old, average body weight of 32.76 ± 3.72 Kg were used in a latin square design 12×12 (12 days of records and 12 schedules). Tidal volume (V_{RC}), respiratory rate (F), expired air temperature (T_E), and partial vapour pressure ($e[Tar]$) of the expired air were obtained from the respiratory facial mask and using a physiological measurement system. Ewes were evaluated from 0700 to 1900 hours in each day under shade. A simple non linear model to estimate tidal volume as a function of respiratory rate was developed. Equation to estimate the expired air temperature was built, and the ambient air temperature was the best predictor together with relative humidity and ambient vapor pressure. In naturalized Morada Nova sheep, respiratory convection seems to be a mechanism of heat transfer of minor importance even under mild air temperature. Evaporation from the respiratory system increased together with ambient air temperature. At ambient air temperature up to 35°C respiratory evaporation accounted for 90 % of the total heat lost by respiratory system, on average. Models presented here allow to estimate the heat flow from the respiratory tract for Morada Nova sheep bred in tropical region, using easily measured physiological and environmental traits as respiratory rate, ambient air temperature and relative humidity.

Keywords: adaptation, prediction model, tidal volume

1. Introdução

Equações matemáticas foram desenvolvidas para avaliar a troca de calor nas superfícies respiratórias de ovinos e bovinos (Stevens, 1981; Silva et al., 2002; Berman, 2005; Maia et al., 2005) utilizando parâmetros ambientais e fisiológicos simples. De acordo com estes modelos, o ar é expirado dos pulmões saturado a uma temperatura inferior à corporal; a temperatura do ar, umidade e a temperatura média corporal são os fatores mais importantes para determinação da transferência de calor pelo trato respiratório (Stevens 1981; Silva et al., 2002; Maia et al., 2005).

Maia et al. (2005) comprovaram que modelos matemáticos construídos para vacas holandesas de regiões de clima temperado (Stevens, 1981) eram inadequados para serem utilizados com animais da mesma raça criados em ambiente tropical; tais autores observaram medidas subestimadas para o volume respiratório corrente. Silva et al. (2002) desenvolveram equações para estimar a transferência de calor pelo trato respiratório de ovinos Corriedale; estes animais sofreram ação seletiva em ambientes de clima temperado e possuem uma espessa camada de lã, características estas bem diferentes das encontradas nos ovinos deslanados das zonas tropicais semiáridas do Brasil (Egito et al., 2002).

A evaporação pelo trato respiratório parece ser o principal caminho para transferência de calor em ovinos lanados (Alexander e Williams, 1962; Hofmeyr et al., 1969; Hofman e Riegle, 1977); nestes animais, a termólise cutânea é dificultada em função da resistência à difusão do vapor provocada pela presença do velo. Starling et al. (2002) reportaram que o trato respiratório foi responsável por dissipar aproximadamente 70% do calor corporal de ovinos Corriedale criados em clima tropical. Por outro lado, o processo evolutivo dirigiu as características da superfície cutânea dos ovinos de regiões semiáridas para uma menor resistência à transferência de calor através da capa (Silanikove, 2000; Silva et al., 2001; McManus et al., 2010). Dessa forma, o calor latente pode ser transferido com maior facilidade pela superfície cutânea, diminuindo as necessidades do trabalho respiratório para o resfriamento corporal.

Em síntese, a fisiologia do animal relaciona-se com o seu ambiente de evolução. Portanto, na escolha de modelos de predição, este aspecto deve ser levado em consideração. Nenhuma tentativa foi feita para avaliar as características e o papel do sistema respiratório nos processos de transferência de calor de ovinos deslanados criados em ambiente tropical semiárido. Assim, objetivou-se, com este estudo, desenvolver equações matemáticas para

estimar a transferência de calor sensível e latente pelo trato respiratório de ovinos Morada Nova, utilizando medidas fisiológicas e ambientais simples.

2. Material e métodos

2.2 Desenho experimental e manejo dos animais

Doze ovelhas da raça Morada Nova, com idade de $3 \pm 1,2$ anos e $32,76 \pm 3,72$ kg de peso vivo foram distribuídas em um delineamento de quadrado latino 12×12 (12 dias de avaliação e 12 horários). O estudo foi conduzido na Unidade de Pesquisa em Pequenos Ruminantes da UFPB ($07^\circ 23' 27''$ S, $36^\circ 31' 58''$ W, 458 m de altitude) de abril à maio de 2015. As ovelhas foram avaliadas das 07:00 às 19:00 horas em condições protegidas da radiação solar direta; medidas fisiológicas foram registradas no primeiro animal das 07:00 às 08:00h, segundo entre 08:00 e 09:00h, e assim por diante (Fig.1).

	Horários											
	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
D ₁	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂
D ₂	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁
D ₃	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀
D ₄	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
D ₅	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
D ₆	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
D ₇	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
D ₈	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
D ₉	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
D ₁₀	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂	A ₃
D ₁₁	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁	A ₂
D ₁₂	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁

Figura 1: Diagrama do arranjo experimental; (D₁,...,D₁₂ → dias de avaliação; A₁,...,A₁₂ → animais).

As ovelhas foram alimentadas duas vezes (05:30 e 19:00h) com dietas contendo volumoso (feno de capim-elefante) e concentrado (milho, soja, trigo e suplementação mineral) numa proporção de 74:26, respectivamente. A água foi fornecida ad libitum e o consumo diário de matéria seca, calculado para 1,5 % do peso vivo médio das ovelhas.

2.2 Medidas ambientais e fisiológicas

A temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$, modelo HOBO, onset), de globo negro (T_{GN} ; $^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (% , modelo HOBO, onset) e a pressão parcial de vapor da atmosfera (kPa, RH - 300, Sable System, USA) foram registradas diariamente a cada segundo. A temperatura radiante média (T_{RM} ; K) foi calculada conforme Silva et al. (2010). A T_{GN} foi obtida com um termopar (modelo T, Salcas, Brasil; precisão 0,2 $^{\circ}\text{C}$) inserido no centro de uma esfera oca de cobre de 0,15 m de diâmetro, posicionado próximo dos animais numa altura de 50 cm do solo.

As funções respiratórias (V_{RC} , F , T_{E} e $e(T_{\text{E}})$) foram coletadas por meio de um sistema de medidas fisiológicas com uso de máscara facial (Maia et al., 2016). Um sensor de temperatura do tipo termopar (MLT 1403, ADInstruments, Austrália, acurácia: $\pm 0,10$ $^{\circ}\text{C}$, tempo de resposta: 0,8 s) foi inserido no reto do animal para registros contínuos da temperatura retal (T_{R} ; ± 8 cm). Durante a colheita de dados, o animal era conduzido a um tronco de contenção e as medidas registradas durante 50 minutos. Previamente, as ovelhas foram habituadas e condicionadas a contenção e ao uso das máscaras faciais conforme descrito por Fonsêca et al. (2016; em preparação).

2.3 Transferência de calor pelo trato respiratório

Os fluxos de calor sensível (C_{R}) e latente (E_{R}) foram determinados conforme Silva e Maia (2013):

$$C_{\text{R}} = A^{-1} V_{\text{RC}} p c_p F (T_{\text{E}} - T_{\text{ar}}) \quad \text{W m}^{-2} \quad [1]$$

$$E_{\text{R}} = A^{-1} \lambda V_{\text{RC}} F (\psi_{\text{E}} - \psi_{\text{atm}}) \quad \text{W m}^{-2} \quad [2]$$

onde, T_{ar} e T_{E} são as temperaturas do ambiente e do ar expirado (K), respectivamente; p é a densidade do ar (kg m^{-3}), c_p o calor específico do ar ($\text{J Kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$), λ é o calor latente de vaporização da água (J g^{-1}); V_{RC} é o volume respiratório corrente (L respiração $^{-1}$), F é a frequência respiratória (resp s $^{-1}$); A é a área de superfície corporal, estimada de acordo com Bennett (1973):

$$A = 0,171 P_{\text{V}}^{-0.05025} \quad \text{m}^2 \quad [3]$$

em que P_{V} é o peso do animal (kg).

A umidade absoluta da atmosfera (ψ_{atm} ; g m^{-3}) e do ar expirado (ψ_{E} ; g m^{-3}) foram calculadas por meio das equações:

$$\psi_{\text{atm}} = T_{\text{atm}}^{-1} 2166,87 e(T_{\text{atm}}) \quad \text{g m}^{-3} \quad [4]$$

$$\psi_{\text{E}} = T_{\text{E}}^{-1} 2166,87 e(T_{\text{E}}) \quad \text{g m}^{-3} \quad [5]$$

onde $e(T_{\text{atm}})$ e $e(T_{\text{E}})$ são as pressões parciais de vapor da atmosfera (kPa) e do ar expirado, respectivamente. As propriedades termofísicas do ar (p , λ , e c_p) foram obtidas de acordo com Silva (2008).

2.4 Análise estatística

Os dados foram analisados pelo método dos mínimos quadrados. Um modelo de regressão não-linear foi testado para estimar o V_{RC} como função de F . Modelos de regressão múltipla foram utilizados para desenvolver equações da F , T_{E} , C_{R} , e E_{R} , como função de variáveis ambientais e fisiológicas, conforme o modelo inicial:

$$y_{ijkl} = \alpha + a_i + h_j + d_k + b_1(T_{\text{atm}}) + b_2(U_{\text{R}}) + b_3 e(T_{\text{atm}}) + b_4(T_{\text{R}}) + \varepsilon_{ijkl}$$

onde y_{ijkl} é a l -ésima medida da T_{E} , F , C_{R} , e E_{R} no i -ésimo animal, na h -ésima hora e d -ésimo dia de avaliação; α é o intercepto; a_i é o efeito fixo do i -ésimo animal ($i = 1,2,3,\dots,12$); h_j é o efeito da j -ésima hora de avaliação ($j = 07:00,08:00,\dots,18:00\text{h}$); d_k é o efeito do k -ésimo dia de coleta ($k = 1,2,3,\dots,12$). Os valores de b_1 , b_2 , b_3 e b_4 são os coeficientes parciais de regressão linear e ε_{ijkl} é o erro aleatório associado as observações do i -ésimo animal, h -ésima hora e k -ésimo dia de coleta. Iniciando com a T_{atm} , variáveis independentes foram adicionadas sucessivamente ao modelo até um melhor ajuste (R^2) ser alcançado. Em cada passo, as equações foram resolvidas e selecionadas pelo método "stepwise". O pacote estatístico utilizado para todas as análises foi o SAS versão 9.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

3. Resultados

Uma relação não-linear do V_{RC} com a F foi estimada para ovinos Morada Nova criados em ambiente tropical semiárido ($P < 0,001$; $R^2 = 0,95$; Fig. 2):

$$V_{RC} \text{ (L respiração}^{-1}\text{)} = 10.0351F^{-1.0376}, \quad [6]$$

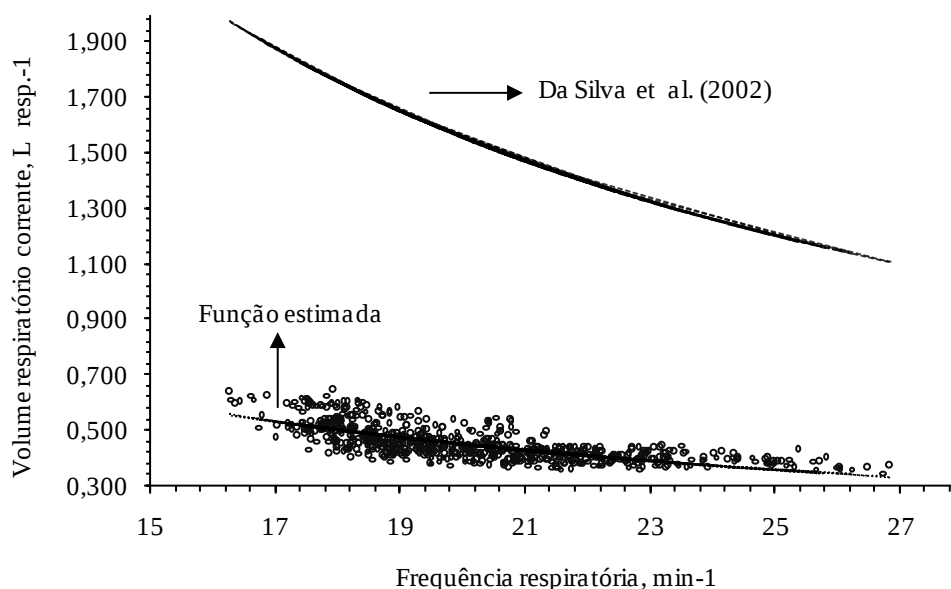


Figura 2: Volume respiratório corrente como função da frequência respiratória

A faixa de variação do V_{RC} foi de 0,345 a 0,644 L/respiração nas condições de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e pressão de vapor da atmosfera deste estudo (Tab. 1).

Tabela 1: Valores médios, mínimos e máximos da temperatura do ar (T_{ar} ; °C), umidade relativa (U_R ; %), temperatura radiante média (T_{RM} ; °C) e pressão de vapor da atmosfera ($e[Tar]$); kPa).

Variáveis	n	$\bar{x}$	Mínimo	Máximo
T_{ar} , °C	748	31,84	25,07	37,02
U_R , %	743	49,04	35,84	78,39
T_{RM} , °C	702	32,40	25,22	39,1
$e[Tar]$, kPa	740	1,94	1,42	2,82

Achados anteriores com ovinos descreveram uma amplitude semelhante para o V_{RC} (Amoroso et al., 1951; Mitchel, 1965; Hofman e Riegle, 1977; Schmidt-Nielsen, 1991; Silva et al, 2002). Silva et al. (2002), trabalhando com ovelhas Corriedale em câmara climática ($T_{ar} = 17,5$ a 40 °C), documentaram V_{RC} de 0,200 a 0,700 L/respiração. De acordo com o modelo,

um aumento na F (resp min⁻¹) ocasionou redução no V_{RC} , corroborando com outros resultados de estudos com ovinos (Hofman e Riegle, 1977; Silva et al., 2002; Silva, 2013) e bovinos (Stevens, 1981; Finch, 1980; Maia et al., 2005). A relação da F como função da T_{ar} foi descrita como ($P < 0,001$; $R^2 = 0,61$; fig. 3):

$$F = 49,86 - 2,472T_{ar} + 0,047T_{ar}^2, \quad [7]$$

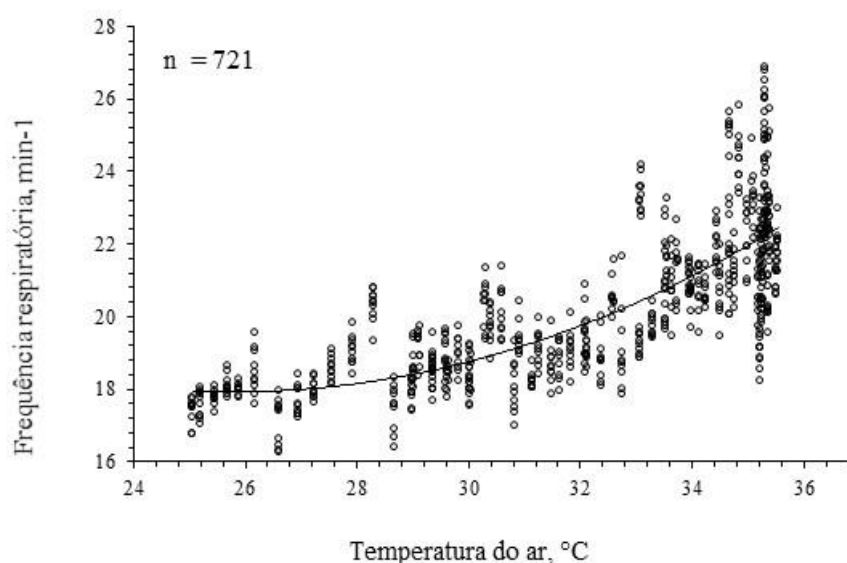


Figura 3: Frequência respiratória como função da temperatura do ar

Uma variação de 16,26 a 26,86 resp/min foi observada para F . A inclusão da $e(T_{ar})$, U_R e T_R não melhorou o ajuste desta função (R^2). Neiva et al. (2004) também documentaram uma faixa estreita da F para ovinos deslanados Santa Inês na sombra. No entanto, condições similares de ambiente térmico foram suficientes para provocar aumento substancial na taxa respiratória de ovinos lanados (Hofman e Reagle, 1977; Johnson, 1991; da Silva e Starling, 2003; Silva, 2013). Silva (2013) observaram aumento de 155 a 180 respirações por minuto em machos Corriedale mantidos em ambiente controlado (22 - 37°C). Assim, quando a função não linear ajustada por Silva et al. (2002) foi plotada com os valores da F medidos no presente estudo (V_{RC} , m³/respiração = $0,0496F^{0,463}$), houve desvio acentuado da curva, superestimando o V_{RC} (Fig. 2).

Houve uma maior correlação da T_E com a temperatura do ar, umidade relativa e pressão de vapor da atmosfera em relação à temperatura retal (Fig. 4, a-d). Com base nisso, escolheu-se dois modelos para estimar a T_E . O primeiro ($R^2 = 0,9778$) incluiu a T_{ar} e a U_R ,

enquanto o segundo ($R^2 = 0,9764$), foi ajustado com a Tar e a $e(\text{Tar})$. Não houve melhora no R^2 quando a $e(\text{Tar})$ foi adicionada na equação [8] e a U_R na [9]. Em ambas as funções, a inclusão da T_R não melhorou a estimativa da T_E .

$$T_E^{(1^\circ)} = 14,56 + 0,64\text{Tar} - 0,08U_R + 0,0007U_R^2, \quad [8]$$

$$T_E^{(2^\circ)} = 12,31 + 0,65\text{Tar} - 0,16e(\text{Tar}), \quad [9]$$

Tabela 2: Coeficientes de correlação da temperatura do ar (Tar), pressão de vapor da atmosfera [$e(\text{Tar})$], temperatura retal (T_R), umidade relativa (U_R) e temperatura do ar expirado (T_E).

Variáveis	Tar	$e(\text{Tar})$	T_R	U_R	T_E	p
Tar	1	- 0.8270	0.3485	-0.9442	0.9588	0.001
$e(\text{Tar})$	-	1	-0.3854	0.9491	-0.7799	0.001
T_R	-	-	1	-0.3820	0.4083	0.001
U_R	-	-	-	1	-0.8917	0.001
T_E	-	-	-	-	1	0.001

A estimativa da T_E como função da Tar foi ajustada com um R^2 de 0,96. Assim, a equação apresentada na figura (4-a) pode prever a T_E de ovinos Morada Nova com precisão. Maia et al. (2005) também relataram um melhor ajuste da T_E como função da Tar ($R^2 = 0,91$) para vacas holandesas de clima tropical. Em contrapartida, Silva et al. (2002) descreveram que o melhor modelo ($R^2 = 0,96$) para estimar a T_E de ovinos Corriedale incluiu a Tar, U_R e a T_R .

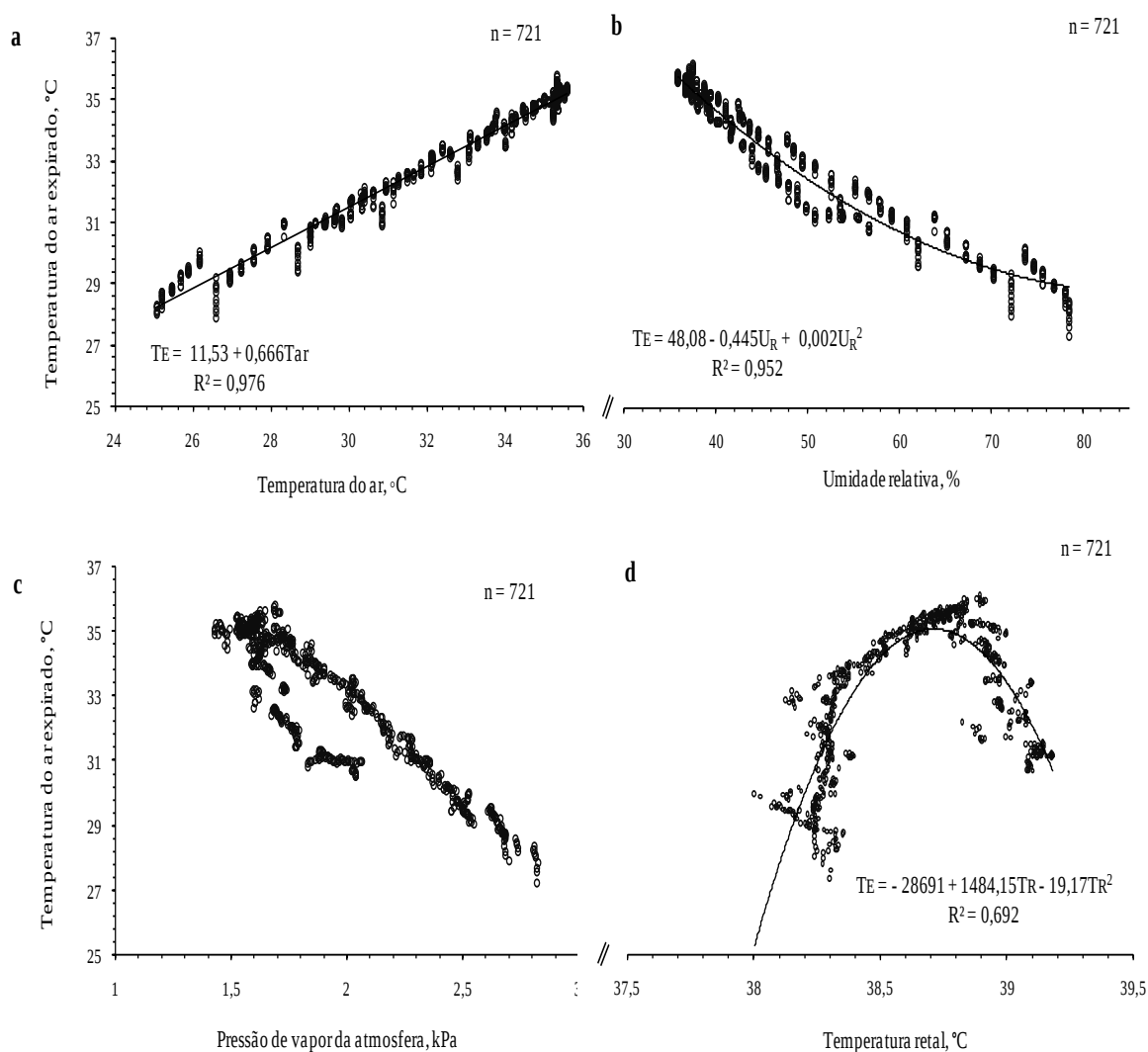


Figura 4: Temperatura do ar expirado como função da temperatura do ar (a), umidade relativa (b), pressão de vapor da atmosfera (c) e temperatura retal.

A T_R variou de 38 a 39,18; medidas mínimas e máximas foram observadas às 07:00 e 18:00 h, respectivamente. Numa faixa de ambiente tropical, Silva e Minomo (1995) relataram um padrão semelhante com ovinos Corriedale. Conforme os nossos achados, a quantidade interna de energia térmica não coincidiu com valores mais elevados da T_E e F (Fig.5), sendo um indício de que neste momento, o trato respiratório não era o principal caminho para eliminação do calor.

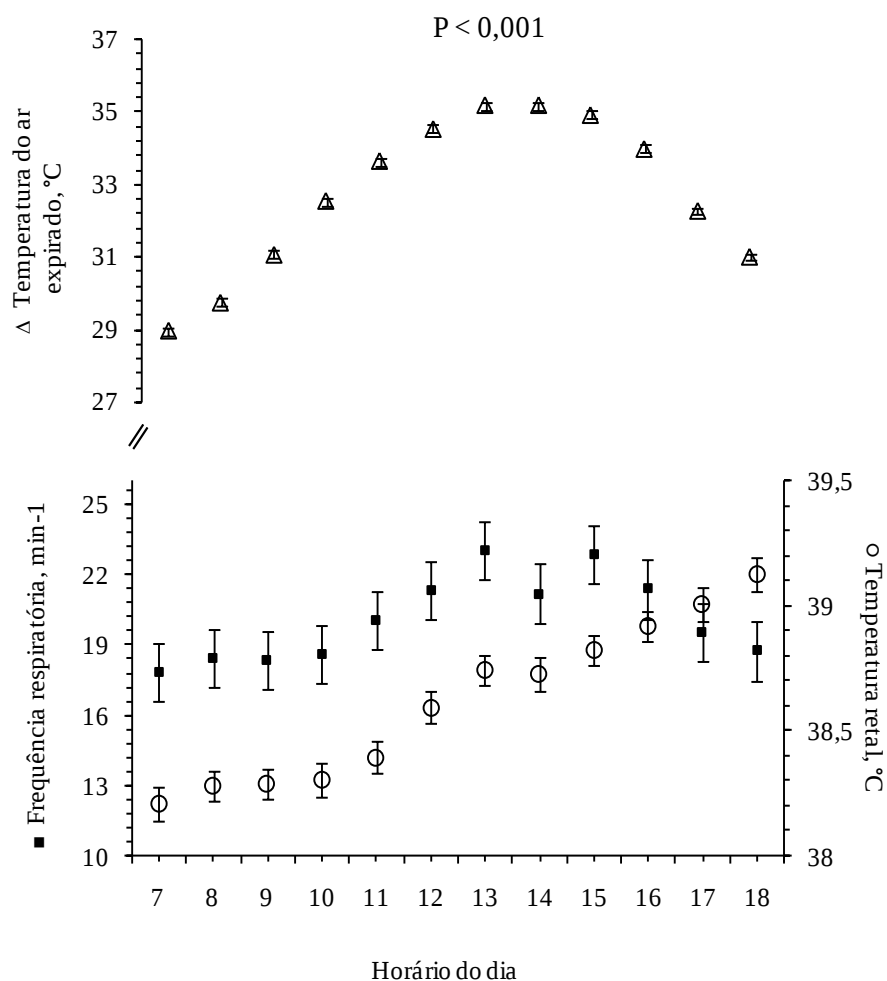


Figura 5: Médias por quadrados mínimos ($\pm$ EPM) da Temperatura do ar expirado (T_E), frequência respiratória (F) e temperatura retal (T_R).

A convecção respiratória diminuiu com o aumento da Tar; contudo, uma relação inversa foi observada para transferência do calor latente (Fig . 6):

$$C_R = 33,61 - 2,995Tar + 0,092Tar^2 - 0,001Tar^3, R^2 = 0,76 \quad [10]$$

$$E_R = -295,8 + 28,49Tar - 0,909Tar^2 + 0,009Tar^3, R^2 = 0,90 \quad [11]$$

A transferência de calor sensível pelo trato respiratório parece ser de pouca importância para o equilíbrio térmico de ovinos Morada Nova, mesmo sob condições de Tar mais baixas (25°C). Em compensação, as vias respiratórias desempenham um papel importante na eliminação do calor latente, especialmente com o aumento da Tar. Quando a

Tar atingiu valores próximos ou maiores que 35°C, a E_R foi responsável por 90% da eliminação total de calor através do trato respiratório.

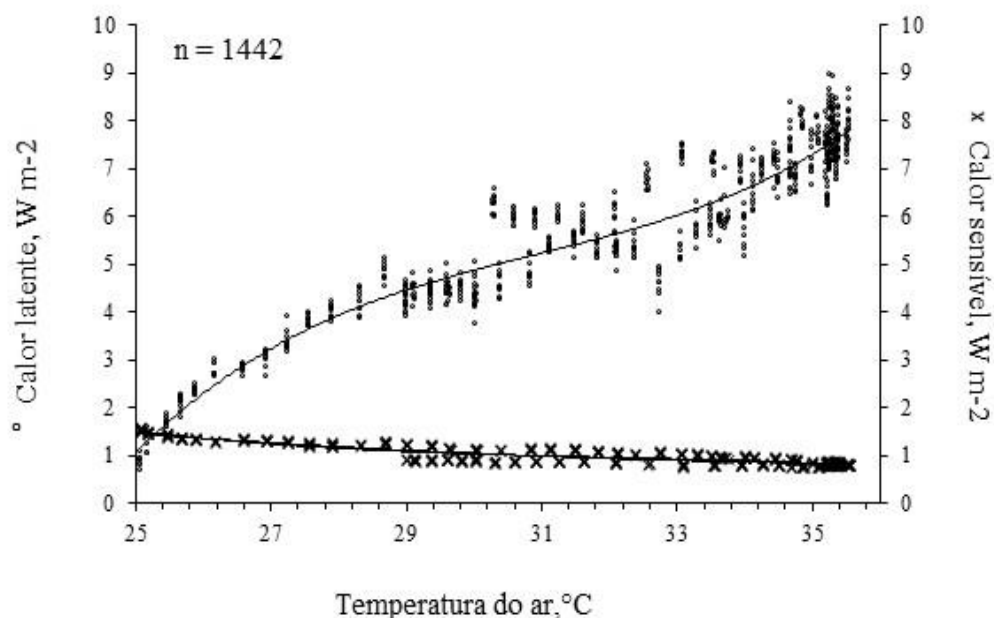


Figura 6: Transferência de calor por convecção (C_R) e evaporação respiratória (E_R) como função da temperatura do ar.

4. Discussão

Ovinos deslançados criados em região tropical semiárida e raças lanadas selecionadas em climas frios possuem diferenças pontuais quanto às características do trato respiratório nos processos de termorregulação. De acordo com os nossos resultados, o V_{RC} foi superestimado quando calculado com base na função descrita por Silva et al. (2002); além disso, estes autores encontraram melhor ajuste na estimativa da T_E com a inclusão da T_R . No presente estudo, a T_R não melhorou a determinação da T_E . Maia et al. (2005) e Silva e Maia (2011) já tinham enfatizado sobre o uso inadequado de mesmas funções para animais selecionados em ambientes distintos. Por exemplo, vacas holandesas de clima tropical tiveram um V_{RC} subestimado (Maia et al., 2005) quando calculado por uma equação descrita por Stevens (1981) para vacas holandesas de regiões temperadas. Recentemente, Oliveira e Costa (2013) utilizaram as equações de Silva et al. (2002) para quantificar a transferência de calor pelo sistema respiratório de ovinos Morada Nova; estes autores descreveram uma amplitude de 12 a 38 $W m^{-2}$ para a E_R e de -0,002 a 0,004 $W m^{-2}$ para C_R . No presente estudo, valores medidos

diretamente variaram de 0,65 a 8,94 W m⁻² para E_R e de 0,74 a 1,59 W m⁻² na C_R. Dessa forma, tais resultados deixam claro que a escolha de modelos de predição sem levar em consideração os aspectos evolutivos do animal traz resultados pouco confiáveis da resposta biológica verdadeira.

Zonas tropicais semiáridas e temperadas apresentam desafios distintos para homeotermia animal. Segundo Silva et al. (2012), a principal diferença é relacionada com o ambiente térmico radiante. Na faixa tropical do planeta, a temperatura radiante média (T_{RM}) é geralmente próxima ou maior que a T_a e superfície dos animais, os quais podem ganhar calor por radiação de ondas longas. Nos animais de zonas temperadas frias, o calor sensível é dissipado invariavelmente para o ambiente. Assim, o processo de adaptação genética nos trópicos dirigiu as características morfológicas e fisiológicas para otimizar a eliminação do calor e proteção contra a radiação solar (altos níveis de melanina na pele). Por outro lado, animais adaptados às regiões temperadas possuem fenótipo que lhes garantem maior capacidade de produção e conservação do calor corporal (maior massa e presença de lã).

As características na superfície cutânea dos animais podem indicar qual o melhor caminho para transferência do calor latente. A presença de lã dificulta a transferência do calor sensível (convecção principalmente) e latente através da pele. Devido a sua propriedade higroscópica, a lã adiciona grande resistência à difusão do vapor de água, impedindo que a mesma seja evaporada da epiderme. Assim, o sistema respiratório deve compensar e transferir boa parte do calor produzido pelo metabolismo. Estudos têm comprovado que, para ovinos lanados, o trato respiratório é o principal caminho para transferir o calor latente em altas temperaturas (Cheviot e Scottish-Blackface, Brockway et al., 1965; Merino, Hofmeyer, 1969; Dorset, Hofman e Riegle, 1977; Ideal, Silva et al., 1990; Corriedale, Starling et al., 2002). Por exemplo, Starling et al. (2002) reportaram uma contribuição de aproximadamente 70% da evaporação respiratória na perda de calor total em ovinos Corriedale. Resultados semelhantes foram relatados por Brockway et al. (1965) e Hofmeyer (1969) com ovinos da raça Merino.

Caprinos criados em climas quentes parecem utilizar a via cutânea como a principal para o resfriamento corporal. Num ambiente com T_a de 30°C, Maia et al. (2016) descreveram que o equilíbrio térmico de cabras da raça Anglo Nubiano foi alcançado com 35 W m⁻², 15 W m⁻² e 40 W m⁻² de transferência de calor sensível (radiação e convecção livre), evaporação respiratória e cutânea, respectivamente. Ligeiro et al. (2006), trabalhando com cabras mestiças de ambiente tropical e raças puras adaptadas às regiões temperadas (Saanen e Alpina), observaram resultados similares e maior evaporação cutânea nos animais mestiços.

Por fim, a evaporação cutânea representou 93 % da perda de calor total em caprinos sem padrão racial definido mantidos na sombra (36 °C) em ambiente tropical semiárido.

Conforme os resultados deste estudo, o trato respiratório é um caminho importante para eliminação do calor latente, no entanto, não há trabalhos que indiquem qual a sua significância no balanço térmico de ovinos deslanados criados nas regiões semiáridas do Brasil. Ovinos Morada Nova chegam a produzir 45 W m^{-2} de calor metabólico; numa condição de Tar acima de 36 °C, a transferência de calor pelo trato respiratório é em média 9 W m^{-2} , assim, os 36 W m^{-2} restantes devem ser eliminados através da superfície cutânea por meios sensíveis (radiação e convecção) e latentes para manutenção do equilíbrio térmico. Em ambiente tropical semiárido, mesmo na sombra, nos horários de maior carga térmica radiante, a diminuição no gradiente de temperatura (superfície - ambiente) e uma T_{RM} elevada dificultam a eliminação do calor através das vias sensíveis. Assim, a evaporação do suor deve assumir este papel. Contudo, existe a necessidade de estudos que comprovem tal hipótese, quantificando simultaneamente, a evaporação respiratória e cutânea desses animais.

5. Conclusões

As funções apresentadas neste estudo permitem estimar o fluxo de calor sensível e latente pelo trato respiratório de ovinos Morada Nova em condições de campo, utilizando parâmetros fisiológicos e ambientais simples como a frequência respiratória, temperatura do ar e umidade relativa.

6. Literatura citada

- ALEXANDER, G.; WILLIAMS, D. Temperature regulation in the newborn lamb. **VI. Heat exchanges in lambs in a hot environment.** v. 13, p. 122-143, 1962.
- BENNETT, J. W. Regional body surface area of sheep. **Journal of Agricultural Science**, v. 81, n. 03, p. 429-432, dez. 1973.
- BERMAN, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 6, p. 1377-1384, fev. 2005.
- BROCKWAY, J. M.; MCDONALD, J. D.; PULLAR, J. D. Evaporative heat-loss mechanisms in sheep. **Journal of Physiology**, v. 179, n. 3, p. 554, jan. 1965.
- EGITO, A. A.; MARIANTE, A. S.; ALBUQUERQUE, M. S. M. Brazilian program of animal genetic resources conservation. **Archivos de Zootecnia**. v. 51, p. 39-52, 2002.

GEBREMEDHIN, K. G. et al. Physiological responses of dairy cows during extended solar exposure. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 1, p. 239-247, jun. 2010.

HOFMAN, W. F.; RIEGLE, G. D. Thermo respiratory responses of shorn and unshorn sheep to mild heat stress. **Respiration Physiology**, v. 30, n. 3, p. 327-338, fev. 1977.

HOFMEYR, H. S. et al. Effects of temperature and wool length on surface and respiratory evaporative losses of sheep. **Journal of Applied Physiology**, v. 26, p. 517-523, 1969.

HOFMEYR, H. S.; GUIDRY, A. J.; WALTZ, F. A. Effects of temperature and wool length on surface and respiratory evaporative losses of sheep. **Journal Applied Physiological**, v.26, p.517-523, 1969.

HOFMEYR, M. D.; LOUW, G. N. Thermoregulation pelage conductance and renal function in the desert-adapted springbok, *Antidorcas marsupialis*. **Journal of Arid Environments**, v. 13, n. 2, p. 137-151, 1987.

JOHNSON, K. G. Body temperatures and respiratory rates of free-ranging Merino sheep in and out of shade during summer. **Crop and Pasture Science**, v. 42, n. 8, p. 1347-1357, 1991.

LIGEIRO, E.C.; MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Heat loss by cutaneous evaporation associated with hair coat morphological characteristics of dairy goats bred in tropical environment. **Revista Brasileira de Zootecnia** .v. 35, p. 544-549. 2006.

MAIA, A. S. C. et al. Thermal equilibrium of goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 58, p. 43-49, 2016.

MAIA, A. S. C; DASILVA, 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, jan. 2005.

MCMANUS, C.; PAIVA, S. Rezende; ARAÚJO, R. O. Genetics and breeding of sheep in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 236-246, jul. 2010.

NEIVA, J. N. M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. M. P.; MOURA, A. A. A. N. Effect of thermal stress on the physiological and performance parameters of sheep maintained in confinement in the northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 33, p. 668-678. 2004.

OLIVEIRA, S. E. O.; COSTA, C. C. M. Respiratory heat loss in Morada Nova sheep in Brazilian semi-arid regions. **Journal of Animal Biometeorology and Behaviour**, v. 1, n. 1, p. 17-20, 2013.

SAS Institute (2009) User's guide: statistics, version 9.3, 15th edn. SAS Institute, Cary, North Carolina.

SCHMIDT-NIELSEN, K. Animal physiology: adaptation and environment, 4th ed. Cambridge University, 1991.

SILANIKOVE, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. **Small Ruminant Research**, v. 35, n. 3, p. 181-193, jan. 2000.

SILVA, J. A. et al. **Comportamento termorregulatório e balanço de calor de ovinos Morada Nova mantidos a campo**. Em preparação. 2016.

SILVA, R. B. **Effect of environment in the physiological variables and methane emission associated to production and heat loss in sheep**. (Mestrado em zootecnia), Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, p. 28, ago. 2013.

SILVA, R. G. Biofísica ambiental: Os animais e seu ambiente. São Paulo, Brasil. 2008.

SILVA, R. G. et al. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, n. 5, p. 927-932, set. 2012.

SILVA, R. G. et al. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v. 46, n. 3, p. 136-140, fev. 2002.

SILVA, R. G., MAIA, A. S. C. Principles of animal biometeorology. New York. 2013.

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

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, p. 1143-1147, maio. 2011.

SILVA, R. G.; MINOMO, F.R. Circadian and seasonal variation of the body temperature of sheep in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 39, n. 2, p. 69-73, jul. 1995.

SILVA, R. G.; STARLING, J. M. C. Cutaneous and respiratory evaporation in sheep under high ambient temperatures. **Revista Brasileira de Zootecnia**.v. 32, p. 1956-1961, 2003.

SILVA, R.G.; LA SCALA JÚNIOR, N.; POCAI, P.L.B. Transmissão de radiação ultravioleta através do pelame e da epiderme de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1939-1947, 2001.

STARLING, J. M. C. et al. Analyses of some physiological variables for evaluation of adaptation level on sheep submitted to heat stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 31, p. 2070-2077, 2002.

STEVENS, D. G. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 1, p. 151-0153, 1981.

APÊNDICES

Material suplementar: Vídeo - acesso voluntário de ovelhas ao tronco de contenção e coleta de dados.



Figura 1: Protótipos utilizados durante o processo de habituação e condicionamento das ovelhas.



Figura 2: Colheita de dados.