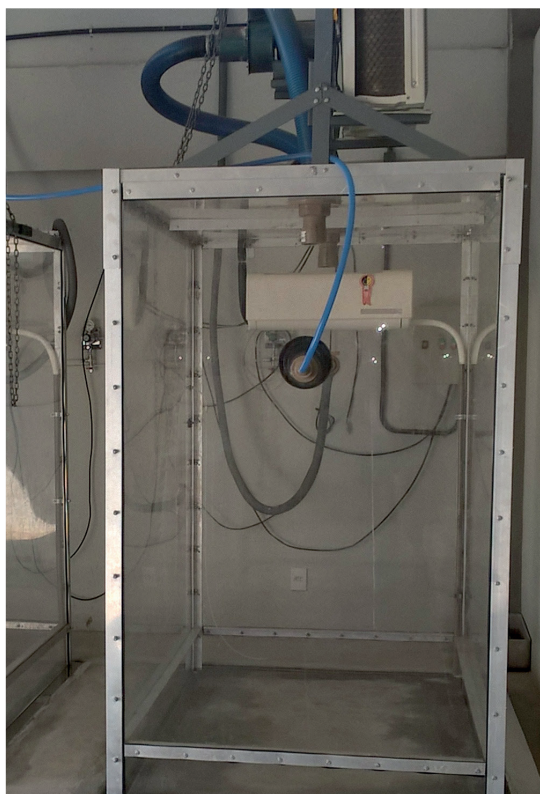


Especificações padrões para mensurações de gases de efeito estufa e metabolismo de pequenos ruminantes no bioma Caatinga



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Caprinos e Ovinos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
13**

**Especificações padrões para mensurações
de gases de efeito estufa e metabolismo de
pequenos ruminantes no bioma Caatinga**

*Marcos Cláudio Pinheiro Rogério
Iran Borges
Alexandre Lima Ferreira
Fernanda Samarini Machado
Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu
Luciana Freitas Guedes
Clésio dos Santos Costa
Fernando Lisboa Guedes
Diego Barcelos Galvani*

***Embrapa Caprinos e Ovinos
Sobral, CE
2019***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Caprinos e Ovinos
Fazenda Três Lagoas, Estrada Sobral/
Groaíras, Km 4 Caixa Postal: 71
CEP: 62010-970 - Sobral, CE
Fone: (88) 3112-7400
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Caprinos e Ovinos

Presidente
Cícero Cartaxo de Lucena

Secretário-Executivo
Alexandre César Silva Marinho

Membros
*Alexandre Weick Uchoa Monteiro, Carlos José
Mendes Vasconcelos, Fábio Mendonça Diniz,
Maíra Vergne Dias, Manoel Everardo Pereira
Mendes, Marcos André Cordeiro Lopes, Tânia
Maria Chaves Campêlo, Zenildo Ferreira
Holanda Filho*

Supervisão editorial
Alexandre César Silva Marinho

Revisão de texto
Carlos José Mendes Vasconcelos

Normalização bibliográfica
Tânia Maria Chaves Campêlo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Maíra Vergne Dias

Foto da capa
Marcos Cláudio Pinheiro Rogério

1ª edição
On-line (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Caprinos e Ovinos

Especificações padrões para mensurações de gases de efeito estufa e metabolismo de pequenos ruminantes no bioma Caatinga Marcos Cláudio Pinheiro Rogério ... [et al.]. - Sobral : Embrapa Caprinos e Ovinos, 2019.
24 p. : il. color. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Caprinos e Ovinos, ISSN 0101-6008; 13).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/item/181>>.

1. Caprino. 2. Ovino. 3. Mudança climática. 4. Efeito estufa. I. Rogério, Marcos Cláudio Pinheiro Rogério. II. Borges, Iran. III. Ferreira, Alexandre Lima. IV. Machado, Fernanda Samarini. V. Pompeu, Roberto Cláudio Fernandes Franco. VI. Guedes, Luciana Freitas. VII. Costa, Clésio dos Santos. VIII. Guedes, Fernando Lisboa. IX. Galvani, Diego Barcelos. X. Título. XI. Série.

CDD 630.2515

Sumário

Resumo5

Abstract7

Introdução.....8

Material e Métodos10

Resultados e Discussão20

Conclusões.....21

Agradecimentos.....23

Referências23

Especificações padrões para mensurações de gases de efeito estufa e metabolismo de pequenos ruminantes no bioma Caatinga

Marcos Cláudio Pinheiro Rogério¹

Iran Borges²

Alexandre Lima Ferreira³

Fernanda Samarini Machado⁴

Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu⁵

Luciana Freitas Guedes⁶

Clésio dos Santos Costa⁷

Fernando Lisboa Guedes⁸

Diego Barcelos Galvani⁹

Resumo – A respirometria em ensaios com pequenos ruminantes contribui para a mensuração das emissões de gases de efeito estufa (GEE), subsídio ao pagamento por serviços ambientais e para o desenvolvimento de rações e suplementos que propiciem a máxima eficiência alimentar. Para as aferições de emissão de GEE, 15 cordeiras Santa Inês, com peso de 15,09 kg±2,63 kg, foram avaliadas na câmara respirométrica do Laboratório de Respirometria do Semiárido (Laresa) da Embrapa Caprinos e Ovinos. As dietas foram formuladas conforme as exigências nutricionais descritas pelo NRC (National Research Council, 2007), em planos nutricionais para manutenção, acabamento de carcaça precoce e de carcaça tardia, com cinco repetições. As ta-

¹ Médico-veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE.

² Zootecnista, doutor em Ciência Animal, professor aposentado da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

³ Médico-veterinário, doutor em Zootecnia, consultor da Fundação Eliseu Alves, Juiz de Fora, MG.

⁴ Médica-veterinária, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Gado Leite, Juiz de Fora, MG.

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE.

⁶ Zootecnista, doutora em Zootecnia, Bolsista da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE.

⁷ Zootecnista, mestre em Zootecnia, Bolsista da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

⁸ Biólogo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE.

⁹ Zootecnista, doutor em Ciência Animal e Pastagens, pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral, CE.

xas médias de recuperação para CO_2 e CH_4 foram de 96,5% e 92,5%, respectivamente. Os coeficientes de variação foram 0,73% e 0,85% para CO_2 e CH_4 . Os coeficientes de variação dentro de animal foram 2,63% e 2,81% para as emissões de metano em L/dia e em L/Kg de matéria seca ingerida, respectivamente, e os coeficientes de variação entre animais foram 12,1 e 11,76%, respectivamente. Para produção de calor, dentro e entre animais, os coeficientes foram 1,54% e 8,13%, respectivamente. O sistema de avaliação de metabolismo animal e produção de gases no Laresa segue os padrões internacionais de aferição de medidas respirométricas.

Termos para indexação: caprinos, energia líquida, gás carbônico, incremento calórico, metano, ovinos.

Standard specifications for greenhouse gas measurements and small ruminant metabolism in Caatinga biome

Abstract – Respirometry in trials with small ruminants contributes to the measurement of greenhouse gas (GHG) emissions, subsidies for payment for environmental services and the development of rations and supplements that provide maximum feed efficiency. For GHG emission measurements, 15 Santa Inês lambs, weighing $15.09 \text{ kg} \pm 2.63 \text{ kg}$, were evaluated in the respiratory chamber of the Embrapa Caprinos e Ovinos Semiarid Respirometry Laboratory (Laresa). The diets were formulated according to the NRC (National Research Council, 2007), in nutritional plans for maintenance, early carcass finishing and late carcass, with five repetitions. The average recovery rates for CO_2 and CH_4 were 96.5% and 92.5%, respectively. The coefficients of variation were 0.73% and 0.85% for CO_2 and CH_4 . In animal coefficients of variation were 2.63% and 2.81% for methane emissions in L/day and L/Kg of ingested dry matter, respectively, and coefficients of variation between animals were 12.1 and 11.76%, respectively. For heat production, within and between animals, the coefficients were 1.54% and 8.13%, respectively. Laresa's animal metabolism and gas production assessment system follows international standards for the measurement of respirometric measurements.

Index terms: caloric increment, carbon dioxide, goats, liquid energy, methane, sheep.

Introdução

A Embrapa Caprinos e Ovinos sempre se destacou em pesquisas voltadas à sustentabilidade de sistemas produtivos de pequenos ruminantes no Semiárido brasileiro, a exemplo dos trabalhos voltados à manipulação da vegetação lenhosa da caatinga, iniciados na década de 1980 (Araújo Filho, 1990).

Nas últimas décadas, com o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, fato esse que tem contribuído com o aquecimento global e consequentes mudanças climáticas (Berndt, 2013), além de avaliações de sustentabilidades econômicas, produtivas e de uso da vegetação nativa, fez-se necessário estabelecer uma estrutura de trabalho voltada à mensuração de gases de efeito estufa nas condições de Semiárido brasileiro.

Esse contexto atual implica em considerar nas avaliações de metabolismo animal em grupos genéticos localmente adaptados e animais resultantes de cruzamentos industriais, alimentos tropicais, especialmente aqueles disponíveis no Semiárido brasileiro, como plantas nativas e adaptadas ao bioma caatinga e os subprodutos agroindustriais, além de variações bioclimatológicas ao longo do ano (temperatura, ventilação e umidade relativa do ar).

Nesse sentido, linhas de trabalho têm sido estabelecidas para avaliação de produção de GEE em condições de pasto nativo da caatinga, utilizando gás-traçador SF₆ (Berndt et al., 2009), e voltada à avaliação da produção de GEE e de processos metabólicos de pequenos ruminantes utilizando câmaras respirométricas (Rodríguez et al., 2007).

A avaliação dos efeitos climáticos sobre a produção de pequenos ruminantes também é outro fator que contextualiza o desenvolvimento de pesquisas nesse tipo de infraestrutura, na medida em que podem ser caracterizados os efeitos de temperatura, umidade relativa do ar e ventos sobre o bem-estar animal (conforto térmico, etologia e bioclimatologia). Como laboratório prestador de serviços, multiusuário, aberto às instituições de pesquisa nacionais e internacionais, todos esses aspectos são trabalhados na perspectiva de desenvolvimento de modelos bioclimatológicos, nutricionais e econômicos que ajudarão a definir critérios e índices para a sustentabilidade dos sistemas de produção de pequenos ruminantes em regiões tropicais semiáridas.

Blaxter (1967) citou que o primeiro trabalho com avaliação de câmaras respirométricas foi feito por Armsby (1913) e, de acordo com Kleiber (1975), as câmaras respirométricas representam um método prático e adequado de avaliação do metabolismo energético de mamíferos. A calorimetria indireta é um método não invasivo que determina as necessidades nutricionais e a taxa de utilização dos substratos energéticos a partir do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico obtidos pela análise do ar inspirado e expirado pelos pulmões (Diener, 1997).

As exigências de manutenção podem ser afetadas pela raça, idade, tamanho, crescimento, gestação, lactação, meio ambiente e atividade muscular segundo o NRC (National Research Council, 2007). Em animais alimentados, a produção de calor é derivada do metabolismo basal, do incremento calórico e do calor produzido pelas atividades do animal. Não havendo consumo de alimentos, o incremento calórico é igual a zero e os componentes da produção de calor são traduzidos pelo metabolismo basal e pelo calor produzido nas atividades voluntárias do animal que são consideradas iguais às exigências de energia líquida de manutenção (Lofgreen; Garret, 1968).

A calorimetria é a medida de produção de calor que permite, inclusive, determinar os custos econômicos de perdas energéticas (Rodriguez et al., 2007). Por meio desse método, é possível determinar a medida de exigência de energia líquida dos animais, o que contribui para as formulações dietéticas de forma muito mais direcionada e eficiente. Ainda de acordo com Rodriguez et al. (2007), nos estudos de metabolismo energético, o calor produzido pelos animais é medido em relação à produção de calor total, que inclui o calor usado para a manutenção e o incremento calórico. A energia retida nos tecidos corporais (ganho de peso), no leite (animais lactantes) e crescimento fetal (animais gestantes) é a diferença entre o consumo de energia bruta total e as perdas energéticas nas fezes, urina e produções de metano e calor.

Nesse contexto, a respirometria em ensaios de avaliação de metabolismo de pequenos ruminantes contribui para a mensuração e mitigação das emissões de GEE, subsídio ao pagamento por serviços ambientais e para o desenvolvimento de rações e suplementos que propiciem a máxima eficiência alimentar (máximo desempenho animal) e, ao mesmo tempo, mitiguem a emissão de GEE em sistemas de produção pecuários. Assim, a mensuração

dessas emissões permite avaliar o impacto da produção de ovinos e caprinos no contexto das mudanças climáticas globais.

Em região semiárida, as informações geradas podem contribuir para a formulação de dietas mais ajustadas a essa realidade, pela compilação de dados gerados sobre exigências de energia líquida de pequenos ruminantes de grupos genéticos localmente adaptados e emissões de GEE. Por fim, as próprias condições de controle de temperatura e umidade aplicadas às câmaras respirométricas permitem a avaliação e o desenvolvimento de sistemas de produção que reduzam os efeitos do stress calórico sobre o desempenho de pequenos ruminantes em ambiente tropical Semiárido.

Material e Métodos

Especificações e padrões do sistema de avaliação de metabolismo de pequenos ruminantes do Laboratório de Respirometria do Semiárido (Laresa)

As câmaras respirométricas para pequenos ruminantes existentes no Laresa foram desenvolvidas para a condução de estudos de interações e dinâmicas de consumo alimentar, condições climáticas, emissões de gases de efeito estufa e de metabolismo de nutrientes, particularmente o metabolismo energético. Nesse sentido, o presente trabalho descreve e valida o método estabelecido na Embrapa Caprinos e Ovinos como ferramenta que permite a repetibilidade e uso em mensurações desse tipo (respirometria indireta).

O Laresa conta com um galpão de 100 m² (Figura 1), com área para ensaios de avaliação de desempenho de pequenos ruminantes, sala com câmaras respirométricas, sala para ensaios de metabolismo com pequenos ruminantes, área para câmara frigorífica (guarda de amostras), alojamentos masculino e feminino para pesquisadores/professores e estudantes de pós-graduação com banheiros, minicopa e sala para reuniões. Já dispõe de duas câmaras respirométricas de acrílico e 32 gaiolas de metabolismo (modelo neozelandês) (Figura 2). As câmaras foram alocadas no mesmo prédio e uma sala separada com ar-condicionado anexa à sala com câmaras respirométricas contém os equipamentos para análises de gases, calibração, controle das câmaras, aquisição e processamento de dados (Figura 4).

Foto: Marcos Cláudio Pinheiro Rogério



Figura 1. Vista panorâmica do Laresa da Embrapa Caprinos e Ovinos.

O sistema respirométrico é configurado em arranjo de circuito aberto (Aguilera; Prieto, 1986). O volume líquido de cada câmara é de $5,04 \text{ m}^3$, com dimensões de 2,1 m de comprimento x 1,2 m de largura x 2,0 m de altura. As câmaras foram feitas de cantoneiras de alumínio com painéis de acrílico de espessura de 8 mm que permitem o isolamento térmico e sonoro. O acoplamento dos painéis de acrílico nas cantoneiras de alumínio é feito com borrachas de isolamento hídrico e acústico por meio de parafusos autotravantes, juntamente ao silicone acético transparente nas junções (Sikaflex S/A, São Paulo, Brasil).

As câmaras apresentam larga janela de transparência (1,8 m de altura, 1,0 m de largura) o que garante comunicação visual entre os animais. Cada câmara é equipada com um sistema de roldanas autotravantes que permite a sua suspensão no momento imediatamente anterior à entrada dos animais. Com a entrada dos animais em gaiolas de metabolismo (compostas de rodinhas deslizantes, Figura 2), o sistema de roldanas permite a descida da

câmara para uma base de aço, na qual é feito um isolamento com coluna de água. A base de aço é pintada com tinta epóxi para prevenir trocas de CO_2 . O sistema de cochos e de coleta diferencial de fezes e urina é o mesmo da gaiola de metabolismo utilizada nos ensaios.



Foto: Marcos Cláudio Pinheiro Rogério

Figura 2. Câmaras respirométricas com animais inseridos em gaiolas de metabolismo em plena mensuração.

Cada uma das câmaras possui um aparelho de ar-condicionado do tipo quente/frio (temperatura no display variando de 18 °C a 32 °C) com total isolamento em relação ao ambiente externo, o que permite apenas a circulação de ar no interior da câmara. Para as determinações de exigências de energia líquida e produção de gases de efeito estufa, padronizou-se trabalhar com a temperatura de 25 °C $\pm$ 1,5 °C e umidade relativa do ar de 70% $\pm$ 5% medida em termo-higrômetro digital com sensor externo (Ak28new, Akso, Rio Grande do Sul, Brasil).

O fluxo de ar das câmaras possui um sistema de regulação independente com ductos de 75 mm que se interligam a entradas independentes de ar em cada câmara (parte traseira) e saídas de ar acopladas a seções de filtro de ar integradas a tubos flexíveis de mesmo diâmetro (parte frontal), feitos de material isolante térmico, que se comunicam com dois fluxômetros de massa (Flow Kit modelo FK-100, Sable International Systems, Las Vegas, NV) que também são geradores de fluxo de ar (10 L/min-100 L/min), individualizados para cada câmara, na sala de análises. Os fluxômetros de massa permitem medidas de fluxo de massa do ar atmosférico corrigidas para as condições padrões de temperatura (273,5 K) e pressão (101,325 kPa) e mantêm as taxas de fluxo constante durante os períodos de mensuração.

O ar é, então, reciclado por meio desse sistema. A entrada de ar fresco (parte traseira) possui válvula reguladora de entrada, imediatamente acima do local do cocho de alimentação e está conectada por tubo flexível ao ambiente externo em uma parede do Laresa. Na mesma parede, próximo às entradas de ar das duas câmaras, um tubo de PVC de 75 mm está posicionado, tendo em sua terminação um exaustor (Ventokit 80, Westaflex Tubos flexíveis Ltda, Paraná, Brasil), utilizado para amostragem de valores estáveis de concentrações de oxigênio para calibração dos aparelhos que compõem o sistema de medidas de gases.

A taxa de fluxo foi definida considerando que o nível de CO₂ não deve exceder 1% e, ao mesmo tempo, o consumo de O₂ ainda seja possível. Para cordeiros em crescimento, a taxa de fluxo usualmente utilizada é de 1,2 L/min para cada kg de peso vivo. Considerando-se o fluxo descrito, o ar é puxado para o interior das câmaras respirométricas. Feitos os ajustes nas válvulas de entrada, uma leve pressão negativa é estabelecida (mínimo de 50 Pa e máximo de 100 Pa abaixo da pressão ambiente) no interior das câmaras. Essa



Foto: Marcos Cláudio Pinheiro Rogério

Figura 3. Equipamentos que compõem o sistema de aquisição e interpretação de dados (Sable Systems International).

aferição é feita com um medidor de pressão digital (DPI 705, Druck Limited, Leicester, UK) toda manhã, antes do início das mensurações.

As duas câmaras respirométricas participam de um mesmo sistema de análise e aquisição de dados (Sable Systems International). O ar que sai das câmaras é direcionado para uma bomba subamostradora que permite uma amostragem contínua de aproximadamente 0,5 L/min. O excedente é dispensado para o ambiente. O ar ambiente (baseline), da mesma forma, é continuamente subamostrado na mesma quantidade (0,5 L/min) em uma bomba de pressão positiva (B-pump, Sable Systems International).

Um sistema de comutação de gases com oito canais (RM-8 Flow Multiplexer, Sable Systems International) controla as duas câmaras atualmente instaladas e as amostragens de ar externo (baseline), entregando somente o fluxo de amostras individualmente (de cada câmara), baseline e gases recuperados do interior das câmaras, para o conjunto de analisadores de gases imediatamente após a captação por meio de uma bomba diafragmática de subamostragem (SS-4 Sub-sampler Pump, Sable Systems International). Do multiplexer RM-8, 0,5 L/min são puxados para a bomba de subamostragem cerca de 0,2 L/min para um coletor de amostras (conexão T) e daí um fluxo controlado de 0,2 L/min é empurrado através da cadeia de análises. Nesse sistema são utilizados tubos Bev-A-Line IV, tamanho B5 (Excelon, Long Hill Township, NJ).

O intervalo de tempo entre as medidas pode ser definido pelo operador no *software* de aquisição de dados (Expedata Data Analysis *Software* 1.8.5. versão PRO, Sable Systems International), baseando-se na estabilidade de concentração de gases e número de câmaras em operação.

No presente momento, o sistema está configurado para 300 segundos de tempo de medida para cada canal. Com duas câmaras trabalhando simultaneamente, a sequência de leituras em cada ciclo é: leitura do ar externo (baseline), câmara 1, câmara 2. Seguindo essa sequência, o tempo requerido para um ciclo completo é de 15 minutos, com quatro medidas por hora para cada câmara e 88 medidas em um dia (considerando um período de mensurações de 22 h/dia).

O fluxo de amostras para leitura segue a sequência de avaliação pelos analisadores de vapor d'água (RH-300 Water Vapor Analyser), CO₂ (Ca-10 Carbon Dioxide Analyser, CH₄ (MA-10 Methane Analyser), and O₂ (FC-10

Oxygen Analyser) (Sable Systems International). A seguir é apresentado o esquema do Laresa da Embrapa Caprinos e Ovinos, conforme demonstrado na Figura 4.

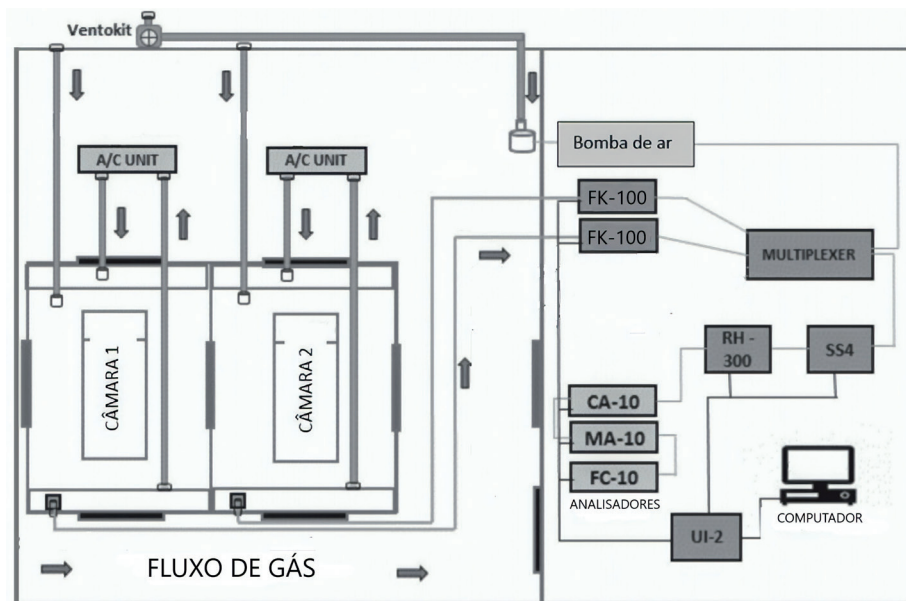


Figura 4. Esquema geral do sistema de respirometria. FK100 = medidor e controlador de fluxo FK100, SS4= bomba subamostradora, RH-300 = analisador de vapor d'água, CA-10 = analisador de CO₂, MA-10 = analisador de CH₄, FC-10 = analisador de O₂, UI-2 = interface universal, A/C Unit = unidade de ar condicionado, ventokit = captação de ar externo.

O *lag time* de cada analisador depende do comprimento dos tubos Bev-A-Line entre o sistema de comutação de gases e o respectivo analisador e a taxa de amostragem. Considerando a taxa de amostragem de 0,2 L/min, o *lag time* para as mensurações de vapor d'água, CO₂, CH₄ e O₂ é de 9, 11, 16 e 23 segundos, respectivamente. Metano e dióxido de carbono são medidos por tecnologia infravermelha, enquanto o oxigênio é medido por tecnologia de célula de oxigênio.

Os analisadores de gases possuem sistema de controle de temperatura interna e compensação de pressão barométrica para correção às condições padrões de temperatura e pressão (CPTP). As faixas de detecção para umidade relativa, CO₂, CH₄ e O₂ são 0-100% (acurácia absoluta de 2%, resolu-

ção de 0,001%), 0-10% (acurácia de 1% de leitura, resolução de 0,0001%), 0-10% (acurácia de 1% de leitura, resolução de 0,001%) e 0-100% (acurácia de 0,1% de leitura, resolução de 0,0001%), respectivamente.

A calibração para os analisadores de CO₂ e CH₄ (zero ou ausência do gás específico a ser calibrado e “span”, ou seja, em função do gás padrão específico) é realizada antes do início de cada leitura. Os analisadores de vapor d’água e de O₂ são calibrados uma vez por semana. Para calibrar os analisadores de CO₂, CH₄ e O₂ e encontrar valores de leitura iguais a zero, é utilizado o gás nitrogênio (99,999%). Para calibração em função do gás específico (caso do CO₂ e CH₄), utilizam-se misturas de gases especialmente preparadas para conter 0,5% de CO₂ e 0,1% de CH₄ utilizando N₂ como gás carreador, para os analisadores de CO₂ e CH₄, respectivamente.

O analisador de O₂ é calibrado com o ar ambiente amostrado, isento de vapor d’água pelo acoplamento no sistema de tubos Bev-A-Line de uma seringa contendo perclorato de magnésio, que resulta em uma quase constante concentração de 20,95%. O valor padrão zero do analisador de vapor d’água é alcançado com o ar isento de vapor d’água (seco) e o valor de ajuste relativo ao vapor d’água padrão (span) é calculado pela equação de Lighton (2008):

$$WVP = BP \times [(F'_{iO_2} - FiO_2)/F'_{iO_2}], (1)$$

Onde WVP é a pressão do vapor d’água na mesma pressão barométrica (kPa); BP é a pressão barométrica; e F’_{iO₂} and FiO₂ são as concentrações de ar ambiente seco e úmido, respectivamente.

Calibrações para todo o sistema foram realizadas antes do início de cada ensaio experimental pela injeção de volumes conhecidos de CO₂ e CH₄ em cada câmara por meio de um fluxômetro de massa portátil com função de avaliação da injeção total de cada gás por um período de 4h (MC-50SLPM-D, Alicat Scientific Inc., Tucson, AZ).

O *software* de análise e aquisição de dados (ExpeData v.1.8.5, Sable Systems International) é utilizado para registro da concentração de gases (O₂, CO₂ e CH₄), taxas de fluxo de ar úmido, temperatura, pressão barométrica e pressão de vapor d’água durante o período de mensuração (22h). O *software* por meio de uma *macro utility* corrige os efeitos de vapor d’água sobre a taxa de fluxo e concentração de gases, realiza a correção pelo *lag time* de leituras para ajustes de médias e desvios padrões.

Os dados de concentração de gases são corrigidos para *lag time* pela eliminação dos primeiros segundos relativos a esse período e por diferenças de tempo de resposta aplicando transformações conhecidas como “Z-transform” (Bartholomew et al., 1981; Lighton, 2008). Para ajustes de medidas de entrada e saída de ar das câmaras, foram utilizadas equações de Lighton (2008) também descritas por Machado et al. (2016).

A diferença de medidas sequenciais de gases de cada câmara e a taxa de exaustão de gases são depois somadas para cada ciclo e, assim, a soma total das trocas gasosas. Os dados de consumo alimentar são integrados aos dados de emissão de gases e produção de calor calculada de acordo com Brouwer (1965).

Padrões do sistema de avaliação de metabolismo para ovinos em crescimento, alimentados com diferentes planos nutricionais

Foram utilizadas 15 cordeiras da raça Santa Inês, com peso médio de $15,09 \pm 2,63$ kg, oriundas da mesma estação de parição, ocorrida em outubro de 2017, no Setor Beira do Rio. Foram distribuídas em delineamento inteiramente ao acaso, submetidas a dietas formuladas segundo o NRC (National Research Council, 2007), em planos nutricionais voltados à manutenção, acabamento de carcaça precoce e acabamento de carcaça tardia, com cinco repetições para cada plano nutricional.

Os diferentes planos nutricionais citados permitem desafiar o sistema em termos de padronização e calibração, frente às variações de produções de calor por animal. Utilizaram-se as indicações do NRC (2007) para cordeiros com 20 kg de peso vivo (PV), considerando o ganho de peso médio diário de 200 g dia^{-1} para animais de 4 meses-8 meses de idade. O período de adaptação às baias e dietas foi de 14 dias, tendo sido a ração fornecida duas vezes ao dia (8h:16h). Permitiram-se sobras de até 5% do ofertado.

Os animais experimentais foram treinados e adaptados ao manejo diário e câmaras respirométricas. Para cada mensuração respirométrica, as cordeiras foram alocadas aleatoriamente em cada câmara. O consumo alimentar no interior da câmara foi comparado com a média de consumo alimentar observada uma semana antes do início do ensaio respirométrico. Após o pe-

ríodo de adaptação, foi dado início ao ensaio de respirometria para determinação da produção de calor (PC).

Os procedimentos e especificações dos sistemas seguiram as indicações de Rodríguez et al. (2007), e os procedimentos de calibração conforme as indicações do item 3 do presente trabalho. Para o ensaio, foram utilizadas duas câmaras respirométricas de análises de gases e com sistema de aquisição de dados (Sable Systems International, Las Vegas, USA), dotadas de aparelho de refrigeração para manutenção da temperatura em condições de termoneutralidade (temperatura média de 25 °C $\pm$ 1,5 °C e umidade relativa do ar de 70% $\pm$ 5%).

Antes do início das leituras propriamente ditas, foram realizadas calibrações diárias dos aparelhos de leitura de CO₂ (CA-10 *Carbon Dioxide Analyzer*) e CH₄ (MA-10 *Methane Analyzer*). Em seguida, os animais foram pesados para ajustes das taxas de fluxo de ar nos geradores de fluxo (FK-100). A ração foi fornecida nos cochos das gaiolas de metabolismo que foram imediatamente inseridas no interior das câmaras.

O período de leitura foi de 22 h/dia para cada animal. Foi realizada a leitura de dois animais por dia (um em cada câmara). No dia seguinte, as posições dos animais foram invertidas para a realização da segunda leitura. Depois de colhidas duas leituras por animal, a diferença de produção de CO₂, CH₄, consumo de O₂ (FC-10 *Oxygen Analyzer*) e consumo de matéria seca foram avaliadas. Caso a variação ultrapassasse 5%, uma terceira leitura foi realizada.

A produção de calor foi determinada com o uso da equação de Brouwer (1965):

$$\begin{aligned} \text{Produção de calor (Kcal dia}^{-1}\text{)} = \\ (3,866 \times \text{VO}_2) + (1,200 \times \text{VCO}_2) - (0,518 \times \text{VCH}_4) - (1,431 \times \text{Nu}) \quad (1) \end{aligned}$$

Em que VO₂, VCO₂ e VCH₄ (L dia⁻¹) são os volumes de oxigênio, gás carbônico e gás metano, respectivamente. Nu (g dia⁻¹) é o nitrogênio ureico, as coletas de urina foram realizadas antes das câmaras serem colocadas em cima da base.

Para as determinações de consumo, foram pesadas as quantidades de alimento fornecido e sobras relativos aos dois dias de avaliação em câmaras respirométricas por animal experimental. Amostras de sobras, urina e alimen-

tos foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos e guardadas em *freezer* à temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para coleta da urina, as gaiolas possuíam tela adaptada para coleta diferencial de fezes e urina, tendo sido adicionados no dia anterior 100 ml de ácido clorídrico (HCl 2N) no recipiente de coleta para evitar perdas por volatilização do nitrogênio urinário.

Ao final do experimento, as amostras foram descongeladas e pré-secas a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, em estufa com circulação forçada de ar, até peso constante. Após isso, as amostras sólidas foram trituradas em moinho de facas (MO666, John Doe Co., Dog City, USA), utilizando-se peneira de porosidade 1 mm. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal (Lana) da Embrapa Caprinos e Ovinos. Para tanto, determinaram-se os valores de matéria seca - MS (AOAC, 2005, método número 930.15). (Horwitz; Latimer Júnior, 2006).

Uma análise descritiva dos dados de validação de leitura com animais foi realizada com apresentação de médias, desvios-padrões, coeficientes de variação e componentes de variação dentro de animal (duas leituras por animal) e entre animais. A repetibilidade das emissões de CH_4 foi calculada como proporção das variâncias entre animais em relação à variância total.

Resultados e Discussão

As taxas médias de recuperação para CO_2 e CH_4 foram de 96,5% e 92,5%, respectivamente, em dez observações tomadas antes do início das coletas de dados com animais. Os coeficientes de variação foram de 0,73% e de 0,85% para CO_2 e CH_4 . Esses resultados demonstraram que o presente sistema trabalha com acurácia e precisão. São similares aos descritos na literatura, inclusive com coeficientes de variação mais baixos.

Machado et al. (2016) relataram valores de taxas médias de recuperação da ordem de 99% e de 98% com coeficientes de variação de 2,12% e 2,76% para CO_2 e CH_4 , respectivamente. Lî et al. (2010), por sua vez, relataram valores de 96,7% e 99,6% para taxas de recuperação de CO_2 e CH_4 com coeficientes de variação da ordem de 1,3%. Klein e Wright (2006) relataram valor médio de taxa de recuperação de CH_4 de 101,1% com seis observações e coeficiente de variação de 4,5%.

A repetibilidade das taxas de recuperação do presente sistema em comparação aos sistemas citados na literatura está relacionada, possivelmente, ao fato de serem utilizadas câmaras menores, menos sujeitas a vazamentos, em relação às câmaras de grandes animais (Machado et al., 2016; Klein e Wright, 2006).

O consumo alimentar e os componentes de gasto energético estão apresentados na Tabela 1. Os valores de coeficientes de variação dentro de animal (variação de dois dias de leituras) foram de 2,63% e 2,81% para as emissões de metano em L por dia e em L/kg de matéria seca ingerida, respectivamente; entre animais, os coeficientes de variação foram de 12,1% e 11,76% para esses parâmetros.

Para produção de calor, dentro de animal e entre animais, os coeficientes de variação foram 1,54% e 8,13%, respectivamente. As estimativas de repetibilidade (variação total/variação entre animais) para emissão de metano e produção de calor foram elevadas (Tabela 1), aspecto considerado necessário por Vlaming et al. (2008), para que seja possível detectar as variações de altos e baixos níveis de emissões de CH_4 e a eficiência de uso dos componentes energéticos das dietas. Os resultados apresentados estão consistentes com aqueles verificados por Blaxter e Clapperton (1965), Grainger et al. (2007) e Machado et al. (2016), que obtiveram valores de coeficientes de variação dentro de animais de 7,2%, 4,3% e 2,3%, respectivamente, para mensurações de CH_4 em câmaras respirométricas.

Conclusões

O sistema de avaliação de metabolismo animal e produção de gases do Laboratório de Respirometria do Semiárido (Laresa), da Embrapa Caprinos e Ovinos, segue os padrões internacionais de aferição de medidas respirométricas.

Os resultados obtidos em câmaras respirométricas realizadas no Laresa garantem a precisão e a acurácia das medidas tomadas e a consequente viabilidade técnica de utilização do sistema para realização de análises de emissão de gases de efeito estufa, associados ao metabolismo nutricional de caprinos e ovinos na região do Semiárido brasileiro.

Tabela 1. Consumo alimentar, emissões de metano, produção de calor e quociente respiratório (QR) em cordeiras em crescimento (4-6 meses de idade) da raça Santa Inês, alimentadas com dietas em diferentes planos nutricionais conforme o NRC (2007).

Animais	PN*	MSI, g/dia			CH ₄ , litros			CH ₄ , litros/ kg de MSI			PC, kcal/kg0,75/dia			QR		
		Dia 1		CV (%)	Dia 1		CV (%)	Dia 1		CV (%)	Dia 1		CV (%)	Dia 1		CV (%)
		Dia 2	Dia 2		Dia 2	Dia 2		Dia 2	Dia 2		Dia 2	Dia 2		Dia 2	Dia 2	
1	M	849,2	886,0	2,12	16,64	16,59	0,15	19,59	18,72	2,27	99,35	99,50	0,08	1,13	1,09	1,80
2	M	662,1	722,9	4,39	16,72	17,00	0,83	25,25	23,52	3,56	98,97	103,99	2,47	1,14	1,12	0,88
3	M	635,9	651,0	1,18	13,78	13,60	0,66	21,67	20,89	1,83	103,53	101,38	1,05	1,13	1,09	1,80
4	M	637,9	668,4	2,33	14,63	15,49	2,86	22,94	23,18	0,52	98,79	102,04	1,62	1,13	1,15	0,88
5	M	601,2	636,7	2,86	15,10	15,29	0,63	25,11	24,02	2,24	103,08	101,76	0,64	1,09	1,16	3,11
6	MP	657,2	722,1	4,71	8,63	11,08	12,43	13,13	15,34	7,77	121,56	123,87	0,94	1,00	1,04	1,96
7	MP	980,3	891,9	4,72	9,94	9,96	0,10	10,14	11,17	4,82	139,15	135,31	1,40	1,00	1,03	1,48

Agradecimentos

Os autores são gratos à Funcap, CNPq, Capes, Mapa e Embrapa pela disponibilização de recursos para a montagem da estrutura do Laresa da Embrapa Caprinos e Ovinos, e realização de ensaios experimentais.

Os autores também agradecem aos Programas de Pós-graduação das Universidades Federais de Minas Gerais, Ceará, Piauí e Tocantins pela parceria na participação dos estudantes de pós-graduação nas atividades de pesquisa executadas no Laresa.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Norberto Mário Rodríguez da Universidade Federal de Minas, pelo pioneirismo no Brasil em implantação de sistemas de avaliação com câmaras respirométricas, inspiração para o trabalho ressignado e focado nos resultados utilizando esse tipo de sistema. Desde o início, sempre muito solícito e disponível em ajudar e ceder informações necessárias à correta instalação do sistema.

Agradecimentos sinceros dos autores aos gestores da Embrapa Caprinos e Ovinos: Dr. Evandro Vasconcelos Holanda Júnior, Dr. Marco Aurélio Delmondes Bomfim, Dr. Olivardo Facó, Sr. Caetano Silva Filho pelos inúmeros esforços e disponibilidade constante e, principalmente, por acreditarem na possibilidade de implantarmos esse tipo de estrutura única no Semiárido brasileiro.

Referências

AGUILERA, J. F.; PRIETO, C. Description and function of an open-circuit respiration plant for pigs and small ruminants and the techniques used to measure energy metabolism. **Archiv für Tierernährung**, v.36, n. 11, p.1009-1018, Nov. 1986. DOI: [HYPERLINK "https://doi.org/10.1080/17450398609429522"](https://doi.org/10.1080/17450398609429522) "t" "_blank" 0.1080/17450398609429522

ARAÚJO FILHO, J. A. de. Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris. In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 3., 1990, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB-CCA, 1990. p. 80-93.

BERNDT, A.; ANDRADE, F. M. E. de; SANTOS, P. M.; POSSENTI, R. A.; ALLEONI, G. F.; DEMARCHI, J. J. A. de A. Avaliação de cápsulas com gás traçador SF₆ utilizadas na determinação de emissão de metano entérico em bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ:UEM, 2009. 3 f.

BERNDT, A.; ROMERO SOLÓRZANO, L. A.; SAKAMOTO, L. S. Pecuária de corte frente à emissão de gases de efeito estufa e estratégias diretas e indiretas para mitigar a emissão de metano. In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 6.; BRAZILIAN RUMINANT

NUTRITION CONFERENCE, 4., 2013, Botucatu. **Precision nutrition for intensive beef production systems: high performance and low environmental impact: Proceedings.** Botucatu: UNESP, 2013. p. 3-15.

BLAXTER, K. L. Techniques in energy metabolism studies and their limitations. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 26, n. 1, p. 86-96, 1967. DOI: HYPERLINK "<https://doi.org/10.1079/pns19670016>" \t "_blank" 10.1079/pns19670016

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **The British Journal of Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 511-522, 1965. DOI: HYPERLINK "<https://doi.org/10.1079/bjn19650046>" \t "_blank" 10.1079/bjn19650046

BROUWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. 1965. In: SYMPOSIUM ON ENERGY METABOLISM, 3., 1964, Scotland. **Proceedings...** London: Academic Press, 1965. p. 441-443. (European Association for Animal Production. EAAP Publication, 11).

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

GRAINGER, C.; CLARKE, T.; MCGINN, S. M.; AULDIST, M. J.; BEAUCHEMIN, K. A.; HANNAH, M. C.; WAGHORN, G. C.; CLARK, H.; ECKARD, R. J. Methane emissions from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF₆) tracer and chamber techniques. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 6, p. 2755-2766, Jun. 2007. DOI: HYPERLINK "<https://doi.org/10.3168/jds.2006-697>" \t "_blank" 10.3168/jds.2006-697

HORWITZ, W.; LATIMER JUNIOR, G. W. (Ed.). **Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2006.

KLEIBER, M. **The fire of life, an introduction to animal energetics**. New York: Nobel Offset Printers, 1975. 453 p.

KLEIN, L.; WRIGHT, A. D. G. Construction and operation of open-circuit methane chambers for small ruminants. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 10, p. 1257-1262, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA05340>

LÎ, D. H.; KIM, B. G.; LEE, S. R. A respiration-metabolism chamber system for measuring gas emission and nutrient digestibility in small ruminant animals. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 23, n. 4, p. 444-450, 2010.

LIGHTON, J. R. B. **Measuring metabolic rates: a manual for scientists**. New York: Oxford University Press; 2008. 201 p. DOI: DOI:10.1093/acprof:oso/9780195310610.001.0001

LOFGREEN, G. P.; GARRETT, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 27, n. 3, p. 793-806, May, 1968. DOI: HYPERLINK "<https://doi.org/10.2527/jas1968.273793x>" \t "_blank" 10.2527/jas1968.273793x

MACHADO, F. S.; TOMICH, T. R.; FERREIRA, A. L.; CAVALCANTI, L. F. L.; CAMPOS, M. M.; PAIVA, C. A. V.; RIBAS, M. N.; PEREIRA, L. G. R. Technical note: A facility for respiration measurements in cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4899-4906, Jun. 2016. DOI: HYPERLINK "<https://doi.org/10.3168/jds.2015-10298>" \t "_blank" 10.3168/jds.2015-10298

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. National Research Council. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Goat Nutrition. **Nutrient requirements of small ruminants sheep, goats, cervids, and New World camelids**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2007. 362 p.

RODRÍGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; LACHICA, M. L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, A. L. C. C.; SALIBA, E. O. S. A calorimetry system for metabolismo trials. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 2, p. 495-500, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352007000200033>

VLAMING, J. B.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; BROOKES, I. M.; HOSKIN, S. O.; CLARK, H. Within- and between-animal variance in methane emissions in non-lactating dairy cows. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 1, p.124-127, 2008. DOI: 10.1071/EA07278



Caprinos e Ovinos



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 15.847