

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

**EFEITO DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E
NA EMISSÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E A
PERDA DE CALOR EM OVINOS**

Rosiane Batista da Silva

Zootecnista

2013

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

**EFEITO DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E
NA EMISSÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E A
PERDA DE CALOR EM OVINOS**

Rosiane Batista da Silva

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

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

2013

S586e Silva, Rosiane Batista da
Efeito do ambiente nas variáveis fisiológicas e na emissão de metano associado à produção e à perda de calor em ovinos / Rosiane Batista da Silva. -- Jaboticabal, 2013
vii, 62 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Alex Sandro Campos Maia

Banca examinadora: Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes, Marcos Chiquitelli Neto

Bibliografia

1. Frequência respiratória. 2. Metabolismo animal. 3. Ovinos lanados. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.3:636.06

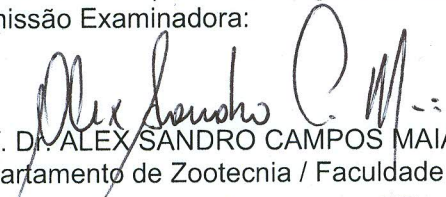
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E NA EMISSÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E A PERDA DE CALOR EM OVINOS

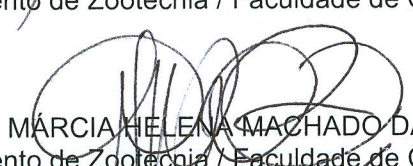
AUTORA: ROSIANE BATISTA DA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. MÁRCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MARCOS CHIQUITELLI NETO

Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 14 de agosto de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ROSIANE BATISTA DA SILVA, nascida em 16 de agosto de 1985, na cidade de Mossoró, localizada no estado do Rio Grande do norte, tem como filiação Rosilene da Silva Batista e Francisco Batista Neto. Em agosto de 2004 ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, onde em julho de 2009 graduou-se com o título de Zootecnista. Durante a graduação participou do grupo de estudo Núcleo de Biometeorologia e Bem-estar Animal – NUBEA. Participou de trabalhos de pesquisas na área de Biometeorologia animal, mais especificamente na produção e perda de calor em bovinos. Também participou de eventos e cursos nas diversas áreas da Zootecnia, com apresentações de resumos em congresso. Ingressou no curso de pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal-SP, em março de 2011 e foi bolsista da FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) a partir de março de 2012. Atuou na área de Bioclimatologia Animal com ruminantes, com enfoque para ovinos. Teve três resumos aceitos em congressos internacionais, sendo autora de um e coautora de dois nos anos de 2011 e 2013. Foi coautora de um artigo publicado na Revista Livestock Science em 2013.

Procure descobrir, por você mesmo, como o Senhor Deus é bom. Feliz
aquele que encontra segurança nele!

Salmos 34:8

Dedico

Aos meus amados pais Francisco Batista Neto e Rosilene da Silva Batista.

A minha querida irmã Rayane Carla Batista da Silva

Ao meu orientador Alex Sandro Campos Maia.

Aos integrantes do Laboratório de Bioclimatologia e do grupo Núcleo de Transferência de Calor e Massa Aplicada a Animais – NTCA.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do projeto 2011/05478-0 e pela concessão da bolsa para mestrado durante 15 meses. Sem esse apoio não seria possível a realização desse projeto, do qual foi originada a presente dissertação.

A Deus, o senhor da minha vida, pelo amor que tem por nós e seus ensinamentos. Sua palavra é poderosa e duradoura e sem ouvi-la as dificuldades teriam sido insuperáveis.

Aos meus pais e minha irmã pelo amor incondicional, dedicação, perseverança, fé, carinho e apoio em todos os momentos da minha vida. Agradeço por fazerem parte da minha caminhada e sempre ensinar-me o amor às pessoas, as dificuldades vencidas, o alcance dos objetivos, o aprendizado a partir dos próprios erros, a humildade e a dignidade acima de tudo, sempre seguindo de cabeça erguida.

Ao meu orientador Dr. Alex Sandro Campos Maia pela orientação, dedicação, paciência, ajuda e apoio durante todos os anos em que me orientou, desde a graduação até a pós-graduação. Obrigada por ensinar-me e aconselhar-me nesses sete anos de convivência e trabalho.

Aos amigos e integrantes do NTCA: Carolina Cardoso Nagib, Cintia Carol de Melo Costa, Marcos David de Carvalho, Sheila Tavares Nascimento, Stefan Edward Octávio de Oliveira por estarem presentes em momentos difíceis me ajudando, ensinando, corrigindo e conversando. Pela paciência e grande dedicação antes, durante e, principalmente, após a realização do experimento, pois sem esse apoio eu não conseguiria chegar ao final da dissertação.

À integrante do laboratório de Bioclimatologia Animal Ângela Arduino pelas conversas, preocupações, ajuda, dedicação, conselhos e paciência.

À amiga Cintia Carol de Melo Costa pela ajuda constante e apoio em todos os momentos, difíceis ou alegres, enquanto estivemos em Jaboticabal, sempre ouvindo-me e aconselhando-me com carinho e de forma encorajadora.

À amiga Hérica Girlane Tertulino Domingos pela amizade, conversas, conselhos, apoio e alegria, sempre ouvindo meus desabafos.

Ao amigo Willame Cândido pelo companheirismo, conselhos, conversas e momentos alegres.

Ao amigo Steffan Edward pelo apoio em todos os momentos durante esses anos em Jaboticabal.

A todos os meus familiares, principalmente, Elisângela Michelly, Isnacleide Marinho, Islena Marinho, Netrícia Tomaz, Daniel Dantas e Tiago Toeliton pelas orações e pelo sincero apoio que me deram.

Aos amigos de Jaboticabal Mirian, Roberto, Niara, Rosilene, Shirley, Tainara, Lisbeth, Leandro e Gustavo, outros pela amizade sincera durante esses dois anos e oito meses enquanto estive nessa cidade. Sentirei saudade de todos.

Aos amigos de Mossoró João Paulo, João Batista e Jacinara Hody pelo apoio e amizade mesmo distantes.

Aos professores doutores Márcia Helena e Marcos Chiquitelli por fazerem parte da banca de defesa da dissertação.

Ao professor doutor Newton LaScala Júnior pela participação no projeto que gerou a presente dissertação e compor a banca da minha qualificação.

Aos funcionários dos setores de Digestibilidade animal, Ovinocultura e todos os outros, principalmente Joãozinho, Edson e Henrique pela ajuda direta ou indireta para a execução desse trabalho.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual
Júlio de Mesquita Filho por fornecer suporte para a realização do projeto.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Fontes de Emissão de metano	3
2.2. Produção mundial e nacional de ovinos	4
2.3. Controle termorregulatório	5
2.4. Mecanismos de transferência de calor	7
2.4.1. Calor sensível	7
2.4.2. Calor latente	8
2.4.3. Evaporação cutânea	8
2.4.4. Evaporação respiratória	9
2.5. Produção de calor metabólico e emissão de metano entérico..	11
2.5.1. Determinação da produção de calor e mensuração de metano	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Animais e etapas de habituação	18
3.2. Coleta de dados	20
3.3. Variáveis meteorológicas	21
3.4. Variáveis fisiológicas	22
3.4.1. Temperatura da superfície do pelo (T_{SP} , °C)	23
3.4.2. Temperatura da epiderme (T_{SE} , °C)	23
3.4.3. Temperatura interna (T_b , °C)	23
3.4.4. Volume respiratório e frequência respiratória	23
3.5. Produção de calor metabólico	24
3.6. Perda de calor latente no sistema respiratório (E_R , $W\ m^{-2}$)	26

3.7. Emissão entérica de metano (E_{CH_4} , L s ⁻¹)	27
3.8. Análise estatística	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. Variáveis meteorológicas	30
4.2 Variáveis fisiológicas	33
4.2.1. Temperaturas corporais	33
4.2.2. Frequência respiratória e volume respiratório	38
4.3. Produção de calor metabólico	41
4.4. Perdas de calor latente	44
4.5 Emissão de metano entérico	46
5. CONCLUSÃO	51
6. REFERÊNCIAS	52

EFEITO DO AMBIENTE NAS VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E NA EMISSÃO DE METANO ASSOCIADO À PRODUÇÃO E À PERDA DE CALOR EM OVINOS

RESUMO – A agropecuária é uma das fontes que mais contribui com a emissão de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), os quais participam do processo natural de efeito estufa. A pecuária por meio da fermentação entérica é uma importante emissora de metano. Portanto, são necessários estudos e desenvolvimentos de técnicas que abordem como a emissão de metano entérico ocorre relacionando-a com variáveis ambientais como temperatura ambiente, umidade relativa, perdas de vapor d'água (H_2O) e radiação solar. Por conseguinte, o presente estudo objetivou entender o comportamento das variáveis fisiológicas e do metano entérico emitido pelos ovinos, relacionando com as variáveis ambientais. A temperatura da epiderme apresentou coeficientes de correlação de 0,800 ($P < 0,0001$), -0,4187 ($P = 0,0042$) e 0,8516 ($P < 0,0001$) com a temperatura do ar, umidade relativa e temperatura radiante média, respectivamente. A temperatura da superfície do velo apresentou coeficientes de correlação de 0,9637 ($P < 0,0001$), -0,7888 ($P < 0,0001$) e 0,9641 ($P < 0,0001$) com a temperatura do ar, umidade relativa e temperatura radiante média, respectivamente. Observou-se para o horário entre as 8:00 e 10:00 uma média de 149 resp.min⁻¹ e 168 resp.min⁻¹ para o horário entre as 12:00 e 14:00. A média geral observada para a perda de calor latente no trato respiratório dos ovinos ao longo do período experimental foi igual a 17,68 W m⁻². Os animais apresentaram uma quantidade média geral de metano emitido de 0,40 g h⁻¹ e 4,7 g dia⁻¹ (ao longo de somente dez horas de avaliação), sendo essa emissão mensurada continuamente e, não de modo pontual. Ao serem observadas as correlações entre a emissão e as variáveis ambientais encontraram-se valores para os coeficientes de correlação iguais a -0,4492 ($P = 0,0025$) para a temperatura do ar, 0,5559 ($P < 0,0001$) para a umidade relativa, -0,4950 ($P = 0,0010$) para a temperatura radiante média, o que pode indicar que o ambiente influencia também a emissão. As variáveis ambientais influenciaram as respostas fisiológicas dos ovinos. A quantidade de metano entérico pode ser mensurada de modo contínuo ao longo do dia. A temperatura da superfície do velo, a perda de calor por evaporação respiratória e a emissão de metano entérico são influenciadas pela condição ambiental a qual os animais são expostos.

Palavras-chave: Frequência respiratória, metabolismo animal, ovinos lanados.

EFFECT OF ENVIRONMENT IN THE PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND METHANE EMISSIONS ASSOCIATED TO HEAT PRODUCTION AND HEAT LOSS IN SHEEP

ABSTRACT – Livestock is one of the sources that contributes more effectively to the emission of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), which participate of the natural process of greenhouse effect. Livestock through the enteric fermentation is an important emitter of methane. Therefore, studies are needed and development of techniques that address how enteric methane emission occurs relating it to environmental variables such as ambient temperature, relative humidity, loss of water vapor (H_2O) and solar radiation. Therefore, this study aimed to understand the behavior of physiological variables and enteric methane emitted by sheep, relating to the environmental variables. Skin temperature showed correlation coefficients of 0,800 ($P < 0,0001$), -0,4187 ($P = 0,0042$) and 0,8516 ($P < 0,0001$) with the air temperature, relative humidity and mean radiant temperature, respectively. The fleece surface temperature showed correlation coefficients of 0,9637 ($P < 0,0001$), -0,7888 ($P < 0,0001$) and 0,9641 ($P < 0,0001$) with the air temperature, relative humidity and mean radiant temperature, respectively. For hours among 8:00 and 10:00 a.m. the mean respiratory rate was $149 \text{ resp min}^{-1}$ and among 12:00 and 14:00 p.m. it was $168 \text{ resp min}^{-1}$. The mean of respiratory evaporation during the experimental period was of $17,68 \text{ W m}^{-2}$. The animals showed a average of methane emitted of $0,40 \text{ g h}^{-1}$ and $4,7 \text{ g day}^{-1}$ (just over ten hours of evaluation) being the measurements made continuously, . To be observed correlations between emission and environmental variables were found values for the coefficients of correlation from -0,4492 ($P = 0,0025$) for the air temperature, 0,5559 ($P < 0,0001$) for relative humidity -0,4950 ($P = 0,0010$) for the mean radiant temperature, which can indicate that the environment also affects the emission. Environmental variables influenced the physiological responses of sheep. The amount of enteric methane can be measured continuously throughout the day. The surface temperature of the fleece, heat loss by respiratory evaporation and enteric methane emissions are influenced by environmental condition which the animals are exposed.

Keywords: Animal metabolism, respiratory rate, wool sheep.

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
Tabela 1 – Esquema do tempo de permanência dos animais no tronco de contenção durante a habituação com e sem o uso da máscara facial	20
Tabela 2 – Plano experimental da coleta de dados	21
Tabela 3 – Médias, valores mínimos e máximos para as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T_A), umidade relativa do ar (U_R), temperatura radiante média (T_{RM}) e radiação de ondas curtas (R_C) observadas durante a coleta de dados	30
Tabela 4 – Temperatura do ar (T_A , °C) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos	32
Tabela 5 – Umidade relativa do ar (U_R , %C) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos	32
Tabela 6 – Temperatura radiante média (T_{RM} , °C) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos	32
Tabela 7. Radiação de ondas curtas (R_C , $W\ m^{-2}$) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos	32
Tabela 8 – Coeficientes de correlação e probabilidade (P) entre as temperaturas das superfícies da epiderme (T_{SE}) e do velo (T_{SP}) e a temperatura do ar (T_A), temperatura radiante média (T_{RM}) e umidade relativa (U_R)	37
Tabela 9 – Coeficientes de correlação e probabilidade (P) entre a emissão de metano (E_{CH_4}) e as temperaturas do ar (T_A), radiante média (T_{RM}), das superfícies da epiderme (T_{SE}) e do velo (T_{SP}) e umidade relativa (U_R)	49

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 – Organograma geral da coleta	18
Figura 2 – Habituação dos animais da pesquisa	19
Figura 3 – Máscara facial respiratória desenvolvida para ovinos no Laboratório de Bioclimatologia da UNESP, Campus de Jaboticabal	25
Figura 4 – Sistema de calorimetria indireta com o uso da máscara facial desenvolvida pelo Laboratório de Bioclimatologia da UNESP de Jaboticabal. No sistema, O ₂ , CO ₂ , vapor de água e o metano no ar inspirado e expirado pelos animais são mensurados simultaneamente. Esse sistema também mensura continuamente a frequência respiratória e o volume respiratório	26
Figura 5 – Valores médios ($\pm$ EP) das variáveis meteorológicas: temperatura do ar (T _A), temperatura radiante média (T _{RM}), Umidade Relativa (U _R) e Radiação de ondas curtas (R _S) nos horários de avaliação durante o período experimental em Jaboticabal – SP, no mês de outubro de 2012	31
Figura 6 – Médias ($\pm$ EP) das variáveis fisiológicas temperatura retal (T _{retal}), temperatura da epiderme (T _{ep}) e temperatura da superfície do pelo (T _{pel}) de ovinos machos da raça Corriedale nos horários de avaliação durante o período de coleta de dados. Letras iguais para cada uma das temperaturas corporais não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05)	34
Figura 7 – Médias da temperatura retal (°C) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey (P < 0,05)	35
Figura 8 Médias da temperatura de superfície do pelo (°C) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a nove, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey (P < 0,05)	37
Figura 9 – Médias e erros padrão do volume respiratório (V _R) em L s ⁻¹ e frequência respiratória (F _R) em resp.min ⁻¹ de ovinos da raça Corriedale nos diferentes horários de coleta, nos quais letras iguais	

para a mesma variável não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$)	39
Figura 10 – Médias e seus erros padrão do volume respiratório (V_R) em $L\ s^{-1}$ e frequência respiratória (F_R) em respirações $minuto^{-1}$ de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$)	40
Figura 11 – Médias e seus respectivos erros padrão do metabolismo ($W\ m^{-2}$) de ovinos da raça Corriedale nos diferentes horários de coleta.....	42
Figura 12 – Médias do metabolismo ($W\ m^{-2}$) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$)	43
Figura 13 – Médias da perda de calor latente por meio da respiração ($W\ m^{-2}$) de ovinos da raça Corriedale em diferentes horários de coleta, onde letras iguais não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$)	45
Figura 14 – Médias da emissão de metano ($g\ h^{-1}$) de ovinos da raça Corriedale (Dados mensurados) e da raça da Mongólia em diferentes horários de coleta (Wang et al., 2007), onde letras iguais para as médias dos dados mensurados no presente trabalho não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$)	47

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são temas de grandes debates, os quais sempre geram muita polêmica em torno das suas reais causas e consequências para a população mundial e meio ambiente. Alterações climáticas essas, oriundas da elevação na concentração de gases do efeito estufa (GEE'S) que em parte são produzidos pela agropecuária brasileira, a qual contribue principalmente com a emissão de metano (CH_4) entérico e dióxido de carbono (CO_2).

Os ruminantes tem sido um dos principais contribuintes para o efeito estufa (STEINFELD et al., 2006). As perdas via fermentação entérica (eructação) no processo de digestão dos ruminantes produz cerca de 80 milhões de toneladas de metano mundialmente ao ano (BEAUCHEMIN et al, 2008). Portanto, são necessários estudos e desenvolvimentos de técnicas que abordem como a emissão de metano entérico ocorre, ou seja, seu comportamento ao longo do dia relacionando às variáveis ambientais como temperatura ambiente, umidade relativa, perdas de vapor d'água (H_2O) e radiação solar.

Mirzaei-Aghsaghali e Maheri-Sis (2011) relatam que na atmosfera o metano encontra-se em menor proporção em relação ao dióxido de carbono, entretanto apresenta um potencial de absorção de energia que é 21 vezes maior que o CO_2 . Se as emissões de metano elevarem-se em proporção direta com o aumento do número de animais, a produção global desse gás emitido pela pecuária terá um aumento de 60% até 2030 (FAO, 2003; IPCC, 2007). No entanto, o desenvolvimento de novas tecnologias e mudanças no manejo alimentar, nas dietas dos animais e dejetos podem reduzir este aumento, além de inovações de metodologia para mensuração do CH_4 .

Algumas técnicas utilizadas para mensurar a quantidade de metano entérico emitido pelos ruminantes, principalmente ovinos, são a calorimetria indireta por meio de câmaras respirométricas ou máscaras faciais e uso do gás traçador SF_6 (hexafluoreto de enxofre) (STORM et al., 2012). A utilização da máscara facial para quantificar a emissão desse gás permite o animal trocar calor com o ambiente, pois isola apenas o focinho do animal. No entanto, as pesquisas realizadas com essas técnicas mensuram o metano de modo pontual, e não de maneira contínua durante

o dia. Assim, a emissão de CH_4 avaliada continuamente pode mostrar o comportamento da mesma para as diferentes espécies estudadas, inclusive os ovinos, melhorando a compreensão em relação à produção desse gás.

O rebanho ovino brasileiro possui em torno de 17.662.201 cabeças, sendo fonte de alimentos como leite e carne e produto como a lã. A demanda mundial por alimentos e produtos de origem animal como lã deve aumentar em 100% até 2050, impulsionada pelo crescimento da população mundial para mais de nove bilhões de pessoas e pelo crescimento econômico, principalmente da China, Índia, Europa Oriental e América Latina (ARMSTRONG, 2009).

Por conseguinte, o presente estudo objetivou interpretar o comportamento das variáveis fisiológicas e da emissão de metano entérico de ovinos ao longo do dia em relação às variáveis ambientais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fontes de emissão de metano

Na atmosfera existem gases essenciais para a manutenção da vida no planeta como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3) e ainda o vapor de água, os quais tem a função de absorver parte da radiação de ondas longas emitida pela superfície da Terra (SILVA e MAIA, 2013). Sabendo-se que a quantidade de energia térmica absorvida por um corpo é emitida pelo mesmo (SILVA, 2008), o CH_4 e CO_2 absorvem e emitem energia térmica através de ondas longas para a superfície terrestre, ocorrendo assim, o processo chamado de efeito estufa. O metano comparado ao CO_2 está em menor proporção na atmosfera, no entanto, segundo Mirzaei-Aghsaghali e Maheri-Sis (2011) o metano tem mais impacto, pois possui um potencial de absorção de energia que é 21 vezes maior que o dióxido de carbono. Já Oliveira et al (2011) cita que a propriedade de absorção do metano é de 23 mais que o CO_2 . O metano é um hidrocarboneto abundante na atmosfera, na qual sua concentração é 1,72 ppm (partes por milhão).

As principais fontes de emissão de dióxido de carbono são a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e queimadas no setor agrícola (OLIVEIRA et al., 2011).

De acordo com o IPCC (2007), a maioria das emissões globais de metano são de origem antropogênica como plantações de arroz, produção de ruminantes, liberação do uso de combustíveis fósseis e sítios de aterro, sendo que a maior fonte de liberação de CH_4 para o meio ambiente ocorre através da agropecuária, principalmente pelo cultivo alagado de arroz e a pecuária (BERNDT, 2010).

De acordo com o Segundo Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2009), a agropecuária é uma fonte de emissão de metano que correspondeu a 71% da emissão nacional total desse gás no ano de 2005. Esse mesmo Inventário Brasileiro mostra que a fermentação entérica (eructação) presente no processo de digestão dos ruminantes é responsável pela emissão de 12017×10^3 toneladas de metano, ou seja, 63,3% da

produção total desse gás. Já Beauchemin et al. (2008) mostra que esse processo de fermentação entérica mundial produz anualmente 80 milhões de toneladas de CH_4 .

Cerca de 90% de metano emitido pelos ruminantes vem da fermentação no rúmen e cerca de 10% de fermentação no intestino grosso (JOBLIN, 1999). As proteínas, lipídeos e, principalmente carboidratos, são transformados por microrganismos como o grupo metanogênico *Archaea* em ácidos graxos de cadeia curta, sendo os mais importantes o acético, propiônico e butírico representando uma fonte de energia para os ruminantes (RIVERA, 2006). No rúmen, o H_2 produzido durante a fermentação é utilizado pelos microrganismos para reduzir o CO_2 a CH_4 , o qual torna-se um removedor de hidrogênio ruminal evitando uma alta concentração deste (INTHAPANYA, 2012; MOSS et al., 2000). O excesso de H_2 durante o processo de digestão torna o meio ruminal mais ácido podendo interferir na ação dos microrganismos, os quais necessitam de um ambiente com pH adequado de 5,5 a 7 (BERCHIELLI et al., 2011).

A maior quantidade de H_2 liberado é decorrente principalmente da produção dos ácidos acético e butírico (NASCIMENTO et al., 2007). Uma dieta composta por uma maior proporção de volumoso:concentrado, ou seja, maior quantidade de carboidratos não solúveis (fibra), causa uma produção mais elevada de ácido acético, principal substrato para a formação do CH_4 (BERCHIELLI et al., 2011). Portanto, uma dieta balanceada com níveis de volumoso e concentrado adequados são fundamentais para o correto funcionamento do rúmen.

2.2 Produção mundial e nacional de ovinos

Segundo Viana (2008), a ovinocultura está presente em praticamente todos os continentes devido, principalmente à adaptação da espécie a diferentes climas, relevos e vegetações. O rebanho mundial de ovinos é de 1,034 bilhão de ovinos, destacando-se a China (136,9 milhões), a Austrália (113,0 milhões), Índia (58,8 milhões), Irã (53,9 milhões), o Sudão (47,0 milhões) e a Nova Zelândia (43,1 milhões), os quais juntos detém 43,8% do total mundial (SILVA, 2004).

A espécie apresenta-se como alternativa de exploração tanto para o pequeno, médio ou grande produtor, podendo adaptar-se a diferentes sistemas de produção, desde os mais tecnificados até os mais simples (PEREZ et al., 2008).

O Brasil apresentava um rebanho de 17.662.201 cabeças de ovinos segundo o IBGE (2011). Esse número representa 1,6 % da população ovina mundial, de acordo com a FAO (2010). Em 2010, o efetivo de ovinos no Brasil foi de 17.380.581 animais, apresentando um aumento de 3,4% quando comparado a 2009 (IEPEC, 2012). Já de acordo com o IBGE (2012), o rebanho brasileiro detém mais de 20 milhões de animais com características diferentes, sendo lanados ou completamente deslanados.

2.3 Controle termorregulatório

A termorregulação é um processo para o controle de energia térmica de qualquer sistema físico. Em organismos vivos esta energia térmica é produzida por meio de processos metabólicos associados às funções vitais e, juntamente com estes ocorrem trocas de energia, com perdas e ganhos, entre o organismo e o ambiente (SILVA e MAIA, 2013).

Silva (2000) cita que os animais homeotérmicos mantêm a variação da quantidade de calor estocado dentro de limites especificados e estreitos independentemente das alterações térmicas ambientais. Para a manutenção da temperatura corpórea dentro desses limites, o animal necessita regular a velocidade do ganho e da perda de calor (ROBINSON, 2004).

Os animais endotérmicos apresentam elevado custo energético demandando alta taxa metabólica por grama de tecido necessitando, assim, de maior quantidade de alimento com aumento da taxa de ventilação respiratória (SILVA, 2008).

Os animais mantidos em temperatura do ar elevada estão sujeitos ao estresse (AENGWANICH et al., 2011) em decorrência de um balanço negativo entre a quantidade do fluxo de energia do animal para o ambiente circundante e a energia calórica produzida dentro do seu corpo. As alterações que induzem esse desequilíbrio envolvem a combinação entre fatores ambientais (radiação térmica, temperatura do ar), propriedades dos animais (taxa de metabolismo e perda de

umidade) e mecanismos termorregulatórios (condução, radiação, convecção e evaporação) (ST-PIERRE et al., 2003).

Nos trópicos, as temperaturas do ambiente frequentemente superam a zona de conforto, sendo importante que os animais estejam aclimatados a esse meio, pois as mesmas em associação com a radiação solar diminui a ingestão de alimentos, reduzindo o tempo de pastejo e a produção de calor digestivo (MCMANUS et al, 2011).

Starling et al. (2002) avaliando ovinos da raça Corriedale com aproximadamente um ano de idade, observaram que ao elevar a temperatura ambiental, a taxa de evaporação nos animais também aumentou.

As raças de ovinos lanados suportam uma temperatura um pouco mais baixa, sendo seu limite crítico, aproximadamente, -15°C . Quando a temperatura ambiente encontra-se abaixo daquela mínima de conforto, mecanismos de controle térmico são ativados pelo sistema nervoso central do animal como a produção de energia térmica corporal (termogênese), vasoconstrição diminuindo a circulação sanguínea superficial e, conseqüentemente, a transferência de energia térmica do interior do corpo para o ambiente (SILVA, 2000).

Quando ultrapassado o limite crítico superior, ocorre a vasodilatação (dilatação das veias cutâneas) no animal, aumentando, assim, o fluxo sanguíneo, já que a energia é transportada mais rapidamente através do corpo pela corrente sanguínea e os mecanismos de perda de calor (termólise) como a evaporação cutânea e respiratória também são eficientes (MEDEIROS e VIEIRA, 1997). Nesta situação, os neurônios inibem os mecanismos de ganho e ativam os mecanismos de perda de energia, exercendo um importante papel integrador de todas as informações oriundas das várias regiões do organismo além de ser inerentemente sensível às alterações térmicas locais (LUCENA, 2013).

Os impactos do estresse calórico são variados e conforme Brown-Brandl et al. (2005) vão de pouco ou nenhum efeito em uma breve exposição calórica até a morte de animais vulneráveis expostos ao calor extremo. Segundo Sejian et al. (2010), animais geralmente expostos a diversos fatores estressantes podem aclimatar-se ao meio através da termorregulação, no entanto interferindo no seu potencial produtivo e reprodutivo.

2.4 Mecanismo de transferência de calor

Nos animais endotérmicos, os mecanismos de termorregulação ou de controle da temperatura encarregam-se de manter certa estabilidade na temperatura das várias regiões do corpo, apesar das oscilações na temperatura ambiente (OLIVEIRA, 2007).

As trocas de energia térmica do animal com o ambiente são realizadas na forma de calor sensível, através da condução, convecção e radiação e de calor latente por evaporação cutânea e respiratória (SILVA E MAIA, 2013).

2.4.1 Calor Sensível

O fluxo de calor sensível depende da existência de um gradiente de temperatura entre o animal e o meio, sendo assim a energia térmica transferida de um corpo com temperatura maior para outro com esta menor (INCROPERA et al., 2008).

Maia et al. (2005b) citam que as perdas de calor sensível são reguladas pelo gradiente de temperatura e velocidade do ar, enquanto que aquelas por evaporação são controladas pelo gradiente de pressão de vapor.

Segundo Silva (2008), o mecanismo de transferência de calor por radiação é realizado através da emissão de ondas eletromagnéticas que apresentam diferentes comprimentos, sendo quanto menores estes maior a energia emitida pelo corpo; no caso dos animais a emissão de calor ocorre através de ondas longas.

Por meio da condução, a troca de calor acontece através do contato entre corpos pela energia cinética da movimentação das moléculas (SILVA, 2000). Medeiros e Vieira (1997) citam que a convecção é o processo pelo qual a energia térmica é transferida por fluidos, líquidos ou gases que absorvem e deslocam a mesma para outros menos aquecidos através da diferença de temperatura (MEDEIROS e VIEIRA, 1997), a qual ocasiona mudança na densidade. Como esses processos de transferência de calor dependem de um gradiente de temperatura

entre o animal e o ambiente, tornam-se mecanismos de ganho de calor para o animal se a temperatura ambiental for superior (AZEVEDO E ALVES, 2009).

2.4.2 Calor Latente

A dissipação de calor latente depende da diferença na quantidade de vapor de água presente no meio, ou seja, porcentagem de umidade relativa do ar, já que a energia térmica é transferida de um corpo a outro através da difusão de moléculas sem alteração da sua temperatura.

A perda de calor latente por meio da evaporação pode ocorrer por dois processos: através da superfície da epiderme (evaporação cutânea) e do trato respiratório (evaporação respiratória) (SILVA, 2000).

2.4.3 Evaporação Cutânea

A perda de calor por evaporação em bovinos e ovinos ocorre principalmente na superfície da epiderme, sendo este processo responsável por quase 80% da perda total de energia térmica (SILVA E STARLING, 2003; FINCH, 1985). Ligeiro et al., (2006) encontraram para cabras leiteira um valor médio para evaporação cutânea de $72,17 \text{ W m}^{-2}$.

Em vacas holandesas, a perda de calor por evaporação cutânea aumentou conforme a temperatura do ar elevou-se, principalmente, acima de 27°C , fazendo com que a evaporação na superfície da epiderme torne-se a principal via de perda de calor enquanto a convecção e radiação térmica tornaram-se meios fracos ou de ganho de calor, respectivamente (MAIA et al., 2005b). Esses autores verificaram também que o potencial da evaporação na superfície da epiderme diminuía quando umidade relativa do ar aumentava.

A umidade atmosférica influencia o balanço térmico em ambientes quentes em que a perda de calor por evaporação é crucial à homeotermia (YOUNG, 1988). Maior pressão de vapor devido à alta umidade do ar conduz a uma menor evaporação da água presente no animal para o meio, tornando o resfriamento do mesmo mais lento (MCDOWELL, 1974). Portanto, uma pressão de vapor menor

proporciona um resfriamento mais rápido no animal em decorrência da maior taxa de evaporação da água através da pele (RODRIGUES et al., 2010) e do aparelho respiratório.

Em ovinos lanados, a lã afeta a evaporação cutânea (SILVA, 2000), sendo essa higroscópica retardando a perda de calor latente para o ambiente. Maia et al. (2009) trabalhando com a temperatura e a movimentação do ar em câmara climática verificaram que a lã dos ovinos não é eficiente no processo de dissipação de calor. A presença de lã, principalmente sua espessura, interfere na perda de calor através da evaporação de água da pele (MCMANUS et al., 2011). Amaral et al. (2009) citam que os ovinos deslanados são melhor aclimatados ao estresse por calor em relação aos ovinos lanados.

2.4.4 Evaporação Respiratória

Em condições de temperatura ambiente de 12°C a dissipação de calor pelos ovinos através da evaporação respiratória é de 20%, enquanto que em temperaturas acima de 35°C essa é responsável por 60% do calor total perdido (QUESADA, 2001). De acordo com Rodrigues et al (2010), em relação à perda de energia térmica por evaporação nos animais, a ofegação é um dos primeiros mecanismos que utilizam o calor latente de vaporização da água para aumentar essa dissipação de energia térmica. Os ruminantes necessitam liberar continuamente grande quantidade de calor metabólico para evitar o superaquecimento corporal e elevação de sua temperatura interna (GEBREMEDHIN e BINXIN, 2001).

Uma taxa respiratória de 80 a 90 respirações por minuto observada em vacas indica que estas já estão sob estresse térmico (STOWELL, 2000). Starling et al. (2002), avaliando os ovinos da raça Corriedale utilizando câmara climática a 20°C e 40°C encontraram frequências respiratórias de $124,9 \pm 12,50$ e $182,1 \pm 10,90$ respirações.minuto⁻¹ (resp min⁻¹), respectivamente. As trocas respiratórias são o principal mecanismo de termólise em ovinos lanados (STARLING et al., 2005). A evaporação no trato respiratório depende diretamente da frequência respiratória, mas uma taxa respiratória elevada pode conduzir graves danos fisiológicos nos

animais, tais como a diminuição da pressão parcial do CO₂ no sangue arterial (MAIA, 2005).

Silva (2010), ao estudar as variações circadianas de respostas termorreguladoras em ovinos Morada Nova verificou que esses animais utilizavam em todos os horários do dia a termólise respiratória como resposta imediata à elevação da temperatura ambiente.

McManus et al. (2009), em estudos com ovinos, observaram que o incremento da frequência respiratória observado pode ser considerado o principal mecanismo de controle da homeotermia sob as condições ambientais impostas, acompanhado pela taxa de sudação que atua na perda de calor.

Johnson e Strack (1992) em um intervalo de temperatura ambiente de 31 a 37°C e umidade relativa entre 13 e 28% verificaram que os ovinos quando expostos ao sol aumentaram a frequência respiratória variando de 115 a 121 movimentos respiratórios minuto⁻¹.

O vapor de água é eliminado nas vias respiratórias à temperatura corporal profunda, de modo que o ar estaria saturado a esta temperatura (SILVA, 2000) e ocorreria um resfriamento do mesmo, sendo eliminado a uma temperatura mais baixa que a interna. Porém, Stevens (1981) demonstrou que a eliminação de vapor de água pela respiração em vacas é consideravelmente superestimada quando se baseia na expiração do ar, o qual está saturado à temperatura corporal profunda. Silva (2000) mostra ainda que o ar inspirado pelos animais ao passar pelas vias nasais, laringe, traquéia e grandes brônquios que apresentam superfícies úmidas e onde ocorre uma evaporação prévia dessa umidade, resfria-se sendo eliminado a uma temperatura mais baixa que a interna.

De acordo com Starling et al. (2002), o volume de ar inspirado, a temperatura corporal e a umidade do ar são fatores importantes durante a evaporação no trato respiratório. Como a eliminação de calor pelo sistema respiratório ocorre com a elevação da taxa de respiração, aumenta-se o fluxo respiratório (MAIA, 2005), ou seja, o número dos ciclos respiratórios a cada minuto. Em uma região semiárida com a temperatura do ar de 33,1°C e do globo negro de 44,8°C, vacas leiteiras aumentaram sua frequência respiratória para 78,8 respirações.minuto⁻¹ comparada àquela de 36,6 respirações.minuto⁻¹ encontrada em ambiente a 23,2°C (SILVA et al.,

2012). Esses autores verificaram que a evaporação na superfície da epiderme contribuiu com 72,7% da perda total de calor latente no Semiárido, reduzindo a necessidade de aumentar as taxas respiratórias, diminuindo assim possíveis problemas causados pela redução CO_2 no sangue e elevada excreção de HCO_3 através dos rins (alcalose respiratória).

2.5 Produção de calor metabólico e emissão de metano entérico

A produção de energia metabólica nos animais homeotérmicos é influenciada por diferentes condições, sejam o clima ou o tipo de alimentação, reduzindo ou aumentando o metabolismo.

A produção de calor pelo metabolismo depende do nível de atividade orgânica, tamanho do animal além de não se apresentar constante em todos os tecidos, como por exemplo, tecidos nervoso, muscular e glandular apresentam maiores atividades metabólicas (SILVA, 2000).

Por conseguinte, quanto mais elevada a produtividade de um animal, as dificuldades são maiores para manter sua produção em um ambiente com temperaturas elevadas se os seus mecanismos de dissipação de calor não forem eficientes (PIRES, 2006). Essa autora cita ainda que o equilíbrio entre a perda e o ganho de energia térmica é prejudicado e parte do calor gerado metabolicamente acumula-se. Na tentativa de minimizar o acúmulo desse calor, o metabolismo é reduzido e, conseqüentemente, a energia destinada à produção do animal é diminuída para ser utilizada prioritariamente no processo de termorregulação (OLIVEIRA, 2007).

Aproximadamente um terço da carga térmica de um animal em ambiente quente é produzido pelo metabolismo (FINCH, 1986), tornando a respiração responsável por cerca 15% das perdas de calor. Durante o processo metabólico, oxigênio é consumido e gás carbônico e calor são eliminados para o meio externo (DIENER, 1997). Portanto, o consumo de O_2 varia com a temperatura e quando os animais são expostos à elevação desta tendem a aumentar o consumo de O_2 quando atingem a sua temperatura crítica superior (SILVA, 2000).

O metabolismo e a emissão de metano são influenciados pela quantidade de

alimento ingerido, do seu grau de digestibilidade e da intensidade da atividade física do animal (CANESIN, 2009), e em função das diversas práticas de criação. Wang et al. (2007) encontraram valores médios para produção de metano de acordo com a composição da dieta oferecida aos ovinos, sendo 21,19 g kg⁻¹ de matéria seca digerida e 238,49 g kg⁻¹ de proteína bruta digerida. Para o desenvolvimento de modelos de predição da emissão de CH₄, Ellis et al. (2007) considerou a ingestão de matéria seca, o consumo de energia metabolizável, a quantidade de fibra detergente neutro e fibra em detergente ácido, extrato etéreo, lignina e proporção de forragem.

Já Beauchemin e McGinn (2006a) comparando dietas compostas por grãos e forragem mostraram que não houve diferença estatística para a emissão de metano entre os dois tipos de alimento, no entanto houve uma maior quantidade emitida desse gás (em termos numéricos) com alimentação rica em grãos, porém foi resultado de um maior consumo. Pelchen e Peters (1998) mostraram que a emissão de metano em ovinos (g dia⁻¹) aumentou com a maior quantidade de teor de fibra bruta até aproximadamente 18% na matéria seca da ração e diminuiu quando esse teor elevou-se. Esses autores explicam que a redução da emissão devido ao teor de fibra bruta ser maior que 18% foi decorrente da diminuição da digestibilidade e consequente diminuição do consumo de matéria seca.

Como a emissão de CH₄ é dependente do tipo de dieta fornecida aos animais, Johnson e Johnson (1995) adicionaram lípidos à alimentação dos mesmos para reduzir a produção de metano, diminuindo a fermentação de matéria orgânica ruminal. O CH₄ entérico é produzido em condições anaeróbias no rúmen por microorganismos metanogênicos, como o grupo *Archaea*, os quais utilizam o H₂ como fonte de energia para reduzir o CO₂ em CH₄. (INTHAPANYA et al., 2011; MOSS, 2000). Esse processo químico de degradação e conversão dos nutrientes, além de gerar metano também produz calor que são eliminados através da eructação (INTHAPANYA et al., 2011).

Beauchemin e McGinn (2006a) citam que a produção de metano através da fermentação microbiana no rúmen representa uma perda de produtividade energética para o animal. Wang et al. (2007) observaram um pico na emissão de metano de aproximadamente 1,3 g h⁻¹ animal⁻¹ às 14:00, cerca de 5 a 6 horas após a primeira ingestão de alimento. Os mesmos autores encontraram outro valor

máximo para o metano emitido às 20:00 de $1,5 \text{ g h}^{-1} \text{ animal}^{-1}$.

2.5.1 Determinação da produção de calor e mensuração de metano

Para determinar a produção de calor metabólico pode-se utilizar o método de calorimetria direta e indireta. No sistema de calorimetria direta mensura-se o calor produzido por um organismo através da alteração de temperatura que o mesmo provoca no meio, ou seja, a quantidade de calor perdida pelo animal (DIENER, 1997; SILVA, 2011). Por meio da calorimetria indireta, a produção de calor é mensurada pela quantificação de produtos oriundos do metabolismo do animal como as trocas gasosas realizadas entre o este e o ambiente (DIENER, 1997).

A calorimetria indireta é um método não invasivo para o animal que determina a taxa de utilização dos substratos energéticos a partir do consumo de oxigênio e da produção de dióxido de carbono obtidos por análise do ar inspirado e expirado pelos pulmões (BRANSON, 1990). Silva e Maia (2013) citam que esse método mensura o gasto energético diário por meio da determinação das trocas gasosas pulmonares, ou seja, do volume do oxigênio consumido e do dióxido de carbono produzido durante o ciclo respiratório. A taxa de oxidação dos substratos energéticos, glicídicos, lipídicos e protéicos, e a energia liberada na forma de calor metabólico podem ser calculadas utilizando-se a quantificação dos volumes expiratórios do oxigênio e do gás carbônico. Os carboidratos e lipídios são oxidados a CO_2 e H_2O e os produtos da degradação da proteína liberam N_2 (nitrogênio) que na forma de uréia é excretado na urina (RAMIRES, 2011).

No método de calorimetria indireta é utilizado o processo de respirometria com sistema de circuito fechado ou aberto de circulação do ar. A respirometria de circuito fechado consiste em uma câmara fechada com controle de temperatura e umidade (SILVA, 2011). Há uma bomba para a circulação do ar do interior da câmara para recipientes contendo substâncias desumidificadoras e posteriormente que absorvam o CO_2 , assim retornando ao interior dessa iniciando outro ciclo de respiração; também é acoplado um cilindro contendo O_2 que mantém a sua concentração no interior da câmara (SILVA, 2011).

De acordo com o último autor citado anteriormente, a determinação da

quantidade de CO₂ eliminado e O₂ consumido é realizada por meio de quantificação de cada gás antes e após cada ciclo de mensuração e as amostras de ar do interior da câmara também são retiradas igualmente e analisadas por cromatografia.

A respirometria com método de circuito aberto pode ser realizada por meio de câmaras ou de máscaras faciais. Por meio da câmara respirométrica há uma vedação que não permite troca gasosa entre o ar no interior da mesma e o externo, exceto o ar do sistema de circulação (STORM et al., 2012). Esta circulação é realizada por uma tubulação acoplada à bomba que renova o ar no interior da câmara constantemente durante o período de mensuração evitando, assim, uma concentração alta de CO₂ dentro dessa. O fluxo de ar é regulado e corrigido por um fluxômetro em função da temperatura, pressão e umidade (SILVA, 2011).

De acordo com Silva e Maia (2013) além do fluxo de ar ser controlado devem-se obter amostras do conteúdo dos gases antes e depois da mensuração dos mesmos. Nesse sistema deve haver sensores ou analisadores de gases que também absorvam a umidade para as análises a serem mensuradas.

As desvantagens encontradas pela utilização da câmara respirométrica é devido ao fato dos animais ficarem restritos a poucos movimentos em condições ambientais controladas, além de ser uma técnica bastante onerosa (BHATTA et al., 2007; STORM et al., 2012).

Lockyer e Jarvis (1995) encontraram em um dos estudos realizados uma produção média de metano emitido de 0,77 g h⁻¹ animal⁻¹ em ovinos. Machado et al., (2011) trabalhando com ovinos machos adultos usaram a câmara respirométrica de fluxo aberto, na qual cada animal permaneceu durante 24 horas e a variação na emissão de metano diária observada foi 0,40 g h⁻¹ a 0,67 g h⁻¹. Pelchen e Peters (1998) observaram para ovinos em crescimento e adultos valores de metano emitido diariamente de 0,96 g h⁻¹ ou 0,85 g h⁻¹, respectivamente.

Sejian et al (2011) encontraram valores da taxa estimada de emissão de metano de 4,0 e 0,57 g h⁻¹ animal⁻¹ para bovinos e ovinos, respectivamente pelo uso de câmara em sistema aberto. Aguerre et al. (2011) verificaram que ao longo do dia a maior emissão de metano em vacas da raça Holandesa ocorreu nos períodos compreendidos das 9:00 as 12:00 (30,4 g h⁻¹ animal⁻¹) e das 13:00 as 16:00 (29,4 g h⁻¹ animal⁻¹) por animal estudado. Esses autores também observaram que entre

18:30 e 21:30, 22:30 e 01:30 e 2:00 e 5:00, os valores de metano diminuam para 27, 23,5 e 19,4 g h⁻¹ animal⁻¹, respectivamente.

No método de respirometria por sistema aberto pode-se utilizar uma máscara facial para mensurar a quantidade dos gases sendo realizada a mesma metodologia usada para as câmaras respirométricas (BHATTA et al., 2007). Esses mesmos autores citam que a máscara deve ser totalmente vedada ao focinho do animal e apresenta entre a mesma e os analisadores de gases uma conexão através de tubos, os quais conduzem o fluxo de ar expirado até os equipamentos para ser analisado.

Wang et al. (2007) usaram a máscara facial para a mensuração da emissão de metano ao longo do dia e em relação aos tipos de dietas oferecidas a ovinos machos. Kempton et al. (1976) mensuraram a emissão de metano em ovelhas por meio da máscara facial encontrando um valor médio de 0,49 g h⁻¹. Wang et al. (2009) estudando o efeito de alguns aditivos na produção de CH₄ em ovinos machos, verificaram uma variação na emissão diária deste gás de 16,4 g dia⁻¹ ou 0,68 g h⁻¹ a 19,4 g dia⁻¹ ou 0,8 g h⁻¹, sendo que os dois últimos valores médios correspondem ao grupo de animais que não receberam nenhum aditivo.

Maia et al. (2005a) trabalhando com vacas em lactação utilizaram máscara facial para determinar o volume respiratório corrente e a perda de calor latente pelo trato respiratório desses animais.

Outra metodologia usada para a determinação da emissão de metano entérico é a utilização da técnica do gás traçador SF₆ (hexafluoreto de enxofre). Esta técnica é baseada no uso de uma liberação conhecida de gás SF₆ no rúmen que permite a concentração de gases eructados e respirados a partir da boca e nariz para serem quantificados (BOADI et al., 2002). Primavesi et al. (2004) verificaram em vacas em lactação uma variação na produção de metano de 13,8 a 16,8 g h⁻¹. Pinares-Patiño et al. (2011) observaram em ovinos a associação dos métodos de mensuração de metano com o uso das técnicas do gás traçador SF₆ e da câmara por calorimetria indireta de sistema aberto. Esses autores encontraram valores médios diários para a produção de CH₄ de 0,57 g h⁻¹ e 0,61 g h⁻¹ na câmara respiratória e por meio do SF₆, respectivamente. Já Pinares-Patiño et al. (2003) avaliaram em ovinos a quantidade da produção de metano e a proporção de energia

bruta liberada na forma de metano em diferentes épocas do ano, sendo a proporção de CH₄ liberado para o ambiente maior no período mais quente. Esses autores observaram uma média 1,48 g h⁻¹ para o grupo de animais que mais emitiu metano comparado ao valor médio de 1,2 g h⁻¹ em relação ao outro que menos produziu esse gás.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), no Laboratório de Bioclimatologia Animal, câmpus de Jaboticabal. O laboratório está localizado a 21°14'05" latitude Sul e 48°17'09" longitude Oeste, com altitude de 615 metros. O clima da região é mesotérmico, com verão úmido e inverno seco, segundo a classificação climática de Köeppen.

O organograma geral da pesquisa pode ser observado na Figura 1 abaixo. Avaliaram-se ovinos da raça Corriedale protegidos da radiação solar direta em 5 diferentes horários de avaliação e mediram-se variáveis ambientais e fisiológicas dos animais. O experimento foi desenvolvido entre os meses de Junho e Outubro de 2012 que consistiu em um período inicial de habituação dos animais (por aproximadamente 4 meses) e posteriormente pela coleta de dados, que durou 10 dias, dividida em duas réplicas de 5 dias cada uma. A primeira réplica ocorreu durante os dias 11, 12, 13, 14 e 15 de Outubro e a segunda dias 23, 24, 25, 26 e 27 do mesmo mês.

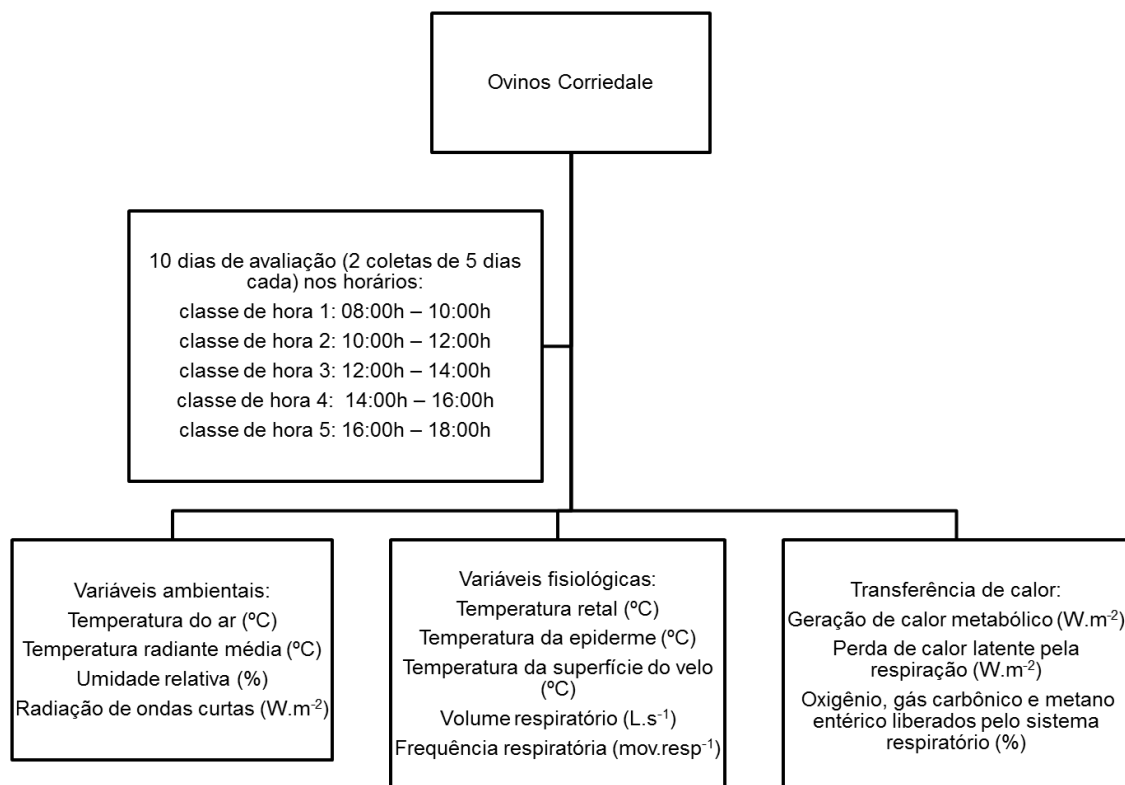


Figura 1. Organograma geral da coleta de dados.

3.1 Animais e etapa de habituação

Foram utilizados cinco ovinos machos adultos da raça Corriedale oriundos do rebanho do laboratório de Bioclimatologia Animal da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Foram selecionados animais com condição corporal semelhante e idade entre 2,5 e 5 anos, totalizando uma média de 3 anos. O peso médio dos animais foi de 67,30 kg.

Antes da etapa de coleta de dados, sete animais foram acostumados individual e diariamente ao tronco de contenção e ao uso da máscara facial (Figura 2) entre os meses de Junho e Outubro totalizando um período aproximado de quatro meses. A escolha desses animais foi baseada na reação ao uso da máscara facial, sendo selecionados os cinco animais menos reativos. Essa reação foi observada pela movimentação dos animais dentro do tronco de contenção e pela mensuração da frequência respiratória (F_R) dos mesmos, através dos movimentos do flanco do animal no intervalo de um minuto.

A F_R foi observada quando os animais estavam em suas baias e no tronco

de contenção com e sem o uso da máscara facial. Inicialmente, os animais foram acostumados somente ao tronco de contenção durante 30 minutos na primeira semana e 60 minutos na segunda. Posteriormente, foi introduzida a máscara facial ao processo de habituação, sendo utilizada gradativamente durante 10, 20, 30, 40, 60 e 90 minutos (Tabela 1).

Foi observada a frequência respiratória (F_R) dos animais antes de levá-los ao tronco de contenção, após 10 minutos de permanência no tronco e posteriormente a cada término do tempo de utilização da máscara facial, conforme foi apresentado no esquema da Tabela 1.

No entanto, a partir do tempo de uso de 30 minutos da máscara, a F_R foi observada após 10, 20, 40, 60 e 90 minutos da utilização dessa de acordo com o tempo de permanência da mesma no animal. Durante o processo de habituação, observou-se entre os animais que as frequências respiratórias variavam, sendo em alguns maiores que em outros. Assim, foi estimada uma média da F_R diária de cada animal com e sem utilização da máscara facial. Posteriormente, foram comparadas essas médias das F_R e, portanto, aqueles animais que apresentaram menor variação dessas foram escolhidos para o experimento.



Figura 2 Habituação dos animais da pesquisa.

Tabela 1. Esquema do tempo de permanência dos animais no tronco de contenção durante o processo de habituação com e sem o uso da máscara facial

Semanas	Permanência no tronco sem a máscara facial	F _R com 10 minutos sem utilização da máscara facial	Duração de utilização da máscara facial	F _R de acordo com a utilização da máscara facial
1 ^a e 2 ^a	10 minutos	X	—	—
3 ^a , 4 ^a e 5 ^a	10 minutos	X	10 minutos	—
6 ^a , 7 ^a e 8 ^a	10 minutos	X	20 minutos	Após 10 e 20 minutos
9 ^a e 10 ^a	10 minutos	X	30 minutos	Após 10, 20 e 30 minutos
11 ^a e 12 ^a	10 minutos	X	40 minutos	Após 10, 20 e 40 minutos
13 ^a e 14 ^a	10 minutos	X	60 minutos	Após 10, 20, 40 e 60 minutos
15 ^a e 16 ^a	10 minutos	X	90 minutos	Após 10, 20, 40 e 60 e 90 minutos

Os animais foram avaliados individualmente dentro do aprisco e permaneceram nas baias até o início da coleta de dados, das quais eram conduzidos até o tronco de contenção. O manejo alimentar dos animais não foi alterado seguindo o do Laboratório de Bioclimatologia.

3.2 Coleta de Dados

Foi utilizado o Delineamento Estatístico Quadrado Latino (DQL) 5x5 replicado, sendo realizado no ambiente à sombra. O plano experimental foi desenvolvido através de um período formado por cinco dias de coletas e cada dia composto por cinco horários distintos (8:00-10:00, 10:00-12:00, 12:00-14:00, 14:00-16:00, 16:00-18:00), os quais constituíram os tratamentos, conforme a Tabela 2. Nessa mesma tabela é apresentada a distribuição dos animais nos diferentes horários de coletas ao longo dos 5 dias de avaliação, sendo o mesmo esquema adotado para a réplica. Os dias de coleta de dados foram representados pelos números 1, 2, 3, 4 e 5, já os animais pelas letras A, B, C, D e E.

Tabela 2. Plano experimental da coleta de dados

Dia	Animais				
	A	B	C	D	E
1	8:00hs	10:00hs	12:00hs	14:00hs	16:00hs
2	10:00hs	12:00hs	14:00hs	16:00hs	08:00hs
3	12:00hs	14:00hs	16:00hs	08:00hs	10:00hs
4	14:00hs	16:00hs	08:00hs	10:00hs	12:00hs
5	16:00hs	08:00hs	10:00hs	12:00hs	14:00hs

As observações foram realizadas com os animais protegidos da radiação solar. Em cada dia de coleta os cinco animais eram avaliados, sendo cada animal avaliado por um período de duas horas. As medições totalizaram, portanto, dez horas diárias.

Os animais permaneciam uma hora e meia no tronco de contenção antes do início de cada coleta e duas horas para coleta de dados, totalizando uma permanência do animal de 3,5 horas no tronco. Foram utilizados dois troncos de contenção. Durante o período experimental foram ofertados aos animais água e dieta composta de silagem de milho e concentrado, numa proporção aproximada de volumoso:concentrado de 80:20, sendo uma quantidade de 3,5 kg de silagem e 0,130 kg de concentrado por cada animal ao dia. Os animais eram alimentados duas vezes durante o dia, sendo a primeira oferta de alimento às 7:30 e a segunda às 17:30, conforme o manejo do laboratório. Não eram retiradas as sobras de alimento dos comedouros durante o dia e os animais não eram alimentados apenas no tronco e no seu respectivo horário de avaliação.

3.3 Variáveis meteorológicas

O monitoramento das variáveis ambientais foi realizado ao longo de todo o período de coleta de dados. Foram coletadas as temperaturas do ar e do globo negro (para obtenção da temperatura radiante média), a pressão de vapor do ar atmosférico e a radiação de ondas curtas.

A temperatura do ar (T_A , °C), do globo negro (T_G , °C) e a umidade relativa do ar (U_R , %) foram mensuradas e registradas continuamente ao longo dos dias por meio de um *data logger* (HOBO data logger onset) em intervalos regulares de 10

minutos. Para a mensuração da T_G um sensor termopar tipo K foi inserido no centro de um globo negro (esfera oca de chapa de cobre com 0,15 m de diâmetro e pintada de preto fosco) e conectado ao HOBO. O globo negro foi instalado na altura dos animais e protegido da radiação solar direta.

A pressão parcial de vapor de água na atmosfera ($P_P \{t_A\}$, kPa) foi mensurada a partir de amostras do ar atmosférico no local do experimento conduzidas até o analisador de vapor de água (RH-300 Sable Systems), o qual foi conectado ao PowerLab (ADInstruments) que transferiu os dados para o software LabChart, onde foram armazenados. A mensuração da pressão parcial de vapor de água no ar expirado ($P_P \{t_{exp}\}$, kPa) foi realizada de modo similar a da $P_P \{t_A\}$, sendo, no entanto, utilizadas amostras do ar expirado pelos animais conduzidas ao misturador de gases e deste até um tubo contendo material dissecante (drierite) para remoção do excesso de umidade, conforme Lighton (2008) e Nkrumah et al. (2006). O tubo dissecante foi acoplado ao analisador de vapor de água.

A radiação de ondas curtas (R_C , $W m^{-2}$) foi mensurada com um Piranômetro CMP-22 (Kipp&Zonen), sendo a leitura realizada em intervalos regulares de dez minutos.

A temperatura radiante média (T_{RM} , K) foi estimada a partir dos dados de temperatura do ar, velocidade do vento e temperatura do globo negro. A T_{RM} foi estimada utilizando a equação proposta por Silva (2000):

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

onde $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo negro, T_G (K) é a temperatura do globo negro, T_A (K) é a temperatura do ar, $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}$ ($W m^{-2} K^{-4}$) é a constante de Stefan-Boltzman e h_G ($W m^{-2} K^{-4}$) é o coeficiente de convecção do globo negro, o qual foi determinado de acordo com Silva (2000).

3.4 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas dos animais foram observadas durante os dias de coleta. Foram mensuradas as temperaturas corporais dos animais, compreendendo a temperatura interna representada pela temperatura retal; a

temperatura da epiderme e a temperatura da superfície do velo.

Mensurou-se também a frequência respiratória e o volume respiratório dos animais ao longo da pesquisa conforme descrito a seguir.

3.4.1 Temperatura da Superfície do velo ($T_{SP}, ^\circ\text{C}$)

A temperatura da superfície do velo foi mensurada com um termômetro de infravermelho (Raytek – Raynger ST), o qual forneceu uma média das temperaturas de várias regiões do corpo do animal. A aferição da média das temperaturas foi realizada em intervalos de 10 minutos.

3.4.2 Temperatura da Epiderme ($T_{SE}, ^\circ\text{C}$)

A temperatura da epiderme foi mensurada através de dois sensores modelo MLT 422/AL colocados sobre a superfície da epiderme e abaixo da capa do velo em duas regiões dorsais do animal: próxima ao pescoço e posterior às costelas. Esses sensores foram acoplados ao equipamento T-typePod, o qual foi integrado ao PowerLab que transferiu os dados para o LabChart, onde foram armazenados.

3.4.3 Temperatura Interna ($T_b, ^\circ\text{C}$)

A temperatura interna ou retal foi medida continuamente ao longo do dia por um sensor (MLT1404, ADInstrument) inserido até aproximadamente 10 cm no reto do animal. Esse sensor foi acoplado ao T-typePod que foi conectado ao PowerLab, de onde foram transferidos os dados para o LabChart.

3.4.4 Volume respiratório e frequência respiratória

A mensuração da frequência respiratória e do volume respiratório dos animais foi feito pelo uso da máscara respiratória desenvolvida no Laboratório de Bioclimatologia para ovinos. Os dados foram mensurados a partir das amostras do ar expirado passando pelo misturador de gases até o Espirômetro (modelo ML141

da ADInstruments), o qual foi integrado ao PowerLab conectado ao LabChart. O monitoramento das variáveis foi feito pelo programa LabChart Pro (ADInstruments, versão 7).

A mensuração da pressão parcial de vapor de água no ar expirado ($P_{P \{t_{exp}\}}$, kPa) foi realizada seguindo a metodologia semelhante para a pressão parcial de vapor na atmosfera, como descrito anteriormente.

3.5 Produção de calor metabólico

A produção de calor metabólico (M , $W \text{ m}^{-2}$) foi determinada por calorimetria indireta de acordo com Lighton (2008), com o uso de uma máscara facial desenvolvida no laboratório de Bioclimatologia Animal da UNESP – Jaboticabal. Esta máscara era composta por quatro orifícios, sendo dois destes utilizados para a entrada do ar atmosférico e dois para a saída do ar expirado. Cada orifício apresentava uma válvula que funcionava conforme a entrada e saída do ar da máscara facial.

Quando o animal inspirava, as válvulas dos orifícios de entrada do ar eram abertas, enquanto as outras eram fechadas. O contrário ocorria quando o animal expirava, fechavam-se as válvulas de entrada do ar e abriam-se as de saída. Nos orifícios de saída da máscara foram acoplados ductos para conduzir o ar expirado até o misturador de gases. Além de separar o fluxo de ar inspirado do expirado, a máscara facial apresentava um coletor para armazenar a secreção nasal do animal, impedindo que o conteúdo fosse misturado com o ar. A máscara promoveu o isolamento apenas do focinho do animal permitindo ao mesmo estar em constante troca térmica com o seu ambiente natural, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3. Máscara facial respiratória desenvolvida para ovinos no Laboratório de Bioclimatologia da UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

Segundo Kleiber (1972), o O_2 e o CO_2 contribuem respectivamente com aproximadamente 75 e 25% para a produção total de calor, enquanto que o CH_4 e o N_2 contribuem apenas com 1%. Considerando isso, a produção de calor metabólico foi determinada através de amostras do ar expirado e atmosférico.

As amostras do ar expirado na máscara facial eram conduzidas até o misturador de gases e, posteriormente, aos analisadores de CO_2 (CA-10 Carbon Dioxide Analyzer of Sable System) e O_2 (PA-10 Paramagnetic O_2 Analyzer of Sable System). Os analisadores dos gases eram conectados ao PowerLab (ADInstruments), o qual transferiu todos dados mensurados ao software LabChart para registro dos mesmos.

O ar expirado era conduzido por um ducto de material impermeável, impedindo a umidificação e variação da temperatura no seu interior. Depois de mensurados os dados de CO_2 e O_2 do ar, calcularam-se as diferenças entre as proporções no ar inspirado e expirado pelos animais. A produção de calor metabólico foi estimada pela Equação 2:

$$M = \frac{F_R V_{RC} [0,75 Q_{O_2} (O_{2A} - O_{2E}) + 0,25 Q_{CO_2} (CO_{2E} - CO_{2A})]}{A} \quad (2)$$

onde $A = 0,13 P^{(0,556)}$ é a área de superfície corporal dos animais (m^2) e P é o peso (kg); V_{RC} é o volume respiratório corrente ($L \text{ resp}^{-1}$); F_R é a frequência respiratória (resp s^{-1}); O_{2A} e O_{2E} são as proporções de O_2 na atmosfera e no ar expirado, respectivamente; CO_{2A} e CO_{2E} são as proporções de CO_2 na atmosfera e no ar

expirado, respectivamente; Q_{O_2} e Q_{CO_2} são respectivamente, os coeficientes calóricos do oxigênio e do dióxido de carbono ($J L^{-1}$), que variam de acordo com o quociente respiratório (RANDALL et al., 2008; SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

Todos os dados necessários para determinação da produção de calor foram registrados simultaneamente pelo software LabChart (ADInstruments) e armazenados em um computador. A Figura 4 apresenta um esquema da metodologia utilizando a máscara e da condução das amostras do ar expirado para os analisadores de gases e, posteriormente, mensuração dos dados.

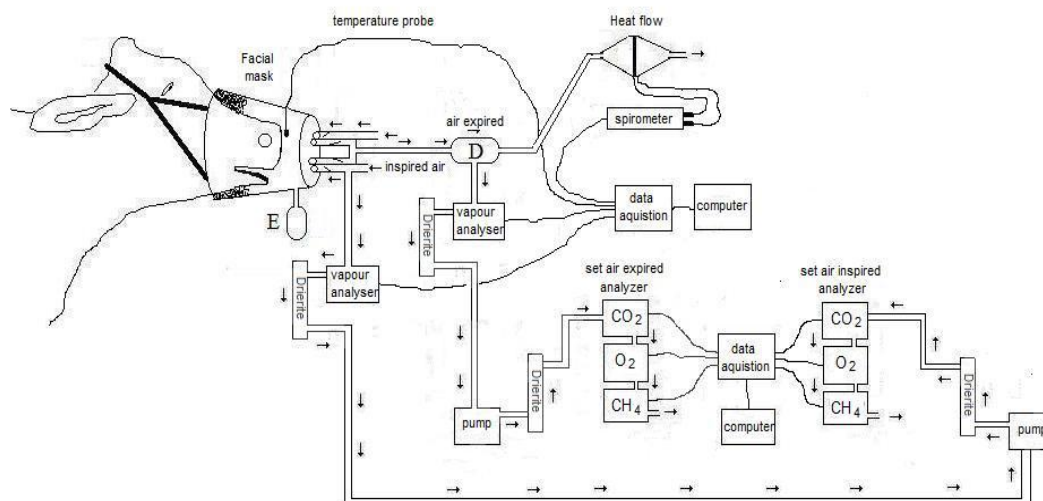


Figura 4. Sistema de calorimetria indireta com o uso da máscara facial desenvolvida pelo Laboratório de Bioclimatologia da UNESP de Jaboticabal. No sistema, O_2 , CO_2 , vapor de água e o metano no ar inspirado e expirado pelos animais são mensurados simultaneamente. Esse sistema também mensura continuamente a frequência respiratória e o volume respiratório.

3.6 Perda de calor latente no sistema respiratório ($E_R, W m^{-2}$)

O fluxo de calor latente no processo respiratório foi estimado pelo produto da taxa de ventilação pulmonar pela diferença no conteúdo de umidade do ar expirado com aquela do ar inspirado (MAIA et al., 2005a) ou atmosférico. Esse produto pelo

calor latente foi dividido pela área de superfície corporal permitindo a estimação do fluxo de calor latente respiratório (E_R , $W m^{-2}$):

$$E_R = \frac{\lambda V_{RC} F_R (\Psi_E - \Psi_A)}{A} \quad (3)$$

onde A (m^2) é a área de superfície corporal dos animais, λ é o calor latente de vaporização da água ($J g^{-1}$), V_{RC} ($m^3 \text{ resp}^{-1}$) o volume respiratório corrente, F_R (resp min^{-1}) a frequência respiratória, Ψ_A ($g m^{-3}$) a umidade absoluta do ar atmosférico e Ψ_E ($g m^{-3}$) a umidade absoluta do ar expirado, que foi calculada pela Equação 4:

$$\Psi_E = \frac{2166,87 P_P \{T_{exp}\}}{T_{exp}} \quad (4)$$

onde $P_P \{T_{exp}\}$ (kPa) é a pressão parcial de vapor de água do ar expirado, determinada a partir do analisador de vapor de água e T_{exp} (K) é a temperatura do ar expirado, a qual foi mensurada por meio de um sensor (MLA415/AL Nasal Temperature Probe, ADInstruments) inserido no interior da máscara facial à frente das narinas do animal.

3.7 Emissão entérica de metano (E_{CH_4} , $L s^{-1}$)

A emissão de metano entérico foi obtida pelo analisador de metano (MA-10 Methane Analyzer of Sable System). A metodologia foi similar àquela para determinação do CO_2 e O_2 na produção de calor metabólico, onde por meio de condutos usados para o ar inspirado ou acoplados ao tubo de saída do ar expirado na máscara facial as amostras do ar expirado ou inspirado foram dirigidas para o analisador MA-10 Methane Analyzer (Sable System), de modo que a emissão entérica de CH_4 (E_{CH_4} , $L s^{-1}$) foi estimada pela Equação 5:

$$E_{CH_4} = F_R V_{RC} (CH_{4EXP} - CH_{4ATM}) \quad (5)$$

onde CH_{4EXP} e CH_{4ATM} são as proporções de metano no ar expirado e inspirado,

respectivamente; V_{RC} ($m^3 \text{ resp}^{-1}$) o volume respiratório corrente e F_R (resp min^{-1}) a frequência respiratória.

Os valores de metano emitido foram mensurados em litros por hora ($L \text{ h}^{-1}$), mas foram convertidos para as unidades de medida gramas por hora ($g \text{ h}^{-1}$) para melhor comparação dos dados com outros autores. Para essa conversão foi realizada um ajuste da pressão atmosférica local para 705 mmHg dividido pela pressão média do ar de 750 mmHg e utilizou-se a Equação 6:

$$PV = nRT \quad (6)$$

onde $P = 0,94$ é o quociente das pressões atmosféricas (mmHg), V é o volume (L), n é o número de mols do gás, R é a constante dos gases perfeitos e T é temperatura do ar absoluta (K). Encontrou-se o valor do volume de 26,3952 litros. Posteriormente através deste foi calculada a densidade do metano a partir da Equação 7:

$$d = m.V^{-1} \quad (7)$$

onde m é a massa molar do metano (16 gramas), encontrando a densidade de $0,6061 \text{ g L}^{-1}$.

Assim, o valor em litros é transformado para gramas pela Equação 8:

$$0,6061\text{gramas} \cdot (\text{valor a ser convertido}). 1 \text{ litro}^{-1} \quad (8)$$

3.8 Análise Estatística

A análise de variância foi baseada no método dos quadrados mínimos para dados não-balanceados, utilizando modelos mistos (HARVEY,1960; SILVA, 1993) com efeitos principais e regressões. As médias ajustadas foram comparadas pelo teste de teste de Tukey a 5% de probabilidade. A composição do arquivo, exame da distribuição de frequência dos dados, análises descritivas, análises de regressão, análises de variância e de correlação foram realizadas por meio do PROC GLM do

“Statistical Analyses System” (SAS), conforme Littell et al., (1991) e Freund e Littell (2000), versão 9.0. O modelo estatístico utilizado para as variáveis estudadas como a emissão de metano entérico, metabolismo, evaporação respiratória, frequência respiratória, volume respiratório, temperatura retal, temperatura da epiderme e temperatura da superfície do velo é descrito a partir da Equação 9:

$$Y_{ijkl} = \mu + Q_l + O_i + D_{j(l)} + H_k + I_{lk} + e_{ijkl} \quad (9)$$

onde: Y_{ijkl} é a n-ésima observação das variáveis (emissão entérica de metano, produção de calor metabólico, perda de calor latente através da respiração, frequência respiratória, volume respiratório corrente, temperatura da epiderme, temperatura da superfície do velo e temperatura retal) no l-ésimo quadrado latino ($l = 1, 2$), no i-ésimo animal ($i = 1, \dots, 5$), no j-ésimo dia dentro de cada quadrado latino ($j = 1, \dots, 5$), no k-ésimo horário de coleta ($k = 8:00-10:00, 10:00-12:00, 12:00-14:00, 14:00-16:00, 16:00-18:00$); Q é o efeito fixo do l-ésimo quadrado latino; O é o efeito fixo do i-ésimo ovino; D é o efeito fixo do j-ésimo dia de coleta dentro de cada quadrado latino; H é o efeito fixo do k-ésimo intervalo de horário de coleta, I é o efeito fixo da interação entre k-ésimo intervalo de horário e o l-ésimo quadrado latino, μ é a média paramétrica e e_{ijkl} é o erro aleatório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados observados ao longo dos dias de coleta para as variáveis ambientais e fisiológicas dos animais.

4.1 Variáveis meteorológicas

As médias gerais e os valores mínimos e máximos das variáveis meteorológicas observadas durante os 10 dias de coleta de dados são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Médias, valores mínimos e máximos para as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T_A), umidade relativa do ar (U_R), temperatura radiante média (T_{RM}) e radiação de ondas curtas (R_C) observadas durante a coleta de dados.

Variáveis	N	Média	Erro padrão	Mínimo	Máximo
T_A (°C)	10	29,43	0,52	22,27	35,56
U_R (%)	10	53,43	1,66	32,45	82,13
T_{RM} (°C)	10	30,11	0,55	22,55	36,70
R_C (W m ⁻²)	10	529,84	37,03	153,9	887,91

n = número de observações

A distribuição das variáveis meteorológicas nos 5 horários de avaliação durante o período experimental está representada na Figura 5, a qual mostrou para a T_A uma variação ao longo do dia encontrando-se o valor médio de $26,06 \pm 0,89$ °C entre 8:00-10:00 ocorrendo média máxima de $30,91 \pm 0,83$ °C das 12:00 as 14:00. Os valores encontrados para a T_{RM} foram semelhantes aos da T_A , observando-se no horário compreendido das 8:00 as 10:00 a média de $26,29 \pm 1,11$ °C variando para $31,48 \pm 0,85$ °C das 12:00 as 14:00. Isso pode ser explicado pelo fato de que a T_G utilizada para calcular a T_{RM} foi mensurada junto aos animais à sombra.

A Figura 5 mostrou ainda uma diminuição na U_R observada entre 12:00 e 14:00 de $49,80 \pm 2,25$ % sendo o valor máximo de $64,57 \pm 3,77$ % encontrado das 8:00 as 10:00. Nesse caso, percebeu-se que a diminuição da U_R acompanhou o aumento da T_A , onde a elevação desta pode diminuir a proporção da quantidade de moléculas

de vapor de água na atmosfera, permitindo a mesma maior capacidade de receber essas moléculas, principalmente por meio do mecanismo de evaporação de água. Portanto, o coeficiente de correlação entre T_A e U_R foi $-0,8073$ ($P < 0,0001$). A R_C também variou durante os diferentes horários notando-se valores máximos de $661,82 \pm 50,91 \text{ W m}^{-2}$ das 10:00 as 12:00 e de $638,37 \pm 103,03 \text{ W m}^{-2}$ entre 12:00 e 14:00.

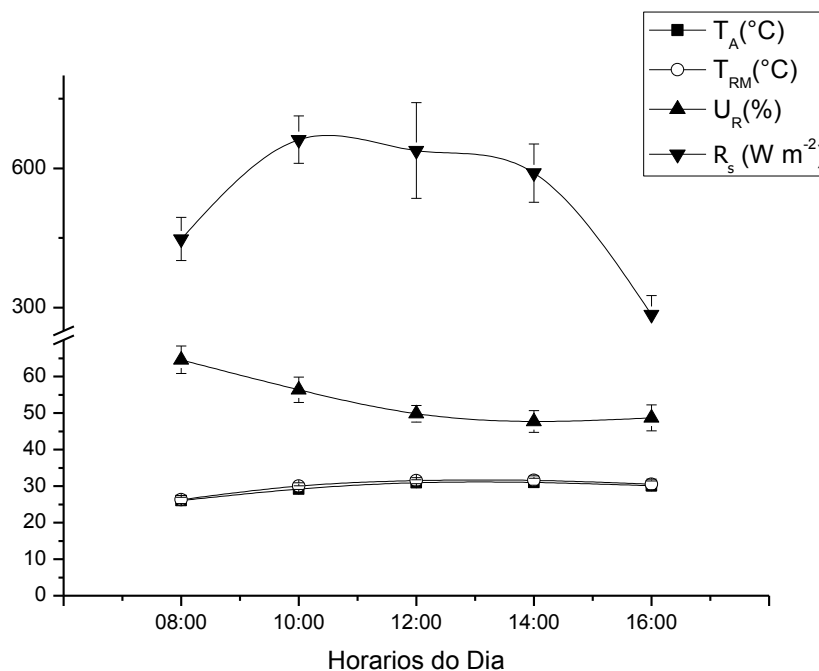


Figura 5. Valores médios ($\pm EP$) das variáveis meteorológicas: temperatura do ar (T_A), temperatura radiante média (T_{RM}), Umidade Relativa (U_R) e Radiação de ondas curtas (R_S) nos horários de avaliação durante o período experimental em Jaboticabal – SP, no mês de outubro de 2012.

É importante também descrever os valores observados para as variáveis meteorológicas em cada dia do período experimental. Esses valores são apresentados nas Tabelas 4 a 7.

Tabela 4. Temperatura do ar (T_A , °C) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos.

Quadrado		Dias				
latino						
1	1	26,42 ± 0,74	25,97 ± 1,36	27,18 ± 0,52	29,02 ± 0,41	29,78 ± 0,69
	2	28,73 ± 1,98	28,15 ± 1,86	32,92 ± 0,96	34,22 ± 0,81	31,93 ± 1,89

Tabela 5. Umidade relativa do ar (U_R , %) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos.

Quadrado		Dias				
latino						
1	1	61,68 ± 2,67	58,58 ± 3,09	53,07 ± 0,90	47,55 ± 0,65	41,27 ± 2,87
	2	63,78 ± 7,12	63,45 ± 5,88	49,58 ± 3,18	45,00 ± 3,18	49,42 ± 7,42

Tabela 6. Temperatura radiante média (T_{RM} , °C) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos.

Quadrado		Dias				
latino						
1	1	26,77 ± 0,80	26,42 ± 1,41	27,60 ± 0,62	29,51 ± 0,39	30,69 ± 0,48
	2	29,47 ± 2,12	28,42 ± 1,81	34,40 ± 0,57	34,96 ± 0,96	34,60 ± 0,56

Tabela 7. Radiação de ondas curtas (R_C , $W m^{-2}$) mensurada nos dez dias de coleta de dados, nos dois quadrados latinos.

Quadrado		Dias				
latino						
1	1	-	456,43 ± 74,06	400,32 ± 68,58	494,86 ± 98,15	593,79 ± 129,23
	2	-	-	576,88 ± 107,60	615,27 ± 98,91	541,79 ± 97,97

Foi possível observar pelas tabelas 4 a 7 que os valores meteorológicos mensurados entre os dias 6 a 10 são, com maior frequência, superiores aos dos dias 1 a 5, o que pode influenciar a resposta dos animais em relação aos parâmetros fisiológicos que serão descritos na sequência.

4.2 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas dos animais eram monitoradas continuamente durante todo o período de coleta. Essas observações são fundamentais para observar se frente a uma dada condição ambiental, os animais são capazes de manter sua temperatura corporal estável.

4.2.1 Temperaturas corporais

As médias das temperaturas corporais (retal, da epiderme e da superfície do pelo) ao longo dos cinco horários de coletas são apresentadas na Figura 6. Observou-se nessa figura 6 que as médias para T_R não variaram estatisticamente entre os cinco diferentes horários de avaliação ($P=0,3527$), obtendo-se uma média diária de $39,81 \pm 0,07$ °C, mostrando assim que o animal provavelmente conseguiu manter sua temperatura interna estável durante o dia, mesmo com variações na T_A e R_C ao longo das 10 horas de coleta. Esses resultados estão de acordo com Starling et al. (2002), os quais observaram em ovinos Corriedale adultos que a temperatura retal não variou mesmo quando os animais foram expostos a uma temperatura do ar de 40°C, mostrando que o processo de termólise foi eficiente. Segundo Silva e Minomo (1995), trabalhando com ovinos machos adultos da raça Corriedale e mensurando a T_R ao longo de 24 horas, verificaram que esses animais apresentavam uma variação circadiana diferindo apenas entre períodos noturno e diurno.

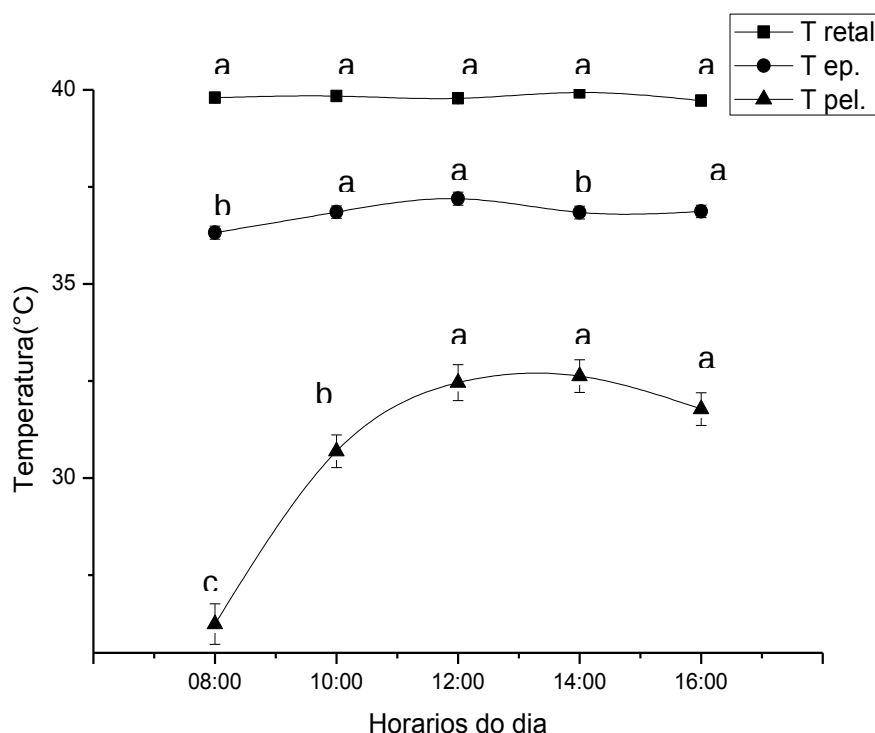


Figura 6. Médias ($\pm$ EP) das variáveis fisiológicas temperatura retal (Tretal), temperatura da epiderme (Tep.) e temperatura da superfície do velo (Tpel.) de ovinos machos da raça Corriedale nos horários de avaliação durante o período de coleta de dados. Letras iguais para cada uma das temperaturas corporais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A temperatura retal média entre os dias 1 e 5 foi 39,62°C, sendo aproximadamente 0,4°C menor quando comparada a dos dias 7 e 10 de 40,00°C ($P < 0,0001$). Houve também diferença significativa para o efeito dos animais ($P < 0,0001$) e da interação dos dias dentro dos quadrados latinos ($P = 0,0025$). O mesmo foi observado por Silva e Minomo (1995) que relataram diferença significativa entre ovinos machos adultos da raça Corriedale mantidos sob as mesmas condições ambientais, ocorrendo também uma diferença circadiana significativa entre os dias ao longo do ano. Porém, a temperatura retal não diferiu pela interação entre quadrado latino e classe de hora ($P = 0,1955$). A variação da temperatura retal nos dias de coletas para cada um dos quadrados latinos está descrita na Figura 7. Observa-se que houve diferença significativa ($P < 0,05$) dentro dos dias de coleta do primeiro quadrado, entre o dia 1 ($40,01 \pm 0,09$ °C) e os demais dias.

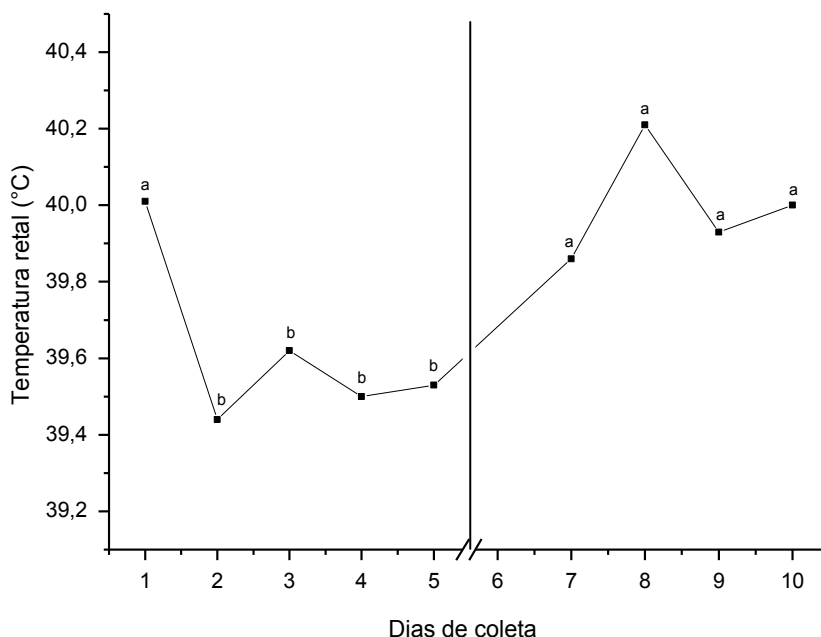


Figura 7. Médias da temperatura retal (°C) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

A temperatura da epiderme diferiu entre os quadrados latinos ($P < 0,0001$), entre os animais ($P < 0,0071$), entre os dias dentro de cada um dos quadrados latinos ($P < 0,0001$) e entre os horários de coleta ($P = 0,0226$). Percebeu-se para a T_{SE} ao longo do dia uma menor média de $36,32 \pm 0,16$ °C entre 8:00 e 10:00 comparada a de $37,20 \pm 0,16$ °C das 12:00 as 14:00 (Figura 6), sendo acompanhada pelo aumento no valor da T_A neste horário. Porém, a interação entre quadrados latinos e horários de coleta não foi significativa ($P = 0,2232$). Os animais apresentaram entre os dias 7 e 10 um valor médio para a temperatura da superfície da epiderme de $37,99 \pm 0,10$ °C, o que foi superior ao encontrado nos dias 1 a 5 ($35,65 \pm 0,09$ °C). Estes resultados podem ser explicados pelos maiores valores para as variáveis ambientais como a temperatura do ar e a radiação de ondas curta observados nos dias 6 a 7 e no horário das 12:00 as 14:00. Esses resultados corroboram com o descrito por Maia et al. (2009), que a temperatura da epiderme acompanha a elevação da temperatura

do ar, e também indica uma diminuição do fluxo de calor sensível. A T_{SE} dos animais, além de seguir as variações que ocorrem no ambiente, pode ter sido afetada pela presença de uma camada de velo sobre a superfície da epiderme tornando-se um isolante térmico entre esta e o meio externo, dificultando a dissipação do calor sensível e também latente como a evaporação da água na mesma. No entanto, a influência da lã sobre os mecanismos de transferência de calor não foram observados neste trabalho.

A temperatura da superfície do velo diferiu para todos os efeitos ($P < 0,0001$), exceto entre os animais ($P = 0,7401$). Houve uma variação na T_{SP} no decorrer do dia, onde no horário das 12:00 as 14:00 observou-se uma média superior de $32,46 \pm 0,46$ °C comparada a obtida entre 8:00 e 10:00 de $26,24 \pm 0,52$ °C (Figura 6). A temperatura da superfície do velo é fortemente influenciada pelas condições ambientais, e neste caso, uma elevação da T_A aumenta a T_{SP} . Isso pode ser observado pelos maiores valores da T_A e T_{SP} que ocorreram no horário de 12:00 as 14:00.

De acordo com Maia et al. (2009), a T_{SP} é fortemente influenciada pelas condições ambientais, como a temperatura do ar. Esses autores, utilizando ovinos machos adultos da raça Corriedale, encontraram em câmara climática à temperatura de 30°C uma média de 32,09°C para a temperatura interna do velo; já a 40°C, os animais apresentaram um aumento nessa temperatura para 39,08°C. A lã presente nos animais provavelmente pode ocasionar um considerável incremento na temperatura de superfície do velo devido ao fato de ser higroscópica (VERÍSSIMO, 2008). Entretanto, a função da lã no mecanismo de perda de calor não foi avaliada nessa presente pesquisa.

Pela Figura 8, é possível notar que a temperatura da superfície do velo aumenta no decorrer dos dias apresentando uma média de $32,86 \pm 0,28$ °C para os dias 7 a 10, a qual foi superior a dos outros dias ($28,66 \pm 0,29$ °C). Conforme Eustáquio Filho et al. (2011) observando ovinos da raça Santa Inês encontraram um aumento mais acentuado para a temperatura da superfície do pelame a partir da exposição dos animais a 30°C.

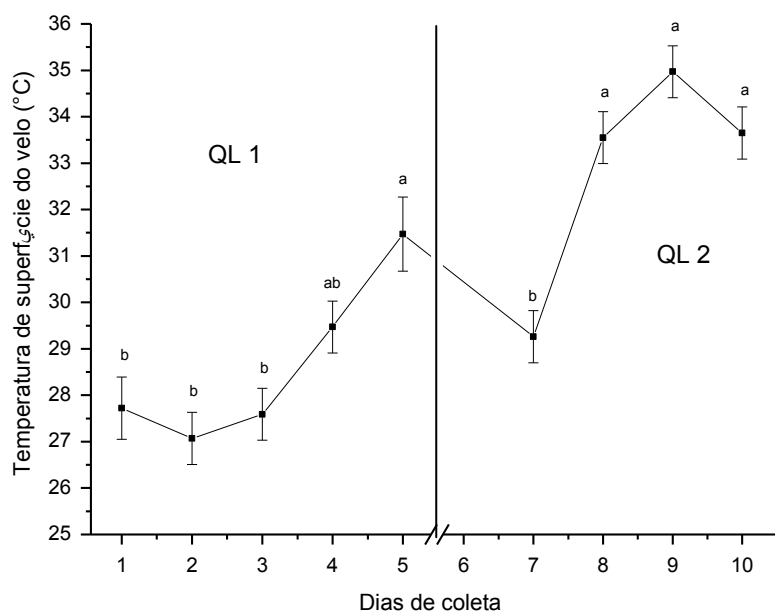


Figura 8. Médias da temperatura de superfície do velo (°C) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a nove, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

As temperaturas das superfícies da epiderme e do velo podem ser fortemente relacionadas com as variáveis ambientais, como descrito pelos coeficientes de correlação entre elas na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes de correlação e probabilidade (P) entre as temperaturas das superfícies da epiderme (T_{SE}) e do velo (T_{SP}) e a temperatura do ar (T_A), temperatura radiante média (T_{RM}) e umidade relativa (U_R).

	T_A	T_{RM}	U_R
T_{SE}	0,8 $P < 0,0001$	0,8516 $P < 0,0001$	-0,4187 $P = 0,0042$
T_{SP}	0,9637 $P < 0,0001$	0,9641 $P < 0,0001$	-0,7888 $P < 0,0001$

Nessa Tabela 8, observou-se que os coeficientes de correlação das T_{SE} e T_{SP} mostraram-se elevados principalmente em relação a T_A e T_{RM} , onde as condições

ambientais afetam a variação das temperaturas das superfícies. A temperatura retal não apresentou nenhum coeficiente de correlação significativo ($P>0,05$) com nenhuma das variáveis meteorológicas.

4.2.2 Frequência Respiratória e Volume Respiratório

A análise de variância para a frequência respiratória (F_R) mostrou efeitos significativos para os quadrados latinos ($P<0,0001$), onde os animais apresentaram uma média de $141\pm 2,52$ resp min^{-1} no primeiro quadrado latino e $179\pm 2,82$ resp min^{-1} no segundo. Os diferentes horários de avaliação também diferiram ($P=0,0212$) e um aumento da frequência respiratória foi observado entre os dois horários da manhã (8:00-10:00 e 10:00-12:00), em relação aos demais horários. Observou-se para o horário entre as 8:00 e 10:00 uma média de $149\pm 4,30$ resp min^{-1} e $168\pm 4,30$ resp min^{-1} das 12:00 as 14:00, como mostrado na Figura 9. Nas últimas horas de coletas entre 16:00 e 18:00 também observou-se uma média $163\pm 4,26$ resp min^{-1} diferente daquela obtida nos primeiros horários do dia. Resultados semelhantes foram encontrados por Starling et al. (2002) utilizando câmara climática para ovinos Corriedale adultos, os quais apresentaram F_R de 161,3 resp min^{-1} a 30°C aumentando para 182,1 resp min^{-1} a 40°C. Starling et al. (2005) utilizando ovinos Corriedale em câmara climática observaram para esses animais médias da frequência respiratória superiores a 100 resp min^{-1} . Já Srikandakumar et al. (2003) mostram em ovinos da raça Merino sob estresse calórico uma média de 128 resp min^{-1} para a frequência respiratória, sendo esta inferior a encontrada na presente pesquisa.

Os movimentos respiratórios dos animais foram maiores nos horários os quais a T_A foi mais elevada, sendo isso devido ao fato dos animais tentarem dissipar a quantidade de calor corporal para o ambiente por meio da evaporação nas vias respiratórias. Portanto, o esperado é que a elevação da F_R pode aumentar a taxa de ventilação no trato respiratório aumentando a evaporação durante a respiração (MAIA, 2005). O mesmo foi observado por Starling et al (2002) trabalhando com ovinos Corriedale adultos que apresentaram aumento da frequência respiratória seguida de uma maior taxa de ventilação em temperaturas elevadas.

Brockway et al. (1965) encontraram para ovinos machos da raça Cheviot um aumento nos valores da ventilação pulmonar à medida que a perda de calor por meio da evaporação respiratória também elevou-se. No entanto, para os animais avaliados o volume respiratório não seguiu a elevação da frequência e apresentou-se sem grande variação ao longo dia mantendo-se praticamente constante (Figura 9), já que o efeito dos horários para o V_R não foi significativo ($P=0,2871$), e os animais apresentaram uma média geral ao longo das coletas de $1,35 \text{ L s}^{-1}$.

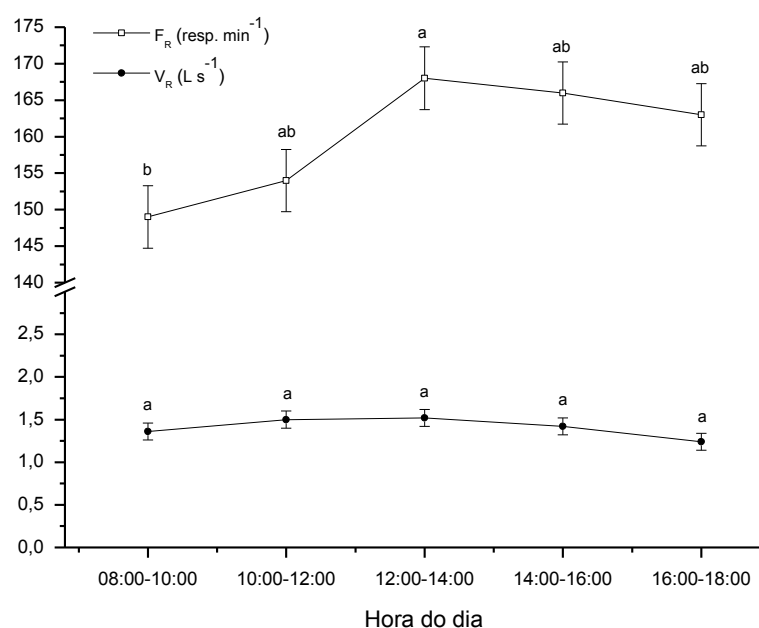


Figura 9. Médias e erros padrão do volume respiratório (V_R) em L s^{-1} e frequência respiratória (F_R) em resp. min^{-1} de ovinos da raça Corriedale nos diferentes horários de coleta, nos quais letras iguais para a mesma variável não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

A interação entre quadrados latinos e horários não foi significativa ($P=0,9810$). O efeito dos dias dentro de cada um dos quadrados latinos foi significativo ($P=0,0014$) e pode ser observado na Figura 10. Essa figura mostrou que entre os dias o aumento da F_R dos animais foi acompanhado pela diminuição na taxa de ventilação, o que não foi esperado e provavelmente pode ter sido causado pela diferença existente entre os dias de coleta com relação a alterações ambientais

naturais. O contrário foi observado por Starling et al. (2002), os quais relatam que o aumento do V_R segue a elevação da F_R .

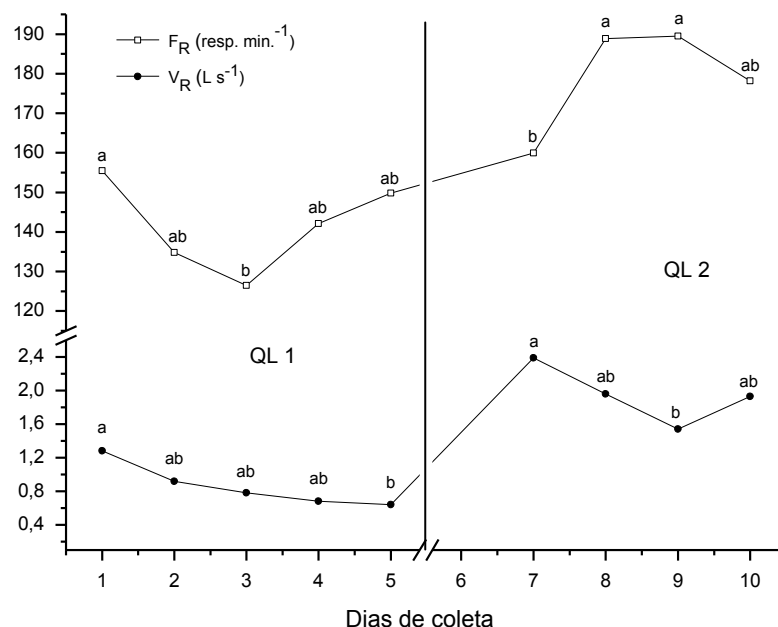


Figura 10. Médias e seus erros padrão do volume respiratório (V_R) em L s.⁻¹ e frequência respiratória (F_R) em respirações minuto.⁻¹ de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os animais da raça Corriedale apresentavam naturalmente a frequência respiratória elevada, conforme foi observado durante o processo de habituação dos animais e nas atividades de manejo realizadas no Laboratório de Bioclimatologia. Apesar disso, pode-se observar um aumento da frequência respiratória entre os dias de coleta. Para essa variável foram observadas médias superiores dentro dos dias do segundo quadrado latino em comparação aos do primeiro e podem ser relacionadas com os maiores valores das variáveis meteorológicas. Os resultados encontrados corroboram com o observado por Srikandakumar et al. (2003), que relataram um aumento na ofegação de ovinos quando estes apresentavam temperatura retal igual ou superior a 40°C, como observado nos animais durante o segundo quadrado latino neste estudo (Figura 7).

O volume respiratório também diferiu em relação aos quadrados latinos ($P < 0,0001$), com valores médios iguais a $0,8650 \pm 0,05 \text{ L s}^{-1}$ e $1,9603 \pm 0,06 \text{ L s}^{-1}$ no primeiro e segundo quadrados latinos, respectivamente. Silva et al. (2002) relataram para ovinos em condições de termoneutralidade um volume respiratório aproximado de $0,98 \text{ L s}^{-1}$. Como os animais apresentaram uma frequência respiratória média maior no segundo quadrado, conseqüentemente apresentaram um volume respiratório médio superior sob maiores temperaturas (segundo QL). Houve efeito dos dias dentro dos quadrados latinos ($P = 0,0011$), que pode ser observado na Figura 10. A interação entre quadrados latinos e horários também não foi significativa ($P = 0,1586$).

Os aumentos da frequência respiratória e do volume respiratório estão relacionados com aumento das perdas de calor via evaporação respiratória, que em altas temperaturas torna-se o mecanismo mais eficiente de trocas de calor em ovinos (HALES e BROWN, 1974; SILVA e STARLING, 2003).

4.3 Produção de Calor Metabólico

A produção de calor metabólico diferiu para todos os efeitos estudados na análise de variância: entre os quadrados latinos ($P < 0,0001$), sendo que no primeiro os animais apresentaram uma média de $108 \pm 6,49 \text{ W m}^{-2}$ e de $165 \pm 7,26 \text{ W m}^{-2}$ no segundo; nos diferentes horários de coleta ($P = 0,0069$), com menores valores médios entre as 12:00 e 14:00 ($121 \pm 11,01 \text{ W m}^{-2}$) e das 16:00 as 18:00 ($109 \pm 10,96 \text{ W m}^{-2}$) e a maior média de $170 \pm 10,96 \text{ W m}^{-2}$ das 10:00 as 12:00 (Figura 11). O valor médio para a produção de calor metabólico observado no horário compreendido entre 8:00 e 10:00 não diferiu estatisticamente do analisado das 10:00 as 12:00. Uma provável explicação para uma maior produção de calor metabólico nestes horários pode ser devido à maior ingestão de alimento pelos animais, pois os mesmos tinham acesso ao alimento a partir das 7:30, exceto no momento da coleta de dados de cada um.

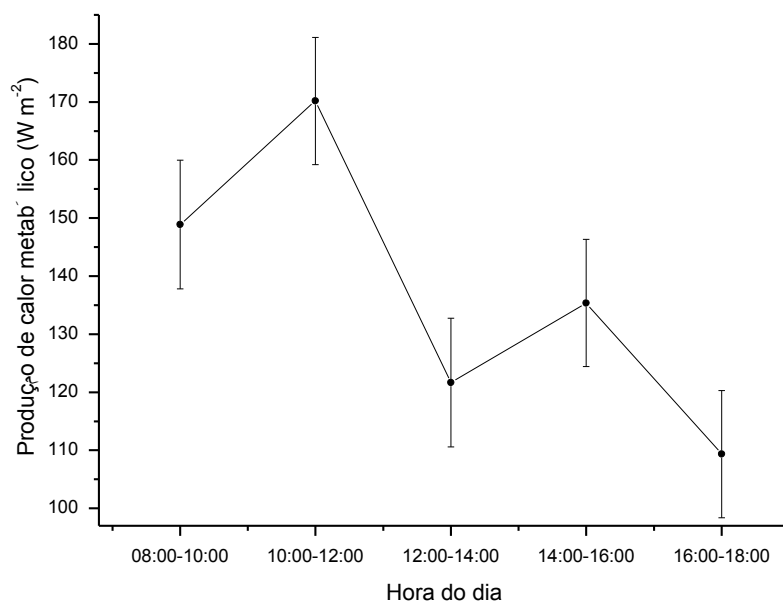


Figura 11. Médias e seus respectivos erros padrão do metabolismo (W m^{-2}) de ovinos da raça Corriedale nos diferentes horários de coleta

Houve efeito significativo também dos dias dentro dos quadrados latinos ($P < 0,0001$), que pode ser observado na Figura 12. Ao analisarmos essa figura, ressalta-se a importância de se considerar a influência das variáveis ambientais sobre a produção de calor metabólico, e se basear em equações que consideram o metabolismo como uma função somente da massa corporal pode ser problemático em estudos de transferência de calor (SILVA, 2000).

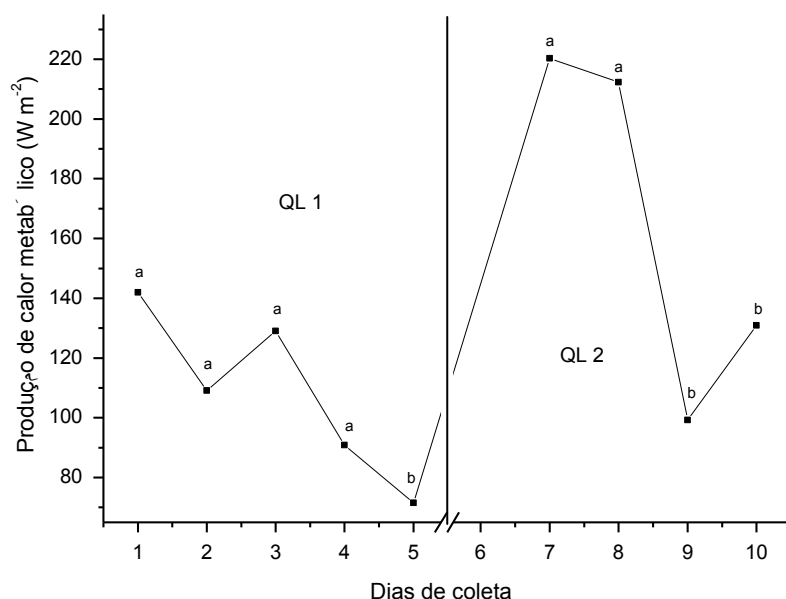


Figura 12. Médias do metabolismo (W m^{-2}) de ovinos da raça Corriedale em diferentes dias de coleta, sendo que o quadrado latino um (QL1) faz referência dos dias um a cinco e o quadrado latino dois (QL2) é representado pelos dias sete a dez, no qual letras iguais dentro do mesmo quadrado não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Conforme descrito anteriormente, os animais apresentaram maior média para frequência respiratória e volume respiratório durante os dias de coleta 7 a 10 comparados aos dias 1 a 5 no primeiro quadrado latino (Figura 10), o que acarretou numa maior produção de calor metabólico, uma vez que este é calculado na pesquisa considerando-se estas variáveis. A quantidade do consumo de oxigênio e da produção de dióxido de carbono está associada à produção de calor metabólico (MAIA, 2005), assim como volume respiratório e frequência respiratória mais elevados podem aumentar o calor produzido pelo metabolismo. O aumento dos movimentos inspiratórios e expiratórios realizados durante a respiração dos animais também podem gerar calor devido às contrações dos músculos que participam desse processo (OLIVEIRA, 2007; FINDLAY, 1957). No entanto, a produção de calor no metabolismo foi calculada usando apenas as proporções dos gases O_2 e CO_2 expirados e inspirados e o V_R e F_R . O metabolismo apresentou um coeficiente de correlação de 0,67 ($P < 0,0001$) com o volume respiratório dos ovinos.

4.4 Perdas de Calor Latente

As perdas de calor latente nessa pesquisa consideraram as relacionadas à evaporação respiratória, que é o mecanismo de termólise mais significativo em ovinos manejados em condições de altas temperaturas (SILVA e STARLING, 2003). Não houve diferença estatística para os diferentes horários de coleta ($P=0,2871$), mas a perda de calor por meio da evaporação no trato respiratório dos animais apresentou uma variação numérica ao longo do dia, onde se observaram os valores de $23,17 \pm 2,81 \text{ W m}^{-2}$ entre 12:00 e 14:00 e $16,01 \pm 2,72 \text{ W m}^{-2}$ das 16:00 as 18:00 (Figura 13).

Uma maior quantidade de perda de calor por evaporação respiratória pode ser devido à elevação da F_R que geralmente é seguido pelo aumento da taxa de ventilação pulmonar (STARLING et al., 2002; MAIA, 2005), ou seja, a quantidade (volume) de ar que passa pelo trato respiratório. Porém, isso não foi observado e como citado anteriormente, entre os dias de coleta da presente pesquisa, o aumento da F_R foi seguida de uma diminuição do V_R e durante os horários de avaliação o volume respiratório não diferiu com a elevação da frequência respiratória. Uma provável explicação para a E_R ao longo do dia não apresentar diferença estatística, é o fato do volume respiratório não ter variado nos horários de coleta, já que a correlação existente entre essas duas variáveis é 0,94 ($P<0,0001$).

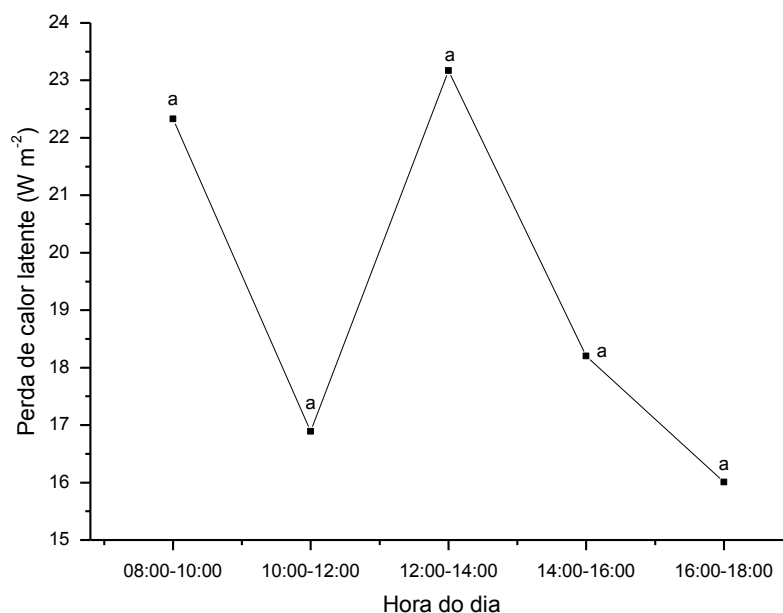


Figura 13. Médias da perda de calor latente por meio da respiração (W m^{-2}) de ovinos da raça Corriedale em diferentes horários de coleta, onde letras iguais não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

A média geral observada para os ovinos ao longo do período experimental foi igual a $17,68 \text{ W m}^{-2}$. O único efeito significativo na análise de variância foi o dos quadrados latinos ($P < 0,0001$). Os animais apresentaram uma média de $8,36 \text{ W m}^{-2}$ nos primeiros cinco dias de coleta e $30,28 \text{ W m}^{-2}$ nos demais dias. Os demais efeitos estudados não foram significativos ($P > 0,05$). Resultados semelhantes foram descritos por Silva e Starling (2003), que descreveram um fluxo de evaporação respiratória igual a $27,24 \text{ W m}^{-2}$ para ovinos Corriedale mantidos em câmara climática a 40°C de temperatura do ar.

Pode ocorrer uma dissipação de calor por meio do ar expirado pelos animais, já que o inspirado ao passar pelas vias aéreas resfriadas evapora a água presente nessas, tornando-se úmido e recebendo também calor (ROBERTSHAW, 2006; SILVA et al., 2002). Os últimos autores observaram em ovinos Corriedale que à medida que a temperatura do ar eleva-se, a perda de calor latente através da respiração aumenta.

Os autores supracitados ressaltam a importância desse mecanismo em ovinos não-tosquiados, onde essas perdas representam até 65% do total das perdas

evaporativas (cutânea + respiratória). Nesta pesquisa, os animais não foram tosquiados e apresentam o velo com uma espessura de aproximadamente 10 cm, o que aumenta a significância deste mecanismo na manutenção da temperatura corporal estável, uma vez que a lã representa um isolante térmico e influencia diretamente as perdas de calor pela superfície corporal (GEBREMEDHIN et al., 1983).

4.5 Emissão de metano entérico

Para a emissão de metano entérico os efeitos de quadrados latinos ($P=0,2137$), animais ($P=0,0785$), horários de coleta ($P=0,4613$) e a interação entre quadrados latinos e horários de coleta ($P=0,6208$) não foram significativos. Apesar de não se observar diferença estatística nos diferentes horários do dia houve, numericamente, uma diminuição na produção de CH_4 emitida no decorrer do dia. A Figura 14 apresenta o comportamento da emissão contínua (por segundo) de metano durante dez horas seguidas, entre as 8:00 e 18:00 e a conversão da unidade de L s^{-1} para g h^{-1} .

A maioria das pesquisas realizadas para quantificar a produção de CH_4 , seja em função da hora ou do dia, é baseada em uma emissão pontual, ou seja, fixa-se um intervalo de tempo e mensura-se a quantidade desse gás. A figura 14 mostra a emissão de metano mensurada por Wang et al. (2007) utilizando a máscara facial em ovinos machos castrados da Mongólia ao longo do dia, mas de modo pontual a cada duas horas, onde as 14:00 observou-se um pico na média da produção de desse gás de $1,2 \text{ g h}^{-1}$. De acordo com esses autores, essa maior produção média ocorreu, aproximadamente, de 5 a 6 horas após a ingestão de alimento, o que está de acordo com Berchielli et al. (2011), onde as maiores emissões de CH_4 nos ruminantes acontecem nesse período de tempo.

O contrário foi verificado na atual pesquisa, na qual a diferença numérica da emissão deste gás apresenta um valor médio de $0,37 \text{ g h}^{-1}$ para o horário das 14:00 as 16:00, o qual é inferior ao encontrado pelos autores acima citados. O fato de não haver diferença estatística entre as horas de coleta pode ser provavelmente devido à mensuração contínua da emissão de metano, o que torna as medidas obtidas mais

confiáveis, já que a quantidade de amostras observada foi maior comparada a dos trabalhos citados anteriormente. Os animais tinham acesso à alimentação durante todo o dia, principalmente nos primeiros horários de coleta, exceto durante o tempo de avaliação de cada um, mas não foram observadas maiores médias estatísticas para emissão de metano nos horários após o consumo de alimento pelos animais.

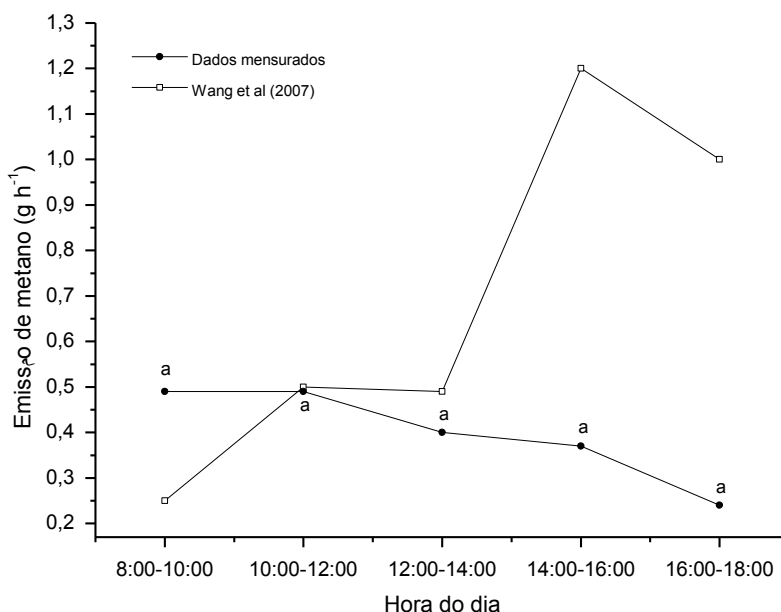


Figura 14. Médias da emissão de metano (g h^{-1}) de ovinos da raça Corriedale (Dados mensurados) e da raça da Mongólia em diferentes horários de coleta (Wang et al. (2007)), onde letras iguais para as médias dos dados mensurados no presente trabalho não diferem entre si de acordo com teste de Tukey ($P < 0,05$).

Wang et al (2009) observaram em ovinos machos da Mongólia com o uso da máscara facial um intervalo médio diário para a emissão de CH_4 entre 16,4 e 19,4 g dia^{-1} ou 0,68 a 0,80 g h^{-1} . A produção de metano emitida encontrada por esses autores foi realizada pontualmente a cada duas horas e não foi observado o comportamento dessa emissão ao longo do dia. Pelchen e Peters (1998) encontraram em ovinos adultos utilizando câmara respirométrica valores médios para a emissão de metano de 0,85 g h^{-1} . Os resultados mostrados por esses mesmos autores são superiores aos encontrados nessa pesquisa presente, na qual a emissão média durante as dez horas de avaliação foi 0,40 g h^{-1} . Resultados mais próximos aos do estudo atual foram encontrados por Lockyer e Champion (2001)

trabalhando com ovinos a pasto no interior de um túnel móvel de polietileno coletaram amostras de ar do interior e do exterior do mesmo, utilizando a técnica de calorimetria indireta para mensuração de metano. Esses autores observaram a quantidade de metano entérico pontualmente a cada dois minutos encontrando um valor médio de $0,51 \text{ g h}^{-1}$, aproximadamente.

Nos ruminantes, como bovinos, a emissão de CH_4 ocorre de modo contínuo ao longo dia, conforme está sendo observado em pesquisas atuais no laboratório de Bioclimatologia da Unesp, ainda não publicadas. Entretanto, de acordo com o analisado no presente trabalho, a emissão desse gás nos ovinos avaliados apresentou-se por meio de picos durante as horas de coleta.

O metano representa uma significativa perda de energia pelos animais, portanto é desejado que esses emitam uma menor quantidade desse gás. Sua produção, de acordo com Johnson e Johnson (1995), está associada à quantidade de carboidratos fermentados no rúmen e a proporções relativas de propionato e acetato produzidos. Porém, a perda de energia na forma de CH_4 em relação à energia bruta ingerida pelos animais e análise da proporção de ácidos não foram avaliados no atual experimento, e sim o comportamento da emissão diária desse gás sem intervalos de tempo ao longo das dez horas de mensuração.

O único efeito significativo foi o de dias dentro dos quadrados latinos ($P=0,0003$) e os animais apresentaram uma média de $4,7 \text{ g dia}^{-1}$ (gramas de CH_4 ao longo de dez horas de avaliação). Resultados superiores foram encontrados por Wang et al. (2007). Esses autores observaram uma emissão média de metano de $8,77 \text{ g dia}^{-1}$ em ovinos machos da Mongólia ao longo do dia utilizando a técnica de calorimetria indireta com máscara facial.

Houve uma grande variação entre os dias nos valores mensurados da emissão de metano entérico pelos ovinos. Em alguns dias desta pesquisa foram observados valores de 12 g dia^{-1} , os quais foram próximos aos de Wang et al. (2009), que observaram uma emissão média de $16,4 \text{ g dia}^{-1}$ em ovinos machos castrados com uma média de 38 kg de peso corporal, e também utilizaram a técnica de calorimetria indireta com o uso de máscara facial. Pelchen e Peters (1998) observaram uma maior emissão média para machos adultos de $20,48 \text{ g dia}^{-1}$ utilizando câmaras respirométricas.

Pinares-Patiño et al (2003) utilizando a técnica do hexafluoreto de enxofre (SF_6) em ovinos machos da raça Romney encontraram valor médio para a emissão diária de CH_4 de $28,8 \text{ g dia}^{-1}$. Esse resultado encontrado por esses autores é também superior ao encontrado no presente trabalho.

A variação na quantidade de metano emitida pode, provavelmente, ser explicada devido às diferenças tanto no consumo de alimento pelos animais quanto na alteração das variáveis meteorológicas existentes entre os dias. Foi observada uma menor emissão de CH_4 nos dias com temperaturas ambientais mais elevadas, o que provavelmente está associado a uma menor ingestão de alimento. O maior consumo de alimento pode produzir uma elevada quantidade de ácidos graxos, principalmente o acetato, que servem de substrato para maior quantidade de metano produzido (MOSS et al., 2000).

Nesta pesquisa, as condições ambientais não foram controladas com o intuito de observar se estas influenciam a emissão de metano entérico. A Tabela 9 apresenta as correlações existentes entre a emissão de metano e as variáveis ambientais e fisiológicas.

Tabela 9. Coeficientes de correlação e probabilidade (P) entre a emissão de metano (E_{CH_4}) e as temperaturas do ar (T_A), radiante média (T_{RM}), das superfícies da epiderme (T_{SE}) e do velo (T_{SP}) e umidade relativa (U_R).

	T_A	T_{RM}	T_{SE}	T_{SP}	U_R
E_{CH_4}	-0,4488	-0,4950	-0,3579,	-0,4011,	0,5559
	P=0,0025	P=0,0010	P=0,0184	P=0,0094	P<0,0001

As correlações entre a emissão de metano e as variáveis ambientais como as temperaturas do ar e radiante média podem indicar que o ambiente possivelmente influencia também na quantidade de CH_4 . Não houve correlação significativa da emissão de metano entérico com a radiação solar ($P=0,9543$), pois os animais estavam protegidos da radiação de ondas curtas.

Correlações significativas e negativas também foram observadas entre a emissão de metano e as temperaturas das superfícies da epiderme e do velo; e uma correlação positiva com a proporção de dióxido de carbono no ar expirado (0,4492, $P=0,0025$). Portanto, é provável que a produção de CH_4 seja influenciada pelo

menor consumo de alimento em consequência do aumento das temperaturas ambientais que também influenciam as variáveis fisiológicas.

Esses resultados indicam que abordagens futuras devem ser feitas para observar a variação da emissão do metano entérico ao longo das horas de coleta, a fim de verificar se existe uma variação pontual do metano. E a relação disto com as variáveis ambientais, propondo modelos que predigam a emissão de metano entérico dos ovinos baseada nestas variáveis.

5 CONCLUSÃO

A quantidade de metano entérico pode ser mensurada de modo contínuo ao longo do dia mostrando como a emissão desse gás comporta-se durante do dia, o que no caso dos ovinos ocorre por meio de picos não constantes. As variáveis ambientais influenciam indiretamente a emissão de metano e diretamente as respostas fisiológicas dos ovinos como as temperaturas das superfícies do velo e da epiderme e a perda de calor por evaporação respiratória.

6 REFERÊNCIAS

AENGWANICH, W.; KONGBUNTAD, W.; BOONSORN, T. Effects of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle. **International Journal Biometeorology**, v. 55, p. 741–748, 2011.

AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A.; POWELL, J. M.; BRODERICK, G. A.; ARNDT, C. Effect of forage to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. **Journal Dairy Science**, v. 94, p. 3081–3093, 2011.

AMARAL, D. F.; BARBOSA, O. R.; GASPARINO, E.; AKIMOTO, L. S.; LOURENÇO, F. J.; SANTELLO, G. A. Efeito da suplementação alimentar nas respostas fisiológicas, hormonais e sanguíneas de ovelhas Santa Inês, Ile de France e Texel. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 403-410, 2009.

ARMSTRONG, W. D. A demanda mundial por proteína animal e suas implicações para a indústria de alimentos para animais. In: Midwest Swine Nutrition Conference. Indianápolis, Indiana, EUA, 2009.

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

BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 21–27, 2008.

BEAUCHEMIN, K. A.; MCGINN, S. M. Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of intake. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 86, p. 401–408, 2006.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. Nutrição de ruminantes. In: _____. (Ed.) 2. **Fermentação ruminal e Metabolismo de carboidratos estruturais**. Jaboticabal: Funep, 2011. p. 115-234.

BERNDT, A. Estratégias nutricionais para redução de metano. In: IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal – CLANA. Estância de São Pedro, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p. 295 – 306, 2010.

BHATTA, R.; VAITHIYANATHAN, S.; SINGH, N. P.; VERMA, D. L. Effect of feeding complete diets containing graded levels of *Prosopis cineraria* leaves on feed intake, nutrient utilization and rumen fermentation in lambs and kids. **Small Ruminants Research**, v. 67, p. 75–83, 2007.

BOADI, D. A.; WITTENBERG, K. M.; KENNEDY, A. D. Validation of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique for measurement of methane and carbon dioxide production by cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 82, p. 125–131, 2002.

BRANSON, R. D. The measurement of energy expenditure: instrumentation, practical considerations and clinical application. **Respiratory Care**, v. 35, p. 640–656, 1990.

BROCKWAY, J. M.; MCDONALD, J. D.; PULLAR, J. D. Evaporative heat-loss mechanisms in sheep. **Journal of Physiology**, v. 179, p. 554–568, 1965.

BROWN-BRANDL, T. M.; EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; NIENABER, J. A.; MADER, T. L.; SPIERS, D. E.; PARKHURST, A. M. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, p. 285–296, 2005.

CANESIN, R. C. **Frequência da suplementação de bovinos da raça nelore mantidos em pastagens**. 2009. f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

DIENER, J. R. C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 43, n. 3, 1997.

ELLIS, J. L.; KEBREAB, E.; ODONGO, N. E.; MCBRIDE, B. W.; OKINE, E. K.; FRANCE, J. Prediction of Methane Production from Dairy and Beef Cattle. **Dairy Science**, v. 90, p. 3456 – 3467, 2007.

EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; SANTOS, P. E. F.; SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; CARVALHO, G. G. P.; SOUZA, L. E. B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1807–1814, 2011.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Estatísticas FAO, 2003. Disponível em: <www.fao.org>.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Estatísticas FAO, 2010. Disponível em: <www.fao.org>.

FINCH, V. A. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. **Journal of Animal Science**, v. 62, n. 1, p. 531-542, 1986.

FINCH, V. A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, p.497-508, 1985.

FINDLAY J. D. The respiratory activity of calves subjected to thermal stress. **The Journal of Physiology**, v. 136, p. 300-309, 1957.

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

GEBREMEDHIN, K. G.; PORTER, W. P.; CRAMER, C. O. Quantitative analysis of the heat exchange through the fur layer of Holstein calves. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 1, p. 188-193, 1983.

GEBREMEDHIN, K. G.; W U, B. A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, v. 26, p. 537–545, 2001.

HALES, J. R. S.; BROWN, G. D. Net energetic and thermoregulatory efficiency during panting in the sheep. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 49, p. 413-422, 1974.

HARVEY, W. R. **Least-Squares analysis of data with unequal sub class numbers**. Beltaville: U.S.D.A., n. 20-8, 1960.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da pecuária municipal. Rio de Janeiro, v. 38, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro, v. 38, 2012.

IEPEC. Instituto de Estudos Pecuários. **Ovinocultura de corte no Brasil e no mundo**. 2012.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 6. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INTHAPANYA, S. **Mitigation of methane production from ruminants; effect of nitrate and urea on methane production in an *in vitro* system and on growth performance and methane emissions in growing cattle**. 2012. Master of science thesis in agricultural sciences animal husbandry. 2012.

INTHAPANYA, S.; PRESTON, T. R.; LENG, R. A. Mitigating methane production from ruminants; effect of calcium nitrate as modifier of the fermentation in an *in vitro* incubation using cassava root as the energy source and leaves of cassava or *Mimosa pigra* as source of protein. **Livestock Research for Rural Development**. v. 23, n. 2, 2011.

IPCC, International Panel on Climate Change. Climate change 2007: Contribution of working group in to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Solomon, S., D.; Qin, M.; Manning, Z.; Chen, M.; Marquis, K. B.; Averyt, M.; Tignor; H. L. Miller. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JOBLIN, K. N. Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 1307–1313. 1999.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal Animal Science**, v. 73, p. 2483–2492, 1995.

JOHNSON, K. G.; STRACK, R. Effects of shade use on grazing, drinking, ruminating and postural patterns of Merino sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 43, 261-264, 1992.

KEMPTON, T. J.; MURRAY, A. R. M.; LENG, R. A. Methane Production and Digestibility Measurements in the Grey Kangaroo and Sheep. **Australian Journal of Biological Science**, v. 29, p. 209-14, 1976

KLEIBER, M. Joules vs. Calorias in nutrition. **Journal of Nutrition**, v. 102, p. 309. 1972.

LIGEIRO, E. C.; MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 2, p. 544-549, 2006.

LIGHTON, J. R. B. **Measuring metabolic rates: A manual for scientists**. NewYork: Oxford University Press, 2008, p. 201.

LITTELL, R. C.; FREUND, R. J.; SPECTOR, P. C. **SAS® System for Linear Models**. 3. ed. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1991. p. 329.

LOCKYER, D. R.; CHAMPION, R. A. Methane production by sheep in relation to temporal changes in grazing behavior. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 86, p. 237–246. 2001.

LOCKYER, D. R.; JARVIS, S. C. The measurement of methane losses from grazing animals. **Environmental Pollution**, v. 90. n. 3. p. 383-390. 1995.

LUCENA, L. F. A.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; MEDEIROS, A. N.; SOUZA, B. B. Respostas fisiológicas de caprinos nativos mantidos em temperatura termoneutra e em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, 2013.

MACHADO, F. S.; RODRÍGUEZ, N. M.; GONÇALVES, L. C.; RIBAS, M. N.; RODRIGUES, J. A. S.; PEREIRA, L. G. R. Emissão de metano entérico por ovinos alimentados com silagens de sorgo. In: 48^a REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2011, Belém. **Resumos...** Belém: SBZ, 2011.

MAIA, A. S. C. **Transferência de calor latente e sensível em vacas Holandesas em ambiente tropical**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; ANDRADE, P. C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 104-108, 2009.

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

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Sensible and latent heat loss from the body surface of holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 50, n. 1, p. 17-22, 2005b.

MCDOWELL, R. E. **Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales**. Zaragoza: Acribia, 1974. 692p.

MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; PAIM, T. P.; MARTINS, R. S.; BARCELLOS, J. O. J.; CARDOSO, C.; GUIMARÃES, R. F.; SANTANA, O. A. The challenge of sheep farming in the tropics: aspects related to heat tolerance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 107-120, 2011.

MCMANUS, C.; PALUDO, G. R.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L. C. B.; PAIVA, S. R. Heat tolerance in Brazilian sheep: physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health Production**, n. 41, p. 95–101, 2009.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia animal**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto de Zootecnia, 1997, 126 P.

MIRZAEI-AGHSAGHALI, A.; MAHERI-SIS, N. Factors affecting mitigation of methane emission from ruminants feeding strategies. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v. 6, p. 888-908, 2011.

MOSS, A. R.; JOUANY, J. P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. **Ann. Zootech**, v. 49, p. 231–253. 2000.

NASCIMENTO, C. F. M.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BERNDT, A.; RODRIGUES, P.H. M. Methane emissions by Nelore beef cattle consuming *Brachiaria brizantha* with different station of maturation. In: PROCEEDINGS OF THE GREENHOUSE GASES

AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 2007, Christchurch, NZ, 2007. p. 64-65.

NKRUMAH, J. D.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; WANG, Z.; MOORE, S. S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. **Journal Animal Science**, v. 84, p. 145-153. 2006.

OLIVEIRA, A. L. **Mecanismos termorreguladores de cabras da raça saanen**. 2007. 78 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade De Ciências Agrárias E Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

OLIVEIRA, P. P. A.; PE. DROSO, A. F.; ALMEIDA, R. G.; FURLAN, S.; BARIONI, L. G.; BERNDT, A.; OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M.; MORAES, S.; MARTORANO, L.; PEREIRA, L. G. R.; VISOLI, M.; FASIABEM, M. C. R.; FERNANDES, A. H. B. M. Emissão de gases nas atividades pecuárias. In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 1., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: II SIGERA, 2011. p. 69-76.

PELCHEN, A. PETERS, K. J. Methane emissions from sheep. **Small Ruminant Research**, v. 27. p. 137-150. 1998.

PEREZ, J. R. O.; CARVALHO, P. A.; dePAULA, J. O. Aspectos relacionados com a produção de carne ovina. UNESP – Grupo de Nutrição de Ruminantes. 16 p. 2008.

PINARES-PATIÑO, C. S.; LASSEY, K. R.; MARTIN, R. J.; MOLANO, G.; FERNANDEZ, M.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; LUO, D.; CLARK, H. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166, p. 201–209. 2011b.

PINARES-PATIÑO, C. S.; ULYATT, M. J.; LASSEY, K. R.; BARRY, T. N.; HOLMES, C. W. Rumen function and digestion parameters associated with differences between sheep in methane emissions when fed chaffed lucerne hay. **Journal of Agricultural Science**, v. 140, p. 205–14, 2003 b.

PIRES, M. F. A. **Manejo nutricional para evitar o estresse calórico**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2006. 4 p. (Embrapa Gado de Leite. comunicado técnico 52).

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004.

QUESADA, M.; MCMANUS, C.; COUTO, F. A. D'A. Tolerância ao calor de duas raças de ovinos deslanados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 1021-1026, 2001.

RAMIREZ, M. A. **Valor nutricional do feno de *Brachiaria decumbens* em três idades**. 2011. 138 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte, 2011.

RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. **Fisiologia animal: mecanismos e adaptações**. 4. Ed. Guanabara: Koogan, 2008. p. 453-460.

RIVERA, A. R. **Estudo da fermentação ruminal por bovinos consumindo feno de tifton 85 e concentrado com aditivos**. 2006. 57 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

ROBERTSHAW, D. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. **Journal of Applied Physiology**, v. 101, p. 664–668, 2006.

ROBINSON, N. E. Homeostase – Termorregulação. In: CUNNINGHAM, J. G. Tratado de fisiologia veterinária. 3ªed. Rio de Janeiro: Guanabara, Koogan. 2004. p.550-560.

RODRIGUES, N. E. B.; ZANGERONIMO, M. G. FIALHO, E. T. Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico. *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 7, n. 2, p. 1197-1211, 2010.

SAS INSTITUTE. User'sguide: Statistics, Version 9.0. SAS Institute Inc, Cary, C.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia animal: adaptação e ambiente**. 5. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

SEJIAN, V.; LAL, R.; LAKRITZ, J.; EZEJI, T. Measurement and prediction of enteric methane emission. **International Journal of Biometeorology**, v. 55, p. 1-16, 2011.

SEJIAN, V.; MAURIA, V. P.; NAQVY, S. M. K. Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stress (thermal and nutritional) in a semi-arid tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 653-661, 2010.

SILVA, R. C. P. A. A ovinocultura do Paraná no contexto nacional e mundial: um breve diagnóstico situacional. Secretaria de Estado da Agricultura E do Abastecimento - Seab. Departamento de Economia Rural – Deral. Divisão de Conjuntura Agropecuária – DCA. 2004.

SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental**. Funep, Jaboticabal, 2008. 393 p.

SILVA, R. G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel/FAPESP, 2000, p. 79.

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

SILVA, R. G. Um Modelo para a Determinação do Equilíbrio Térmico de Bovinos em Ambientes Tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 4, p. 1244-1252, 2000.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. Thermal balance and thermal regulation. In: _____. (Ed.) 1. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. p. 75-101.

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

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

SILVA, R. G.; STARLING, J. M. C. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1-6, 2003.

SILVA, R. R. **Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos**. 2011. 61 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVA, R.G.; LASCALA JUNIOR, N.; LIMA FILHO, A.E.; CATHARIN, M. C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v. 46, p. 136-140, 2002.

SILVA, W. E. **Variação diária de respostas termorreguladoras e estocagem térmica em ovelhas Morada Nova**. 2010. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

SRIKANDAKUMAR, A.; MAHGOUB, O.; JOHNSON, E. H. Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino sheep. *Small Ruminant Reserch*, v. 49, p. 193-198, 2003.

STARLING, J. M. C.; SILVA, R. G.; MUÑOZ, M.; BARBOSA, G. S. S. C.; COSTA, M. J. R. P. Análise de Algumas Variáveis Fisiológicas para Avaliação do Grau de Adaptação de Ovinos Submetidos ao Estresse por Calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2070-2077, 2002.

STARLING, J. M. C.; SILVA, R. G.; NEGRÃO, J. A.; MAIA, A. S. C.; BUENO, A. R. VARIAÇÃO Estacional dos Hormônios Tireoideanos e do Cortisol em Ovinos em Ambiente Tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v. 34, n. 6, p. 2064-2073, 2005.

STEINFELD, H. GERBER, P.; WAAENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; HAAN, C. *Livestock long shadow: environmental issues and options*. Roma: FAO, 391 p. 2006.

STEVENS, D. G. A model of respiratory vapor loss in Holstein dairy cattle. **Transactions of the ASAE**, v. 24, p. 151-158, 1981.

STORM, I. M. L. D.; HELLWING, A. L. F.; NIELSEN, N. I.; MADSEN, J. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. **Animals**, v. 2, p. 160-183. 2012.

STOWELL, R. R. Heat stress relief and supplemental cooling. In: Dairy Housing and Equipment Systems Conference Proceedings. **Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES)**. Agricultural and Biological Engineering Department, Cornell University, Ithaca, NY, n. 129, 2000.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal Dairy Science**, v. 86, p. 52–77, 2003.

VERÍSSIMO, C.J. Tolerância ao calor em ovelhas de raças de corte lanadas e deslanadas no sudeste do Brasil. 2008. 49 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

VIANA, J. G. A. Panorama geral da ovinocultura no mundo e no Brasil. **Revista Ovinos**, Porto Alegre, v. 4, n. 12, 2008.

WANG, C. J.; WANG, S. P.; ZHOUC, H. Influences of flavomycin, ropadiar, and saponin on nutrient digestibility, rumen fermentation, and methane emission from sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.148, p. 157–166. 2009.

WANG, C.; WANG, S.; GLINDEMANN, H. Z. T. Effects of forage composition and growing season on methane emission from sheep in the Inner Mongolia steppe of China. **Ecological Research**, v. 22, p. 41–48, 2007.

YOUNG, B. A. Effect of environmental stress on nutrient needs. In: Church, D.C. (Ed.) **The ruminant animal**. New Jersey: Prentice Hall, 1988. p.456-467.