

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

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O EFEITO DA TEMPERATURA
NA PRODUÇÃO DE CALOR EM CABRAS DA RAÇA
SAANEN E ANGLO-NUBIANA.**

Ana Rebeca Castro Lima
Zootecnista

2017

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

**INVESTIGAÇÃO SOBRE O EFEITO DA TEMPERATURA
NA PRODUÇÃO DE CALOR EM CABRAS DA RAÇA
SAANEN E ANGLO-NUBIANA.**

Ana Rebeca Castro Lima

**Orientador: Dr. Kléber Tomás de Resende
Coorientador: Dra. Marcia H.M.R Fernandes**

Tese apresentada a Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal,
como parte dos requerimentos para obtenção
do título de Doutor em Zootecnia.

2017

L732i Lima, Ana Rebeca Castro
Investigação sobre o efeito da temperatura na produção de calor
em cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana / Ana Rebeca Castro
Lima. -- Jaboticabal, 2017
xiv, 64 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Kleber Tomás de Resende
Coorientadora: Marcia H.M.R Fernandes
Banca examinadora: Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Edney Pereira
da Silva, Heraldo Cesar Gonçalves, Renato Luís Furlan
Bibliografia

1. Calorimetria. 2. Energia. 3. Homeostasia. 4. Manutenção. 5
Oxidação de nutrientes. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084:636.39

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

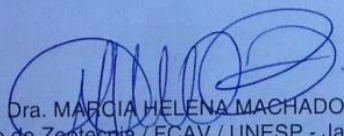
TÍTULO DA TESE: INVESTIGAÇÃO SOBRE O EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE CALOR EM CABRAS DA RAÇA SAANEN E ANGLO-NUBIANA

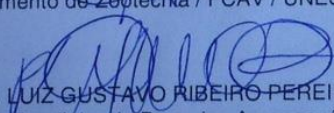
AUTORA: ANA REBECA CASTRO LIMA

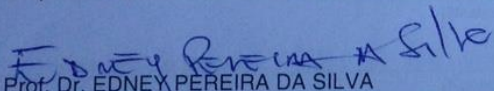
ORIENTADOR: KLEBER TOMAS DE RESENDE

COORDINADORA: MARCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES

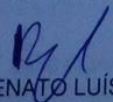
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:


Pesquisadora Dra. MARCIA HELENA MACHADO DA ROCHA FERNANDES
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. LUIZ GUSTAVO RIBEIRO PEREIRA - VIDEOCONFERÊNCIA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Gado de Leite / EMBRAPA / Juiz de Fora/MG


Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. HERALDO CESAR GONCALVES
Departamento de Produção Animal / FMVZ / UNESP - Botucatu/SP


Prof. Dr. RENATO LUÍS FURLAN
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 07 de agosto de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANA REBECA CASTRO LIMA – Filha de Esdras Cabral de Lima Junior e Ana Karla de Albuquerque Castro Lima, nascida em Garanhuns, Pernambuco, em 8 de fevereiro de 1987. Em agosto de 2006, iniciou o Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, e obteve o diploma de bacharel em Zootecnia em agosto de 2011. Em agosto de 2011, ingressou no Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp / FCAV), Jaboticabal - SP, sob a orientação do Prof. Dr. Kleber Tomás de Resende e coorientação da Dra. Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes. Durante seu mestrado, a aluna fez estágio sanduíche no Scotland's Rural College (SRUC), Edimburgo, Escócia, EUR, sob a orientação do Prof. Dr. Tony Waterhouse. Em 2013 finalizou o mestrado e ingressou no doutorado em março de 2014, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - Unesp - Campus Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Kleber Tomás de Resende e coorientação da Dra. Márcia Helena Machado da Rocha Fernandes.

“Se pudéssemos ter consciência do quanto nossa vida é efêmera,
talvez pensássemos duas vezes antes de jogar fora as oportunidades
que temos de ser e de fazer os outros felizes.

Muitas flores são colhidas cedo demais. Algumas, mesmo ainda em botão.
Há sementes que nunca brotam e há aquelas flores que vivem a vida inteira
até que, pétala por pétala, tranquilas, vividas, entregam-se ao vento.

Mas não podemos adivinhar. Não sabemos por quanto tempo estaremos
enfeitando esse Éden e tampouco aquelas flores que foram plantadas ao
nosso redor. E descuidamos. Cuidamos pouco, de nós, dos outros.

Ficamos tristes por coisas pequenas e perdemos um tempo precioso.
Perdemos dias, muitas vezes anos. Ficamos calados quando deveríamos
falar. Falamos demais quando deveríamos ficar em silêncio. Não damos
o abraço que tanto pede a nossa alma porque algo em nós impede
essa aproximação. Não damos um beijo carinhoso por falta de costume
e não dizemos o quanto gostamos de alguém porque achamos
que nosso sentimento está explícito.

E passa a noite e chega o dia, o sol nasce e adormece, e continuamos
os mesmos, fechados em nós. Reclamamos do não temos, ou achamos
que não temos o suficiente. Cobramos dos outros, da vida,
de nós mesmos. E assim nos consumimos...

Costumamos comparar a nossa vida com as daqueles que possuem mais do
que nós. E se experimentássemos comparar com aqueles que possuem menos?

Isso faria uma grande diferença!

E o tempo passa... Passamos pela vida, mas não vivemos... Sobrevivemos,
porque não sabemos fazer outra coisa!

Até que, inesperadamente, acordamos e olhamos para trás. E então nos
perguntamos: e agora?!

Agora, hoje, ainda é tempo de reconstruir alguma coisa, de dar o abraço amigo
de dizer uma palavra carinhosa, de agradecer a Deus pelo que temos.

Nunca se é velho ou jovem demais para amar. Não olhe para trás. O que passou,
passou. O que perdemos, perdemos. Olhe para frente.

Ainda é tempo de apreciar as flores que estão inteiras ao nosso redor.

Ainda é tempo de recomeçar...”

(Autor desconhecido)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida

Aos meus pais por sempre me apoiarem em tudo que faço.

Ao meu esposo Rafael pela amizade e carinho e amor durante essa etapa final.

À Universidade Estadual Paulista, especialmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização desse projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos concedidos ao projeto.

Aos professores Kleber, Izabelle e Marcia pela orientação e amizade nesses anos.

Em especial a Marcia, por tudo que tem feito por mim, além de se tornar uma amiga e uma segunda mãe.

Ao Bruno Biagioli, chefe do laboratório de estudos em caprinocultura, pelas inúmeras conversas e desabafos e conselhos.

Aos companheiros da cabritolândia Marina, Raíza, Leandro, Marcelo, Julian, Anaiane, Paola, Carla, em especial, Raíza, e Marina pela ajuda direta e indiretamente na realização do meu experimento.

Aos ex-membros da cabritolândia.

Aos funcionários e colaboradores do Laboratório de Nutrição Animal: S.Orlando, Joice, Magali e Ana Paula, pelos ensinamentos e colaboração durante a temporada de análises.

Aos meus animais (minhas cabras, minhas filhas), pela paciência que tiveram durante todo o experimento.

Aos funcionários do Setor de Caprinocultura: Juninho e Carlinhos pelo auxílio.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.INTRODUÇÃO	1
2.METABOLISMO DE ENERGIA EM RUMINANTES	2
2.1 <i>Histórico</i>	2
2.2 <i>Utilização da energia.....</i>	3
2.2.1 <i>Formação dos ácidos graxos de cadeia curta.....</i>	3
2.3 <i>Metabolismo energético</i>	5
3.MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO METABOLISMO ENERGETICO	7
3.1 <i>Técnica da calorimetria</i>	7
3.1.2 <i>Calorimetria indireta em sistema de circuito aberto</i>	8
4.EFEITO DA TEMPERATURA NA FISIOLOGIA DO ANIMAL.....	10
5.EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE CALOR E METABOLISMO BASAL.....	14
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CHAPTER 2: Fasting heat production of Saanen and Anglo Nubian goats measured by open-circuit facemask respirometry.....	24
1.INTRODUCTION	25
2.MATERIALS AND METHODS	26
2.1 <i>Description of open-circuit facemask respirometry system</i>	26
2.2 <i>Animals and experimental procedures</i>	28
2.3 <i>Period of adaptation to facial mask</i>	28
2.4 <i>Gas exchange measurement</i>	29
2.5 <i>Statistical Analysis</i>	30
3.RESULTS AND DISCUSSION.....	31
4.ACKNOWLEDGMENTS	36
5.REFERENCES	37
CAPÍTULO 3: Partição de energia e metabolismo basal em cabras Saanen e Anglo-Nubiana mantidas em diferentes temperaturas ambientais.....	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41

2.1 Descrição de um sistema de respirometria de circuito aberto utilizando máscaras faciais.....	41
2.2 Animais e procedimentos experimentais.....	41
2.3 Ensaio de Metabolismo.....	42
2.4 Mensuração das trocas gasosas utilizando a máscara facial	43
2.5 Análises laboratoriais.....	44
2.6 Cálculos	45
2.7 Análise estatística	46
3.RESULTADOS.....	47
4.DISSCUSSÃO	53
5.CONCLUSÃO	58
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
CAPITULO 4. IMPLICAÇÕES.....	64

INVESTIGAÇÃO SOBRE O EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE CALOR EM CABRAS DA RAÇA SAANEN E ANGLO-NUBIANA

RESUMO- Objetivou-se com o presente estudo determinar a influência da temperatura ambiente sobre o metabolismo basal e a partição de energia em cabras Saanen e Anglo-Nubiana. Dois experimentos foram conduzidos utilizando-se seis cabras da raça Saanen e seis cabras da raça Anglo-Nubiana, em manutenção, a partir da técnica da calorimetria indireta de circuito aberto, com máscaras faciais. No experimento 1, após um período de alimentação de 3 dias, os animais foram submetidos a jejum e a medição das trocas gasosas foi realizada durante 30 min a 0, 12, 20, 36, 44, 60 e 68 horas após jejum. A produção de metano foi igual a zero após 31 horas de jejum para cabras Saanen e 40 horas para as Anglo-Nubiana. Os resultados sugerem que o período ideal para medir a produção de calor em jejum (PCJ) deve ser entre 40 horas e 60 horas de jejum para cabras em manutenção. No experimento 2, as cabras foram submetidas a três diferentes temperaturas: 10 °C $\pm$ 0,23; 20 °C $\pm$ 0,41 e 35 °C $\pm$ 1,05. Após um período de alimentação de 4 dias, os animais foram submetidos a jejum por 60 horas e a medição da troca gasosa foi realizada a partir da metodologia da calorimetria indireta utilizando as máscaras faciais durante 30 min em cada animal aleatoriamente. Para ambas as raças, houve uma diminuição linear na ingestão de matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO; $P < 0,10$) a medida que a temperatura aumentou de 10 para 35°C. A digestibilidade aparente da MS, da MO, da proteína bruta e da fibra em detergente neutro apresentaram comportamento quadrático ($P < 0,10$), com menores valores na temperatura de 20°C. Aos 35°C, a digestibilidade da proteína bruta das cabras Anglo-Nubiana foi maior que a das cabras Saanen. A frequência respiratória (FR) e volume respiratório aumentaram em taxas crescentes com o aumento da temperatura ambiente. Aos 35°C, tanto a FR quanto o volume respiratório das cabras Saanen foram maiores que o das cabras Anglo-Nubiana. A metabolizabilidade e a energia metabolizável da dieta das cabras Saanen, aos 35°C, foram menores que as das cabras Anglo-Nubiana. Em ambas as raças, para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um aumento na produção de calor (PC) na ordem de 6,7 kJ/ kg^{0,75} PV, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um aumento na PC na ordem de 7,9 kJ/ kg^{0,75} PV. Por outro lado, para PCJ indicou que para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um decréscimo na PCJ na ordem de 5,4 kJ/ kg^{0,75} PV, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um decréscimo na ordem de 8,7 kJ/ kg^{0,75} PV, em temperatura ambiente entre 10 e 35°C. As cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana são capazes de manter a homeostasia em ambientes entre 10 e 35°C. Por outro lado, o aumento da temperatura ambiental induz a um menor consumo, tendendo a balanços energéticos negativos. Acima de 20°C, as cabras tendem a diminuir a produção de calor em jejum, como uma tentativa de conservação de energia em ambientes quentes

Palavras-chave: calorimetria, energia, homeostasia, manutenção, oxidação de nutrientes

INVESTIGATION ON THE EFFECT OF TEMPERATURE ON HEAT PRODUCTION IN SAANEN AND ANGLO-NUBIAN GOATS

ABSTRACT - The aim of this study was to determine the influence of the ambient temperature on the basal metabolism and the energy partition in Saanen and Anglo-Nubian goats. Two experiments were carried out using six Saanen goats and six Anglo-Nubian goats, in maintenance, using the indirect calorimetry technique with open-circuit facemask respirometry. In experiment 1, after a three-day feed period, the animals were fasted and gas exchange measurements were performed for 30 min at 0, 12, 20, 36, 44, 60 and 68 hours after fasting. Methane production approached zero after 31 hours of fasting for Saanen goats and 40 hours for Anglo-Nubian goats. The results suggest that the period for measuring fasting heat production (FHP) should be between 40 hours and 60 hours of fasting for maintenance goats. In experiment 2, goats were submitted to three different temperatures: $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.23$, $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.41$ and at $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.05$. After a feeding period of four days, goats were fasted for 60 hours and gas exchange measurement was performed for 30 min in each animal randomly. For both breeds, dry matter (DM) and organic matter intake (MO; $P < 0.10$) decrease linearly as the temperature increased from 10 to 35°C . The apparent digestibility of DM, OM, crude protein and neutral detergent fiber presented quadratic behavior ($P < 0.10$), with the lowest values at 20°C . At 35°C , the crude protein digestibility of Anglo-Nubian goats was higher than that of Saanen goats. Respiratory rate (RR) and respiratory volume increased with increasing ambient temperature. At 35°C , both RR and respiratory volume of Saanen goats were higher than that of Anglo-Nubian goats. The diet metabolizability and metabolizable energy of Saanen goats, at 35°C , were lower than those of the Anglo-Nubian goats. In both breeds, for each 1°C of variation below 20°C there was an increase in HP of $6.7\text{ kJ/kg}^{0.75}\text{ BW}$, whereas for each 1°C of variation above 20°C there was an increase in HP of $7.9\text{ kJ/kg}^{0.75}\text{ BW}$. On the other hand, FHP indicated that for each 1°C of variation below 20°C there was a decrease in FHP of $5.4\text{ kJ/kg}^{0.75}\text{ BW}$, while for each 1°C of variation above 20°C there was a decrease of $8.7\text{ kJ/kg}^{0.75}\text{ BW}$, between 10 and $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Saanen and Anglo-Nubian goats are able to maintain homeostasis in environments between 10 and 35°C . On the other hand, the increase in ambient temperature leads to lower consumption, tending to negative energy balances. Above 20°C , goats tend to decrease fasting heat production, as an attempt to conserve energy in hot environments.

Keywords: calorimetry, fast heat production, heat production, nutrient oxidation

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1. Constantes para proteína, carboidrato e gordura quando oxidado pelo corpo do animal.....	9
--	---

Capítulo 2

Table 1. Ventilatory measurements and rectal temperature of Saanen goats using an open-circuit facemask respirometry system.....	36
Table 2. Ventilatory measurements and rectal temperature of Anglo-Nubian goats using an open-circuit facemask respirometry system.....	37

Capítulo 3

Tabela 1. Ingredientes e composição química da ração (base na MS)	43
Tabela 2. Esquema referente as medidas com a máscara facial.....	44
Tabela 3. Consumo e digestibilidade aparente de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas.....	49
Tabela 4. Parâmetros fisiológicos de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas, durante o período de alimentação.....	50
Tabela 5. Balanço de energia de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas.....	53
Tabela 6. Oxidação diária ($\text{kJ/kg}^{0,75}$ PC) de proteína (OX _P), carboidrato (OX _{CHO}) e gordura (OX _G) e suas contribuições na produção de calor pela oxidação dos substratos (PC _x) e coeficiente respiratório (QR _{npx}) de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três diferentes temperaturas.....	53

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Esquemas da técnica de calorimetria.....10

Figura 2. Efeito da temperatura na termorregulação dos animais homeotérmicos...16

Capítulo 2

Figure 1. Schematic representation of the facemask respirometry system.....28

Figure 2. Heat production, respiratory exchange rate and decay of methane production in Saanen and Anglo Nubian goats after fasting.....35

Capítulo 3

Figura 1. Efeito da temperatura na ingestão de matéria seca (IMS) e matéria orgânica (IMO) 49

Figura 2. Efeito da temperatura ambiente sobre a produção de calor (PC) em cabras. Linhas demonstram os valores previstos pelo modelo broken-line (linear, linear) 51

Figura 3. Efeito da temperatura ambiente sobre a produção de calor em jejum (PCJ) em cabras.....52

LISTA DE ABREVIATURAS

Capítulo 1

ADP	Adenosina difosfato
AGCCs	Ácidos graxos de cadeia curta
ATP	Adenosina trifosfato
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido DE carbono
CoA	Coenzima A
EB	Energia bruta
ED	Energia digestível
EL	Energia Líquida
EM	Energia metabolizável
ER	Energia retida
FC	Frequência cardíaca
FD	Ferredoxina
FDH ₂	Ferredoxina reduzida
FR	Frequência respiratória
IC	Incremento calórico
N	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
PC	Produção de calor
TA	Temperatura do ar
TR	Temperatura retal
TS	Temperatura da superfície da pele

Capítulo 2

BPM	Breaths per minute
BW	Body weight
CH ₄	Methane
CO ₂	Carbon dioxide
DM	Dry matter
FHP	Fasting heat production
HP	Heat production
ME	Metabolizable energy
MEI	Metabolizable energy intake
Nur	Urinary nitrogen
O ₂	Oxygen
RER	Respiratory exchange rate
Tair	Air temperature
Texpair	Exhaled air temperature
TR	Rectal temperature
VE	Ventilation
VT	Tidal volume

Capítulo 3

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono

DFDN	Digestibilidade da fibra em detergente neutro
DMO	Digestibilidade da matéria orgânica
DMS	Digestibilidade da matéria seca
DPB	Digestibilidade da proteína bruta
EB	Energia bruta
EBI	Energia bruta ingerida
ECH ₄	Energia do metano
ED	Energia digestível
EE	Extrato etéreo
EFE	Energia das fezes
EM	Energia metabolizável
EM/ED	Relação energia metabolizável/energia digestível
EUR	Energia da urina
EVAP	Evapotranspiração
FDN	Fibra em detergente neutro
FR	Frequência respiratória
IEM	Ingestão de energia metabolizável
IMO	Ingestão de matéria orgânica
IMS	Ingestão de matéria seca
MM	Matéria mineral
MS	Matéria seca
Nur	Nitrogênio urinário
O ₂	Oxigênio
OXCHO	Oxidação do carboidrato
OXG	Oxidação da gordura
OXp	Oxidação da proteína
PB	Proteína bruta
PC	Produção de calor
PCJ	Produção de calor em jejum
PV	Peso vivo
q	Metabolizabilidade
STPD	Condições normais de temperatura e pressão
VCH ₄	Volume de metano
VCO ₂	Volume de dióxido de carbono
VE	Ventilação
VO ₂	Volume de oxigênio

ESTRUTURA DA TESE

O capítulo 1 se trata de uma revisão de literatura sobre metabolismo energético, efeito do estresse térmico na fisiologia do animal e efeito do estresse térmico no metabolismo basal nos animais, seguindo os pré-requisitos estabelecidos pelo programa de pós-graduação em zootecnia da Unesp/Jaboticabal.

O capítulo 2 descreve o estudo realizado com o objetivo de determinar o período adequado de jejum requerido para mensurar o metabolismo basal em cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana, utilizando como metodologia técnica da calorimetria indireta de circuito aberto, com máscaras faciais. Este capítulo está publicado na revista *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*.

O capítulo 3 descreve o estudo realizado avaliando o efeito da temperatura sobre o metabolismo energético e metabolismo basal de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana.

CAPÍTULO 1- CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

Elevadas temperaturas, alta umidade do ar e radiação provocam alterações comportamentais e fisiológicas, como aumento da temperatura da pele e retal, taxa respiratória, além da diminuição da ingestão de alimentos e, conseqüente redução do nível de produção (LU, 1989).

Baccari et al. (1996a), trabalhando com cabras da raça Saanen submetidas à temperatura de 32,5°C, em câmara bioclimática, observaram uma redução no consumo de matéria seca e aumento no consumo diário de água. Outros autores como Eriksson et al. (1994); e Olsson et al. (1995) também relataram que fatores como diminuição da ingestão de alimento, perda de eletrólitos e água durante o estresse térmico podem influenciar a osmolaridade e volume sanguíneo de ruminantes, acarretando em perdas na produtividade. De acordo com Baêta & Souza (1997), animais que se encontram na zona de conforto térmico são mais eficientes na utilização dos alimentos, sendo que para caprinos essa zona de conforto situar-se-ia entre 20 e 30°C, considerando o mínimo de gasto de energia para homeotermia.

É imprescindível o conhecimento da interação entre os animais e o ambiente, além do conhecimento da capacidade de adaptação das espécies e raças exploradas para a tomada de decisões quanto aos sistemas de criação e estratégias de manejo a serem utilizadas para maximizar as respostas produtivas e de bem-estar (NÓBREGA et al. 2011).

Para compreensão das respostas termodinâmicas dos animais homeotérmicos, é necessário que se entenda os processos biológicos por meio da mensuração do seu metabolismo energético. Para esses animais conseguirem controlar a temperatura corporal, precisam se adaptar a condições térmico-ambientais e a variações causadas pelo clima, assim os estudos como a calorimetria são importantes.

A calorimetria é definida como a ciência da medição da transferência de calor entre corpos em um determinado ambiente. Por meio da calorimetria indireta, a

produção de calor no animal é mensurada pelas trocas gasosas, considerando o consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono que é o resultado do metabolismo de alimentos ou do catabolismo e/ou anabolismo do tecido do corpo. A partir das relações estequiométricas sabe-se a quantidade de energia transformada em calor através de alterações químicas.

O consumo de energia é o principal limitante na produção animal, afetando a adaptação ao ambiente, o comportamento animal e as estratégias de alimentação (Lachica e Aguilera, 2003), sendo que a exigência de energia é influenciada por fatores como genótipo, idade, estado fisiológico, estação do ano, nível de alimentação, manejo alimentar, atividade física e aclimatação (BALL CORBETT, 2002). Em função de poucos trabalhos com caprinos, os ajustes na exigência líquida de energia para manutenção em função de condições diversas de temperatura são derivadas de outras espécies de ruminantes, como bovinos e ovinos. No entanto, estas extrapolações podem não ser eficazes, uma vez que é sabido que a cabra desenvolveu adaptações fisiológicas particulares em ajustar sua temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), temperatura superficial da pele (TS) e frequência cardíaca (FC), em comparação com outros ruminantes (TODINI, 2007).

Objetivou-se com o presente estudo determinar a influência da temperatura ambiente sobre o metabolismo basal e a partição de energia em cabras Saanen e Anglo-Nubiana.

2. METABOLISMO DE ENERGIA EM RUMINANTES

2.1 Histórico

Cientistas como Leonardo da Vinci, Joseph Priestly, e Antonie- Laurent Lavoisier postularam teorias onde afirmam-se que a vida é um processo de combustão. A partir daí vários outros estudos foram desenvolvidos obtendo assim novas técnicas e aplicações relacionadas com esse assunto. No século XVII, Antonie Lavoisier foi o primeiro cientista a calcular o balanço de energia, realizando mensurações a partir da respiração.

Porem a habilidade para calcular toda a perda de energia pelos ruminantes só foi possível após o conhecimento e compreensão dos fatores que podem influenciar a perda de calor corporal e incremento calórico (IC) e da descoberta da presença do metano nos gases da respiração. Já no século XIX um cientista chamado Berthelot desenvolveu a bomba calorimétrica, a qual possibilitou determinar de forma precisa a quantidade de energia de diferentes amostras.

Em 1965 depois de muitos estudos relacionados a trocas gasosas Brouwer, a partir da utilização das técnicas de calorimetria indireta, desenvolveu uma equação que vem sendo utilizada para cálculo da produção de calor em função do consumo de oxigênio, produção de dióxido de carbono, metano e nitrogênio urinário (RESENDE, TEIXEIRA e FERNANDES, 2006).

2.2 Utilização da energia

A maioria dos carboidratos encontrados na dieta dos ruminantes ou provenientes de sua degradação no rúmen pode ser transformada em glicose, a qual, por sua vez, é convertida em ácido pirúvico (piruvato). O piruvato é o principal produto intermediário da conversão dos carboidratos totais em ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), CO_2 e metano (CH_4). Os AGCCs constituem as principais fontes de energia para os ruminantes e podem ser provenientes da fermentação dos carboidratos ou entrar no rúmen como um componente do alimento.

A concentração total de AGCCs assim como suas proporções no ambiente ruminal dependem tanto da composição da dieta quanto do tipo de microrganismo presente no rúmen. Com isso o conhecimento das trocas energéticas envolvidas na sua formação possibilita o entendimento da contribuição energética de um dado alimento para os ruminantes (RESENDE, TEIXEIRA e FERNANDES, 2006).

2.2.1 Formação dos ácidos graxos de cadeia curta

O ácido acético constitui a maior parte do total de AGCCs produzidos no rúmen, independentemente da dieta fornecida para o animal. A produção de acetato é, em sua maior parte, obtida por meio de reações fosforoclasticas. A conversão do piruvato a acetato pode ser realizada por mecanismos distintos nas bactérias. O acetato é mais comumente sintetizado a partir da rota metabólica que envolve o

composto intermediário formato, em que o piruvato liga-se a à coenzima A (CoA), resultando na formação do acetil-CoA e formato, como produtos intermediários. O acetil-CoA é então convertido a acetato, e a maioria do formato é convertida em gás carbônico e hidrogênio e, posteriormente, em metano. A segunda via baseia-se na descarboxilação oxidativa do ácido pirúvico, em que o piruvato mais a CoA, mais a ferredoxina (FD) resultam na formação do acetil-CoA, gás carbônico (CO₂) e da ferredoxina reduzida (FDH₂). A oxidação completa de uma molécula de glicose a acetato resulta na formação de duas moléculas de acetato e quatro de ATP (RESENDE, TEIXEIRA e FERNANDES, 2006).

A produção de propionato é a principal via de eliminação de H⁺ e elétrons do rúmen, sendo feita por dois mecanismos principais. O primeiro deles envolve a formação do oxalacetato e succinato. O oxalacetato é convertido a succinato e este reage com a coenzima-A, formando o succinil-CoA, o qual é descarboxilado para a formação do propionato. Essa via é responsável por 90% do propionato produzido, exceto em dietas com alto conteúdo de amido. O segundo envolve a formação do acrilato, no qual o piruvato é transformado em lactato, o qual é convertido a acrilato e depois reduzido a propionato. A principal enzima envolvida na formação do propionato é a transcarboxilase-metil-malonil-CoA, a qual transfere grupo carboxílico de metilmalonil-CoA para oxaloacetato, formando o propionil-CoA. Pela rota do succinato há a formação de uma molécula de ATP, entretanto a formação do propionato pela rota do acrilato não envolve síntese de ATP (RESENDE, TEIXEIRA e FERNANDES, 2006).

A síntese de butirato ocorre a partir de acetato ou a partir de compostos que dão origem ao acetil-CoA como o piruvato. Sua produção ocorre principalmente por dois mecanismos, e o mais importante deles envolve a formação do acetoacetil-CoA a partir do acetil-CoA, sendo o inverso da α -oxidação. Entretanto, em virtude da síntese de ácidos graxos de cadeia longa e ramificada por bactérias ruminais, a síntese de butirato pode ser feita por meio da formação do malonil-CoA. A formação de butirato a partir do acetato pode ter a finalidade de oxidar cofatores reduzidos, permitindo a continuidade do processo de fermentação na célula.

Se as quantidades de ácidos acético, propionico e butirico são conhecidas, as quantidades teóricas de CO₂ e CH₄ esperadas na fermentação ruminal podem ser

calculadas. A produção de acetato levará às maiores produções relativas de CH_4 , uma vez que haverá a formação de 4 H_2 durante a fermentação de 1 mol de hexose comparados aos 2 H_2 para butirato e 1 H_2 para propionato. Altas produções relativas de propionato estão associadas com baixa produção de CH_4 , enquanto altas produções de acetato e butirato são acompanhadas por um aumento na produção de metano (RESENDE, TEIXEIRA e FERNANDES, 2006).

2.3 Metabolismo energético

O conhecimento da bioenergética é extremamente importante, uma vez que retrata a energia e suas transformações ligadas aos processos biológicos, utilizando-se das leis da termodinâmica aplicada aos seres vivos.

Os seres vivos são sistemas termodinâmicos que necessitam de energia para manter sua organização e estão em constante troca com o meio ambiente (WELCH et al., 1991, BENZINGER et al., 1983). A energia para suportar os processos vitais é obtida pela oxidação dos nutrientes contidos nos alimentos ingeridos (MUELLER et al., 1975). No entanto, os animais estão sempre em um estado dinâmico resultando em mudanças na sua energia interna e, assim, na temperatura do corpo. Ao assumir que a energia será transferida do sistema animal para o ambiente, a mudança na energia interna do sistema de animais ao longo do tempo é relacionada a alterações na temperatura do corpo do animal.

A energia bruta (EB) é a energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono e água. Os nutrientes de um alimento têm diferentes capacidades de produção de energia quando completamente oxidados. Nem todos os constituintes do alimento serão utilizados pelo animal, e a primeira evidência disso é a produção de fezes. A energia perdida na forma de fezes pode ser subtraída da energia bruta ingerida, originando a energia digestível (ED). Parte da energia aparentemente absorvida pelo animal é perdida na forma de gases provenientes da fermentação dos alimentos pelos microrganismos ruminais. A composição dos gases no rúmen dos animais é dependente da ecologia ruminal e do balanço da fermentação.

A maior parte da energia perdida pelos gases é na forma de metano, e essa perda representa cerca de 8% da energia do alimento, quando a ingestão está no nível de manutenção, e cai para cerca de 6% com o aumento do nível de ingestão

(JOHNSON et al. 1994). Uma parte da energia absorvida é perdida na urina, a qual inclui a energia dos compostos absorvidos e não utilizados, os produtos finais dos processos metabólicos e os produtos finais de origem endógena. Quando essas perdas de energia são subtraídas da energia aparentemente digestível, o balanço é chamado de energia metabolizável (EM), que é a energia efetivamente disponível para o metabolismo do animal. Cerca de 82% da energia digestível é metabolizável. Uma parte da EM é perdida na forma de calor, resultando na energia líquida (EL), que representa a parte do alimento que é retido na forma de produto (carne, leite, lã, pele, etc).

Assim, a magnitude da perda de calor do animal para o ambiente dependerá não só do meio ambiente, mas também do nível de consumo e da eficiência de retenção do alimento para produção, reprodução e crescimento, que é calculada de acordo com o consumo de energia metabolizável (EM) menos a produção de calor metabólico (PC): $ER = EM - PC$

A produção de calor (PC) do metabolismo ou metabólica é a parte química do sistema, que é influenciada pela atividade muscular, alimentação, e outras atividades químicas do animal. A PC metabólico mínimo do animal é denominado de metabolismo basal, e isso ocorre quando o animal está em jejum e em um ambiente termoneutro. O animal na condição de jejum irá utilizar os seus recursos do corpo para a obtenção de energia.

Quando não há alteração na temperatura corporal interna, a produção de calor metabólico ou perda de calor é calculada pelo calor gerado para as necessidades basais e atividades mais o incremento calórico.

A energia química potencial contida nas ligações C-H dos carboidratos, lipídios e proteínas é liberada por oxidação desses substratos dentro das células, numa série de passos bioquímicos que ocorrem no citosol e nas mitocôndrias, conhecidos como metabolismo intermediário (MUELLER et al., 1975). Esse processo consome oxigênio e produz água, gás carbônico, energia química armazenada nas ligações fosfato do trifosfato de adenosina (ATP) e calor que é dissipado para o meio ambiente.

Aproximadamente 65% da energia liberada na oxidação do substrato é transformada em energia química armazenada no ATP e 35% da energia é liberada

sob a forma de calor. O ATP é uma forma de armazenamento de energia intracelular prontamente disponível para realizar trabalho químico ou mecânico, por meio da sua hidrólise em difosfato de adenosina (ADP) com liberação da energia armazenada (MC COY et al., 1975, CAHILL JR. et al., 1977).

O dispêndio energético diário compreende o dispêndio basal, o dispêndio da atividade física e o efeito térmico dos alimentos (HOSSAY et al., 1969). O dispêndio basal representa 60% a 75% do custo energético diário e inclui a energia gasta com a bomba de sódio-potássio e outros sistemas que mantêm o gradiente eletroquímico das membranas celulares, a energia empregada na síntese dos componentes do organismo, a energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovascular e respiratório e a energia despendida pelos mecanismos termorregulatórios para manter a temperatura corporal (ELWYN et al., 1970, DEWLIN et al., 1991).

A energia despendida na digestão, transporte, transformação e armazenamento dos substratos energéticos inclui um componente de termogênese obrigatória e um componente de termogênese facultativa ou regulatória. Para uma dieta habitual, o efeito térmico teórico é de 5-7% do seu conteúdo energético (SIMONSON et al., 1990, MOLINA et al., 1995). Já a energia empregada para realizar trabalho mecânico externo representa 15% a 30% do dispêndio energético diário e varia com o nível de atividade física do indivíduo (ASTRAND et al., 1970, JONES et al., 1988).

3. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO METABOLISMO ENERGETICO

3.1 Técnica da calorimetria

O princípio básico da técnica da calorimetria é a mensuração da produção de calor do organismo, a qual pode ser realizada de maneira direta, onde consiste em mensurar o calor propriamente produzido por um organismo, por meio da alteração de temperatura que este provoca no meio ou, de maneira indireta, por meio da quantificação de produtos do metabolismo animal, como por exemplo as trocas gasosas realizadas com o meio, pela calorimetria indireta (AGNEW e YAN, 2005).

As formas alternativas de mensurar a produção de calor de um organismo são possíveis devido às leis que regem a termodinâmica onde se afirma que: “a energia

não pode ser criada nem destruída, apenas transformada; e a quantidade de energia liberada ou absorvida em um sistema não depende dos caminhos transcorridos durante sua transformação, mas apenas da energia contida nos reagentes e nos produtos finais” (LAVOISIER, 1780).

No caso da calorimetria indireta, toda a energia produzida pelo organismo animal, na forma de calor, pode ser determinada por meio de mensurações das trocas gasosas (consumo de oxigênio e produção de gás carbônico e metano) combinado com a excreção de nitrogênio urinário. Entretanto, determinações quantitativas das trocas gasosas realizadas pelo animal são necessárias, o que requer o uso de equipamentos especializados (KLEIBER, 1975). Basicamente, a calorimetria indireta pode ser realizada de duas diferentes formas: em sistema de circuito fechado ou circuito aberto.

3.1.2 Calorimetria indireta em sistema de circuito aberto

Nessa metodologia a produção de calor é calculada a partir das trocas gasosas utilizando-se fórmulas baseadas em estequiometria. Além disso, as taxas de trocas gasosas e excreção de N urinário podem ser utilizadas para quantificar as taxas de oxidação da proteína, carboidrato e gordura.

Em 1920, as medições de trocas gasosas pulmonares foram usadas para medir a contribuição de carboidratos e gordura na produção de calor em repouso e durante o exercício (Krogh et al. 1920), uma vez que os macronutrientes diferem na sua composição química e nas quantidades de O₂ necessário e CO₂ produzida quando oxidado (tabela 1).

Tabela 1. Constantes para proteína, carboidrato e gordura quando oxidado pelo corpo do animal

Substrato oxidado (1g)	O₂ consumido (L)	CO₂ produzido (L)	Calor produzido (kJ)	Quociente respiratório
Carboidrato	0,829	0,829	17,57	1,00
Gordura	2,013	1,431	39,75	0,71
Proteína	0,957	0,774	18,41	0,81

Fonte: Chaui-Berlinck & Bicudo (2006).

O quociente respiratório reflete o metabolismo da oxidação de carboidratos, gorduras e proteínas. A quantidade de proteína, ou mais especificamente aminoácidos oxidados podem ser estimados a partir da quantidade de N excretado na urina ($N \times 6,25$).

Nesse sistema de mensuração, o animal é alojado em uma câmara com sistema de vedação que não permite qualquer troca gasosa entre o ar no interior desta e o ar externo, a não ser pelo próprio sistema de circulação de ar. Uma tubulação de ar é então acoplada a uma bomba, a qual realiza a renovação do ar no interior desta, em fluxo constante, durante todo o período de mensuração, sendo possível a regulação deste fluxo por meio de um fluxômetro de massa, o qual corrige o fluxo de ar em função da temperatura, pressão e umidade.

Segundo Lachica (1995), o sistema de controle do fluxo utilizado nesta metodologia representa umas das maiores limitações deste método, pois a acurácia desta mensuração é indispensável para o bom funcionamento do sistema onde há renovação constante do ar no interior da câmara, sendo necessário, dessa forma um sistema de análise periódica do ar e armazenagem dos resultados. Ressalta-se que durante cada período de mensuração um equipamento automatizado canaliza uma alíquota de ar para os analisadores de O_2 , CO_2 e CH_4 . A cada minuto é realizada a leitura de alíquotas de ar de origens diferentes, por exemplo: ar que sai da câmara e ar atmosférico que entra na câmara. Sendo assim, com o uso de um software, que realiza a interpretação e armazenamento dos resultados, é possível determinar a concentração média dos gases analisados.

A diferença entre concentrações dos gases (CO_2 , O_2 e CH_4) de entrada e saída multiplicada pelo volume de ar que passou pela câmara durante o tempo de mensuração, permite calcular quanto de O_2 foi consumido e quanto de CO_2 e metano foram produzidos. Uma correção para estes valores é necessária, pois o ar presente no interior da câmara no início e no final de cada período de mensuração apresentará concentrações diferentes dos gases em questão. Logo, a concentração inicial destes, multiplicada pelo volume interno da câmara, permite quantificar quanto de cada gás estava presente no seu interior no início das mensurações. De forma semelhante, o seu volume multiplicado pelas respectivas concentrações dos gases no final do período quantifica a quantidade dos mesmos neste momento, sendo que

por diferença, tem-se o valor residual de cada gás que deverá ser somado a cada um dos valores obtidos anteriormente (RODRIGUEZ et al., 2007).

O interesse pela mensuração do metabolismo energético com o uso da metodologia de calorimetria indireta por circuito aberto vem crescendo muito nos últimos tempos (MOSS et al., 2000). Além das câmaras, as máscaras faciais ou capuzes têm sido frequentemente empregadas em ruminantes (BROSH, 2007). Tais metodologias trazem respostas mais rápidas em períodos curtos, e podem ser realizadas em um laboratório de calorimetria, sendo uma opção de um sistema de calorimetria de circuito aberto móvel que pode ser utilizado para monitorar animais em seu ambiente natural (MAIA et al. 2014).

Estudos realizados por Maia et al. (2014), Fernandes et al. (2016) e Fernandez et al., (2012a), mostraram que os animais tiveram uma boa adaptação às máscaras e não houve interferência durante as medições, considerando o método acurado. (Figura 1)

Figura 1: Esquemas da técnica de calorimetria.

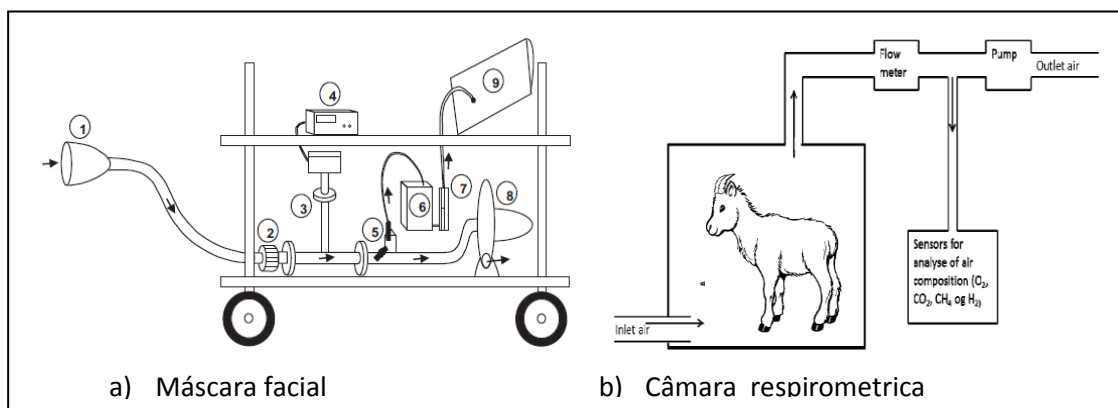


Figura 1: a) sistema de circuito aberto: (1) máscara; (2) filtro de ar; (3) medidor de fluxo de massa; (4) totalizador; (5) válvulas manuais; (6) bomba de membrana; (7) rotâmetro; (8) ventilador centrífugo; (9) bolsa para recolher de ar (adaptado de FERNANDEZ et al.; 2012), b) sistema de circuito fechado.

4. EFEITO DA TEMPERATURA NA FISIOLOGIA DO ANIMAL

A interação dos animais com o ambiente térmico externo ocorre por meio de processos físicos de trocas térmicas, com destaque para a condução, convecção, radiação e evaporação. Os três primeiros componentes são não-evaporativos e estão associados às trocas térmicas secas, enquanto o último é evaporativo e baseia-se em trocas térmicas úmidas (NÃÃS, 1998).

O ambiente e o animal constituem um sistema equilibrado. Diante de estímulos que provoquem desequilíbrio nesse sistema, o organismo recorrerá aos métodos de *feedback* negativo ativados pela interação neuroendócrina a fim de evitar os transtornos causados por um possível desajuste na homeostasia do organismo animal.

De acordo com os tipos de mecanismos utilizados para manter a temperatura corpórea constante, os animais podem ser classificados em homeotérmicos e pecilotérmicos. Os primeiros mantêm sua temperatura constante apesar das variações de temperatura do meio enquanto que estes últimos têm sua temperatura alterada conforme variações do meio em que vivem.

Ainda em termos de classificação, os animais também podem ser endotérmicos ou exotérmicos, dependendo da fonte de calor utilizada para manutenção da homeostase; aqueles que utilizam calor interno, proveniente do metabolismo basal para esta finalidade são ditos endotérmicos e os que se utilizam de fatores externos, como calor do sol, por exemplo, são denominados exotérmicos.

Os animais homeotérmicos devem manter a temperatura corporal dentro de limites estreitos ao longo das 24 horas do dia. Para tanto, deve haver um equilíbrio entre a termogênese (produção de calor) e a termólise (perda de calor) durante esse período. Esses processos são regulados por meio da modulação da termogênese e da intensificação de diferentes mecanismos de termólise (BARBOSA et al., 2004).

O estresse representa o somatório de reações do organismo a agentes estressores de ordem psicológica, física, química, infecciosa e outras, que sejam capazes de alterar o equilíbrio fisiológico do animal, podendo ser determinado através da avaliação dos parâmetros fisiológicos, como frequência respiratória e temperatura corporal (BACCARI JÚNIOR, 1987). Hahn (1987) define o estresse devido ao calor como “a resposta do animal a todas as associações das condições ambientais, causadas por uma temperatura efetiva do meio que seja mais elevada que a zona termoneutra para os animais homeotérmicos”.

Em temperaturas mais amenas, os animais dissipam calor sensível para o ambiente através da pele, por radiação, por condução e por convecção. Se o animal não conseguir dissipar o calor excedente pelos mecanismos citados, a temperatura retal aumenta acima dos valores fisiológicos normais e desenvolve-se a hipertermia,

responsável em parte pela baixa produtividade animal nos trópicos. A temperatura retal, a frequência respiratória e o nível de sudação cumprem um importante papel na termorregulação dos animais homeotérmicos (NÓBREGA et al. 2011).

Os parâmetros fisiológicos de temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), temperatura superficial da pele (TS) e frequência cardíaca (FC) sofrem influência da fase do dia, uma vez que à tarde a temperatura do ar (TA) é geralmente bem mais elevada que durante a manhã, promovendo uma elevação dessas variáveis fisiológicas (SILVA et al., 2006; MEDEIROS et al., 2008; SOUZA et al., 2008; SILVA, et al., 2010). Segundo Medeiros et al. (2007), nos animais que são normalmente ativos durante o dia, há uma variação da temperatura retal que é mínima pela manhã e máxima na fase da tarde, e tal fato faz com que a temperatura do ar à tarde venha a ser a origem da temperatura retal elevada dos animais nos trópicos, principalmente na estação seca.

De acordo com Reece (1996), a temperatura retal normal em caprinos oscila de 38,5 a 39,7°C, enquanto, segundo Medeiros et al. (2007), a temperatura corporal média em caprinos dita normal é de 39°C, observada comumente em zona de termoneutralidade.

A frequência respiratória para caprinos é considerada normal quando apresenta valor médio de 15 mov/min, podendo esses valores, variarem entre 12 e 25 mov/min (REECE, 1996).

Quando ocorre uma elevação acentuada na temperatura do ar, os mecanismos termorreguladores são acionados, aumentando a perda de calor na forma latente por meio da sudorese e respiração (SILVA et al., 2010).

Os animais homeotérmicos utilizam o aumento da frequência respiratória como uma forma de manter a temperatura corporal dentro do patamar fisiológico, por meio da evapotranspiração (MARTINS JÚNIOR et al., 2007). A frequência respiratória elevada pode ser uma maneira eficiente de perder calor por curtos períodos, mas caso seja mantida por várias horas, poderá resultar em sérios problemas para os animais. A respiração acelerada e contínua pode interferir na ingestão de alimentos e na ruminação, assim como, adicionar calor endógeno a partir da atividade muscular e desviar a energia, que poderia estar sendo utilizada em outros processos metabólicos e produtivos (SOUZA et al., 2005).

A frequência cardíaca é influenciada pela espécie, raça, idade, trabalho muscular, temperatura do ar, e tamanho corpóreo (KOLB, 1987). Medeiros et al. (2007), analisando o efeito da idade e da cor do pelame sobre as características fisiológicas de caprinos sem padrão racial definido, à sombra, verificaram efeito da fase do dia nos batimentos cardíacos, sendo mais elevado no período da tarde.

Para Al-tamimi (2007), o aumento da frequência cardíaca pode ser atribuído a duas causas potenciais. Primeiro, devido ao aumento da atividade muscular para controlar o aumento simultâneo da frequência respiratória; segundo, porque ocorre uma redução na resistência vascular periférica que promove uma maior perfusão sanguínea para dissipar calor através da pele.

A avaliação potencial do ambiente para causar estresse nos animais pode ser feita por meio de parâmetros ambientais, como a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento (NÃAS, 1998).

A ação conjunta desses elementos ao longo do tempo pode levar o animal a apresentar estresse crônico, implicando em resultados negativos na produção de leite e carne, na reprodução, bem como no crescimento do animal (BACCARI JÚNIOR, 1987). Assim, as limitações à produção em áreas tropicais podem ser ocasionadas por elementos ambientais potencialmente estressantes (BARBOSA e SILVA, 1995).

Braz (2005) explanou acerca da fisiologia da termorregulação normal. A manutenção da normotermia nos animais homeotérmicos é uma função muito importante do sistema nervoso autônomo visto que pequenas alterações da temperatura central podem levar a alterações metabólicas e enzimáticas. A termorregulação é realizada por um sistema de controle fisiológico, que consiste em termorreceptores centrais e periféricos, um sistema de condução aferente, o controle central de integração dos impulsos térmicos e um sistema de respostas eferentes levando a respostas compensatórias.

As mudanças fisiológicas que um animal apresenta durante um estresse térmico, inclui a diminuição do consumo de matéria seca bem como sua utilização, e distúrbios no metabolismo da água, proteína, energia e balanço mineral, reações enzimáticas, secreção de hormônios e metabólitos do sangue (Habeeb et al., 1992; Marai et al., 2000, 2001, 2003, 2004, 2006b), em consequência disso o animal

aumenta os esforços para dissipar o calor corporal, resultando em um aumento da frequência respiratória, temperatura corporal e o consumo de água (MARAI et al., 2001).

Alguns estudos realizados mostram que a ingestão de matéria seca diminuiu significativamente após a exposição dos animais ao estresse térmico em raças ovinas como Croix, Karakul, Rambouillet (Monty et al., 1991), e ovelhas Comisana (NARDON et al., 1991). O consumo de concentrado também foi afetado, e foi observada uma diminuição no consumo de aproximadamente 13%, quando os animais se encontravam a 35 °C (NARDON et al., 1991).

Em ovinos da raça Suffolk, o consumo diário e a conversão alimentar também diminuíram significativamente quando esses animais foram submetidos a uma temperatura mais elevada (30,5°C), comparativamente a um grupo sob uma temperatura mais amena (19,3 °C) (PÁDUA et al., 1997).

Quando os animais são submetidos a um estresse ambiental agudo, a energia para a produção vai ser desviada para atender ao aumento da demanda de energia para a manutenção. A ativação do sistema nervoso autônomo de um animal sob estresse está associada a reduções no consumo de ração e perdas de produtividade, redistribuição do débito cardíaco, aumento da perda de calor por evaporação, e ativação da resposta ao estresse a nível celular (SILANIKOVE, 2000).

A climatização é regulada pelo sistema endócrino e requer um tempo de resposta maior do que a resposta de fase aguda a um desafio ambiental. Assim, as duas vias (sistema simpático autonômico e sistema endócrino) representam os caminhos para ambas as respostas agudas e crônicas para a mudança ambiental.

5. EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE CALOR E METABOLISMO BASAL

O efeito da temperatura tem sido muito estudado, por ser de fácil controle em laboratórios, quando se faz o uso, por exemplo, das câmaras respirométricas onde há um controle da temperatura. De acordo com Church, (1988), em um intervalo de temperatura, chamado de ambiente termoneutro, não há alteração dos gastos de energia para manutenção, abaixo da temperatura crítica inferior, entretanto, o animal tende a aumentar a produção metabólica de calor para manter a temperatura

corporal constante. Por outro lado, acima da temperatura crítica superior, o animal tende a dissipar mais calor para que sua temperatura corporal não se eleve muito.

A homeotermia nos animais é mantida quando a quantidade de calor produzida no metabolismo mais o calor absorvido do ambiente são iguais ao fluxo de calor dissipado do animal para o ambiente. A hipertermia ocorre quando o calor produzido e recebido supera o fluxo de calor para o ambiente. O fluxo de calor ocorre através de processos que dependem da temperatura ambiental (condução, convecção e radiação) e da umidade (evaporação via transpiração e respiração) (REECE, 1996). Cada espécie animal possui uma faixa de temperatura de conforto, a zona termoneutra, definida como a faixa de temperatura em que a produção é ótima e o gasto de energia para termorregulação é mínimo (Figura 2).

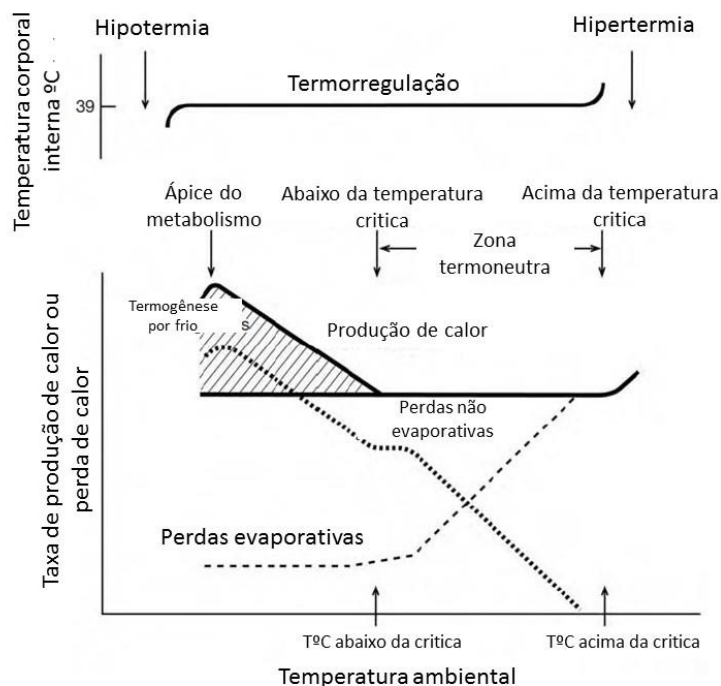


Figura 2. Efeito da temperatura na termorregulação dos animais homeotérmicos (Fonte: CSIRO, 2007).

O entendimento dos fatores que influenciam o gasto energético é essencial para promover aumentos na eficiência produtiva e econômica. Entre estes fatores, o estudo da influência da aclimação tem ganhado destaque, pois descreve as respostas adaptativas a mudanças em condições climáticas não extremas (NRC,

2007; CSIRO, 2007), referentes a modificações na produção e dissipação de calor dentro da zona termoneutra.

Baseado nas recomendações do NRC (1981), utilizando basicamente estudos com bovinos e sob temperaturas baixas, o NRC (2000) propôs ajustes na exigência de energia líquida de manutenção de bovinos de corte para aclimação considerando a temperatura ambiente média nos últimos 30 dias e 20°C como o ponto médio da temperatura na zona termoneutra, usando a equação: $EM (MJ/d) = ((0,00293 * (20 - T_p)) * 0,322 MJ/kg PC^{0,75})/0,70$, onde “ T_p ” é a temperatura ambiente média nos prévios 30 dias, “20°C” como o ponto médio da temperatura na zona termoneutra e “0,70” é a eficiência do uso de energia líquida para energia metabolizável (EM). O NRC (1981a) ainda apresenta estudos em que, o metabolismo energético foi alterado quando bovinos foram submetidos a temperaturas 10° C abaixo e acima de 20° C (zona termoneutra). Sahlou et al. (2004) e NRC (2007) também sugeriram os mesmos ajustes para caprinos e ovinos, entretanto, ponderaram que a temperatura média da zona termoneutra mais apropriada poderia diferir entre espécies e climas distintos.

Essa diferença foi observada em estudos recentes como o de Patra et al. (2009), que avaliaram o efeito da aclimação sobre a exigência energética de caprinos das raças Boer e Spanish e observaram efeito da umidade relativa sobre o gasto energético para manutenção, quando a temperatura variou de 8 a 32°C, entretanto não observando efeito da temperatura. Já Helal et al. (2012) verificaram diferenças entre raças com relação à sensibilidade às condições climáticas. Os autores observaram que a mudança de temperatura (entre 15 e 30°C) ocasionou pouco impacto sobre o gasto energético de cabras da raça Shami, que tem aptidão leiteira, enquanto que, para a raça Balady, que tem aptidão para produção de carne, o gasto energético diminuiu em condições de altas temperaturas e aumentou em condições de baixas temperaturas.

Outros estudos observaram o efeito de estresse térmico em cabras, em que as respostas termorreguladoras foram evidenciadas em aumento de vários parâmetros fisiológicos, tais como: frequência respiratória, volume respiratório por minuto, termólise evaporativa respiratória, temperatura e sudorese (BRASIL et al, 2000, MARAI et al., 1997, e SHELTON, 2000)

Como já abordado acima, o efeito da temperatura pode apresentar diferentes respostas de acordo com cada animal, os quais apresentam características próprias. No presente estudo foram utilizadas duas diferentes raças. A raça de caprinos Saanen é uma raça europeia originada da Suíça, do vale de Saanen, nos cantões de Berna e Appenzell. Esta raça é muito explorada na Europa, Estados Unidos e em outros países por sua alta produção leiteira. Embora esta raça venha sendo explorada na região semi-árida por alguns criadores, necessita de estudos que comprovem sua viabilidade em ambientes com climas adversos. A raça Anglo-Nubiana, uma raça anglo-africana que apresentam características morfológicas de pelame que possibilitam uma maior adaptação aos ambientes tropicais, tais como: pelos mais curtos, pelame colorido e a cor da pele escura que fornecem uma maior proteção contra radiação solar, em comparação aos animais da raça Saanen, que possuem um pelame branco, porém, com maior espessura da capa, maior comprimento médio dos pelos e a cor da pele e das mucosas rosadas (MEDEIROS et al.,2007,2008,GAYÃO 1993).

Medeiros et al.(2008), observaram que cabras Saanen, apresentaram uma frequência respiratória mais elevada do que as cabras da raça Anglo-Nubiana, principalmente quando foram expostas a uma maior radiação solar, indicando maior estresse ao calor. A regulação física do calor corporal por meio da evaporação pelas vias respiratórias é um recurso utilizado com maior intensidade pela raça europeia, comparado a raça anglo-africana.

Sob elevado estresse térmico, algumas raças e seus cruzamentos têm melhores capacidades reguladoras de calor, devido a diferenças na taxa metabólica, consumo de alimentos e água, taxa de transpiração, e cor de pele e pelame (BLACKSHAW e BLACKSHAW, 1994). Diante disso, é evidente que apesar do avanço nas pesquisas com caprinos nos últimos anos muitos fatores relacionados à utilização dos nutrientes e em diferentes raças ainda não foram suficientemente elucidados. Em muitos casos, dados e modelos para estimativa de alguns desses fatores são extrapolados de outras espécies, como é o caso da influência das condições climáticas sobre a produção de calor e metabolismo energético em caprinos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNEW, R. E.; YAN, T. **Calorimetry. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. 2.ed.France. 2005.

AL-TAMIMI, H.J. Thermoregulatory response of goat kids subjected to heat stress. **Small Ruminant Research**, v.71, n.1, p.280-285, 2007.

ASTRAND PO, RODAHL K. **Textbook of work physiology**. New York, McGraw-Hill Book, 1970.

BACCARI JÚNIOR, F.; GAYÃO, A.L.B.A.; GOTTSCHALK, A.F. Metabolic rate and some physiological and production response of lactating saanen goats during thermal stress. In: **International Congress of Biometeorology**. V.14, p.119,1996.

BACCARI JÚNIOR, F. Métodos e técnicas de avaliação da adaptabilidade dos animais às condições tropicais. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE BIOCLIMATOLOGIA ANIMAL NOS TRÓPICOS: PEQUENOS E GRANDES RUMINANTES**, Sobral, CE. Sobral: Embrapa- CNPC, p. 9-17,1990.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 246p,1997.

BARBOSA, O. R.; BOZA, P. R.; SANTOS, G. T.; SAKAGUSHI, E. S.; RIBAS, N. P. **Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão**. Acta Scientiarum. Animal Sciences. Vol. 26, n. 01, p. 115-122, 2004.

BARBOSA, O.R., SILVA, R.G., SCOLAR, J. et al. Utilização de um índice de conforto térmico em zoneamento bioclimático da ovinocultura. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 32, Brasília: SBZ, p.131-141,1995.

BENZINGER TH. Thermodynamics of living matter: physical foundations of biology. **Animal Journal of Physiology**, p.244: R743-R750. v24. 1983.

BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 583p, 2006.

BLAXTER, K. L.; BROCKWAY, J. M.;BOYNE, A. W. A new method for estimating the heat production of animals. **Quarterly Journal of Experimental Physiology**, v.57, p.60- 72, 1972.

BLACKSHAW, J.K.; BLACKSHAW, A.W. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experiment Agriculture**, Collingwood, v.34, n.2, p.285-95, 1994.

BRASIL, L. H. A. et al. Efeitos do estresse térmico sobre a produção, composição química do leite e respostas termorreguladoras de cabras da raça Alpina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1632-1641, 2000.

BRAZ, J. R. C. Fisiologia da termorregulação normal. **Revista Neurociências**. Vol. 13, n. 03, 2005.

BROSH, A. Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: a review. **Journal of Animal Science**. v85, 1213–1227, 2007.

CAHILL JR GF. Intermediary metabolism of protein, fat and carbohydrate. In Thorn GH, Adams RD, Braunwald E (eds): **Harrison's Principles of Internal Medicine**. 8th ed. New York, McGraw-Hill Book, v352-64,1977.

CANNAS, A. et al. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. **Journal of Animal Science**, v. 82, p. 149-169, 2004.

CONRAD, J.H., Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: Yousef, M.K. (Ed.), **Stress Physiology in Livestock**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A, 1985.

CHAUI-BERLINCK, J. G. ; BICUDO, J. E. P. W. . **Respirometria: A Técnica**. 1. ed. São Paulo: Editora Santos, v. 1. 110 p. 2006.

CSIRO, Ed. **Feedings Standards for Australian Livestock. Ruminants**. East Melbourne, Victoria, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.ed. 2007.

DEVLIN JT, HORTON ES. Necesidades energéticas. In: **Conocimientos actuales sobre nutrición**. 6a ed. Washington, OPAS, p1-7.1991.

DUKES, H. H. **Fisiologia de los animales domésticos**. Madrid: Aguilar. 962p., 1960.

ELWYN DH, KINNEY JM, ASKANAZI J. Energy expenditure in surgical patients. **Surg Clin North Am** v.61,p.545-56,1981.

ERIKSSON, L., HYDBING, E., TUOMISTO, L. et al. Intraruminal fluid administration to goats: effects of handling and fluid temperature. **Acta Vet. Scand.**, 35:289-98. 1994.

FERNANDES, M H M DA R; LIMA, A R C; ALMEIDA, A K; BORGHI, T H; TEIXEIRA, I A M DE A; DE RESENDE, K T. Fasting heat production of Saanen and Anglo Nubian goats measured using open-circuit facemask respirometry. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition** ,2016.

FERNANDEZ, C.; LOPEZ, M. C.; LACHICA, M. Description and function of a mobile open-circuit respirometry system to measure gas exchange in small ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.172, p.242–246, 2012a.

GAYÃO, A. L. B. de A. **Efeito do estresse térmico sobre a taxa metabólica e o ganho de peso de cabritos Saanen**. 1993. 69 f. Tese (Mestrado)- Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1993.

HABEEB, A. A.; MARAI, I. F. M.; KAMAL, T. H. Heat stress. In: Philips, C., Piggins, D. (Eds.), **Farm Animals and the Environment**. C.A.B. International, p.27–47, 1992.

HAHN, G. L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: **10 Stress Physiology in Livestock** (M. K. Yousef, ed.), Boca Raton, FL: CRC Press, vol. II, 1985.

HELAL, A. et al. Effects of acclimatization on energy expenditure by different goat genotypes. **Livestock Science**, n. 127, p. 67-75, 2010.

HOUSSAY BA, CALDEYRO-BARCIA R, COVIAN MR et al. El intercambio material y energético del organismo. In: **Fisiologia humana**. Buenos Aires, Libreria El Ateneo Editorial, p.487-502, 1969;

JONES NL. Equipment. In: **Clinical exercise testing**. 3rd ed. Philadelphia, WB Saunders, 269-86, 1988.

JOHNSON, K.; HUYLER, M.; WESTBERG, H.; LAMB, B. AND ZIMMERMAN, P.. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. **Environmental Science & Technology** 28:359-362. 1994.

KOLB, E. **Fisiologia veterinária**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1115p, 1987.

KLEIBER, M. **The Fire of Life: an introduction to animal energetics**. Rev.Ed. New York: Robert E. Krieger Publishing CO, 453p, 1975.

LACHICA, M, AGUILERA, J.F. Estimation of energy needs in the free-ranging goat with particular reference to the assessment of its energy expenditure by the 13C-bicarbonate method, **Small Ruminant Research**, v49, p.303-318, 2003.

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

LAVOISIER, A. L.; LAPLACE, P. S. M. Mémoire sur la Chaleur. **Mémoires de L'Académie des Sciences**, Paris, p.283-333, 1780.

LU, C.D. Effects of heat stress on goat production, **Small Ruminant Research**, v2, p.151-162, 1989.

MAIA, S.C.A, GEBREMEDHIN G.K, NASCIMENTO,T.S, CARVALHO,D.M, SIMÃO,R.B, CAMERRO,Z.L, CHIQUITELLI, N.M. Development of facial masks for indirect calorimetric studies for livestock. **CSBE/ASABE - Joint Meeting Presentation** 2014.

MARAI, I.F.M., L.B. BAHGAT, T.H. SHALABY, M.A. ABDEL-HAFEZ. Fattening performance, some behavioural traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay, under hot summer of Egypt. **Animal Arid Zone**, 39 (4) (2000), pp. 449–460

MARAI, I.F.M., AYYAT, M.S., ABD EL-MONEM, U.M. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation, under Egyptian conditions. **Tropical Animal Health Production**. v33, p457–462, 2001.

MARAI, I.F.M., EL-DARAWANY, A.A., FADIEL, A., ABDEL-HAFEZ, M.A.M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—A review, **Small Ruminant Research**, v.71,p.1-12, 2006.

MARAI I.F.M., EL-DARAWANY A.A. ABOU-FANDOUD E.M, ABDEL-HAFEZ M.A.M. **Alleviation of heat stressed Egyptian Suffolk rams by treatment with selenium, melatonin or prostaglandin F₂α during hot summer of Egypt** J. Anim. Vet. Adv., 2 (4) (2003), pp. 215–220.

MARAI I.F.M., EL-DARAWANY A.A. ABOU-FANDOUD E.M, ABDEL-HAFEZ M.A.M. Reproductive traits and the physiological background of the seasonal variations in Egyptian Suffolk ewes under the conditions of Egypt. **Animal Arid Zone** (India), 42 (2) (2004), pp. 1-9.

MARAI I.F.M., A.A. EL- DARAWANY, E.I. ABOU-FANDOUD, M.A.M. ABDEL-HAFEZ. Serum blood components during pre-oestrus, oestrus and pregnancy phases in Egyptian Suffolk as affected by heat stress, under the conditions of Egypt. Egypt. J. **Sheep Goats Desert Animal Science**., 1 (1) (2006), pp. 47–62

MARTINS JÚNIOR, L.M. et al. Respostas fisiológicas de caprinos Boer e Anglo-Nubiano em condições climáticas de meio-norte do Brasil. **Revista Caatinga**, v.20, n.2, p.1-7, 2007.

MCCOY S, DRUCKER WR. Carbohydrate metabolism. In Ballinger WF, Collins JA, Drucker WR (eds): **Manual of surgical nutrition**. Philadelphia, WB Saunders, p.13-32,1975.

MEDEIROS, L.F.D. et al. Reações fisiológicas de caprinos das raças Anglo-nubiana e Saanen mantidos à sombra, ao sol e em ambiente parcialmente sombreado. **Boletim da Indústria Animal**, v.65, n.1, p.7-14, 2008.

MEDEIROS, L.F.D. et al. Avaliação de parâmetros fisiológicos de caprinos SPRD (sem padrão racial definido) pretos e brancos de diferentes idades, à sombra, no

município do Rio de Janeiro. **Boletim da Indústria Animal**, v.64, n.4, p.277-287, 2007.

MOLINA P, BURSZTEIN S, ABUMRAD N. Theories and assumptions on energy expenditure. **Critical Care Clinic**; v.11, p. 587-601, 1995.

MONTY, D.E., KELLY, L.M., RICE, W.R. Acclimatization of St. Croix, Karakul and Rambouillet sheep to intense and dry summer heat. **Small Ruminant Research**. v.4,p.379–392, 1991.

MOSS, A.R., JOUANY, J.P., NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warning. **Animal Zootechnique**. v.49, p231–225, 2000.

MUELLER CB, THOMAS EJ. Nutritional needs of the normal adult. In Ballinger WF, Collins JA, Drucker WR (eds): **Manual of surgical nutrition**. Philadelphia, WB Saunders, p142-65, 1975.

NÓBREGA, G. H.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; MANGUEIRA, J. M. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. Vol. 06, n. 01, p. 67- 73, 2011.

NAAS, I. A. Tipologia de instalações em clima quente. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE**, Piracicaba. Piracicaba: FALC, 1998.

NARDON, A., RONCHI, B., VALENTINI, A. Effects of solar radiation on water and food intake and weight gain in Sarda and Comisana female lambs. In: **Animal Husbandry in Warm Climates**, EAAP Publication, v. 55, p. 149–150, 1991.

NRC - **NUTRIENT REQUIREMENTS OF GOATS**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1981. 91p.

NRC - **Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids**. Washington, DC: National Academy Press 2007.

OLSSON, HERMELIN-JOSATER, M, HILALI-HOSSAINE, J. et al. Heat stress causes excessive drinking in fed and food deprived pregnant goats. **Comparative Biochemistry Physiology**. v.10,p.309-17, 1995.

PADUA, J.T., DASILVA, R.G., BOTTCHEER, R.W., HOFF, S.J.Effect of high environmental temperature on weight gain and food intake of Suffolk lambs reared in a tropical environment. In: **Proceedings of 5th International Symposium**, Bloomington, Minnesota, USA, pp. 809–815,1997.

PATRA, A. K. et al. Effects of acclimatization on energy expenditure by meat goats. **Small Ruminant Research**, v. 81, p. 42-54, 2009.

RANDALL, M. The Physiology of Stress: Cortisol and the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis. DUJS Online - **The Darmouth Undergraduate Journal of Science**. Fall 2010.

REECE, W.O. Fisiologia de animais domésticos. São Paulo: Roca, 1996. 351p.

RESENDE, K. T. D.; TEIXEIRA, I. A. M. D. A.; FERNANDES, M. H. M. D. R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T. T.;PIRES, A. V., *et al* (Ed.). **Nutrição de Ruminantes**. 2a. Jaboticabal: FUNEP, 2011. cap. 11, p.323-344

RODRIGUEZ, N.M.; CAMPOS, W. E.; LACHICA, M. L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.2, p.495-500, 2007.

RUCKEBUSCH, Y; PHANEAUF, L-F; DUNLOP, R. **Physiology of small and large animals**. Philadelphia, Decker, p. 399-406, 1991.

SILANIKOVE, N.; Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock. Production. Science**. v67, p.1–18. 2000.

SILVA, E.M.N.; SOUZA, B.B.; SOUSA, O.B.; SILVA, G.A.; FREITAS, M.M.S. Evaluation of adaptability of goats to Semi-arid through physiologic parameters and structures of the tegument. **Revista Caatinga**, v.23, n.2, p.142-148, 2010.

SIMONSON DC, DEFRONZO R. Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. **Animal Journal of Physiology**, v258,p.399-412,1990.

SILVA, E.M.N. et al. Avaliação da adaptabilidade de caprinos exóticos e nativos no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.516-521, 2006.

SILVA, S.V. et al. Efeito das condições reprodutivas e climáticas na produção de embriões de cabras Boer superovuladas. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.3, p.570-575, 2010.

SOUZA, E.D. et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.177- 184, 2005.

SOUZA, B.B. et al. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.275-280, 2008.

WELCH GR. Thermodynamics and living systems: problems and paradigms. **Journal of Nutrition**, v121, p.902-906, 1991.

CHAPTER 2: Fasting heat production of Saanen and Anglo Nubian goats measured by open-circuit facemask respirometry.

ABSTRACT: This study aimed to establish the heat production of Saanen and Anglo Nubian goats at absorptive (feeding) and at post absorptive statuses (fasting) to determine the adequate period of fasting required for the measurement of basal metabolism. The gas exchange was recorded via open-circuit facemask respirometry. Six non-lactating and non-pregnant Saanen (49.2 ± 3.2 kg of body weight, BW) and six non-lactating and non-pregnant Anglo Nubian (64.0 ± 3.0 kg BW) goats were allocated to individual pens and fed ad libitum the same total mixed ration. After a 3-day feeding period, the animals were subjected to fasting (no feed), and the gas exchange measurement was performed for 30 min at 0, 12, 20, 36, 44, 60 and 68 hours after fasting. The daily heat production (HP) of the Saanen and Anglo Nubian goats averaged 557.4 ± 38.7 and 357.1 ± 35.3 kJ/kg^{0.75} BW·d, respectively. During fasting, the methane production decreased exponentially in both breeds, and the critical time when methane production was statistically equal to zero was at 31 hours of fasting for the Saanen goats and at 40 hours for the Anglo Nubian goats. The daily HP and respiratory exchange rate during fasting decreased up to 60 hours. Taken together, our results suggest that the ideal period to measure FHP should be between 40 hours and 60 hours of fasting for goats fed at maintenance levels. Consequently, the daily fasting HP (FHP), after 60 h of fasting, of Saanen and Anglo Nubian goats was 183.3 ± 16.3 and 211.1 ± 11.5 kJ/kg^{0.75} BW·d, respectively. The results presented herein are relevant for future studies of energy metabolism in goats.

Keywords: indirect calorimetry, heat production, methane, respiratory rate, ventilation

1. INTRODUCTION

Basal metabolism has been defined as the minimal energy cost when an animal is at rest in a thermo-neutral environment and in a post-absorptive condition (Brody, 1945). At this state, any heat production (HP) due to fermentation or nutrient absorption and metabolism is reduced. Methodologically, basal metabolism or fasting heat production (FHP) can be determined by indirect calorimetry using open-circuit respirometry. Fernandez et al. (2012a) showed that adapting facial masks to an open-circuit can be a reliable, cost efficient, and sufficiently accurate system for measuring gas exchange in both fed and fasted small ruminants.

The criteria to determine whether a ruminant is in the post-absorptive state, that is, when the heat production no longer reflects the continuing metabolism of food, are firstly, the disappearance of methane production and, secondly, a fall of the respiratory quotient to values that show that no food carbohydrate is being oxidized (Blaxter, 1989). The original studies by Marston (1948) and Blaxter (1962) revealed that 72 h was the time required to remove the interference of the heat increment due to the presence of feed in the digestive tract of large herbivores or ruminants. Since then, most studies measuring heat production of fasting metabolism have used 72 h as the period of fasting required for ruminants to reach the post-absorptive state (Fernandez et al., 2012b; Kim et al., 2013; Lopez and Fernandez, 2013). The issue with the time frame proposed by Marston (1948) and Blaxter (1962) is that they did not deduct the heat produced by tissue mobilization during fasting. Nevertheless, Blaxter (1962) also showed that 24% of the body tissue broken down during fasting consisted of protein and 76% of the energy lost was derived from fat. Moreover, Marston (1948) reported that the heat increment due to the oxidation of body reserves during fasting was approximately 20% of the produced heat. Thus the hypothesis is that 72 h may not represent the most realistic time frame to determine the adequate period of fasting for Saanen and Anglo Nubian goats fed at maintenance level, and that this period should be shorter.

This study aimed to establish the heat production of Saanen and Anglo Nubian goats at absorptive (feeding) and at post absorptive statuses (fasting) to determine the adequate period of fasting, using open-circuit facemask respirometry.

2. MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the Laboratory of Animal Biometeorology of the Universidade Estadual Paulista/Jaboticabal (UNESP, São Paulo, Brazil). Humane care and handling procedures were conducted in accordance with the University's Animal Care Committee (Comissão de Ética e Bem Estar Animal – CEBEA) under protocol number 9502/13.

2.1 *Description of open-circuit facemask respirometry system*

The facial mask for the goats (Figure 1) was developed in the Laboratory of Animal Biometeorology and consisted of a plastic container wrapped in aluminum foil and sealed with synthetic latex to avoid leakage of air; the mask was equipped with two valves to avoid mixing the inlet and outlet air (Maia et al., 2014). Operationally, the facial mask was adjusted to the snout of the animal. Therefore, during each breath, atmospheric air flowed through the air inlet valve of the mask and the exhaled air flowed through the air outlet valve. At the outflow point of the mask tube valve, the expired air passed through the gas-mixing chamber (Model MLA246, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU) and into the respiratory flow head (Model MLT1.000, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU). The flow head was connected to a spirometer (Model ML14, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU) to measure the ventilation and respiratory rate (breaths per minute). From the gas-mixing chamber, a subsampling line was attached to a rotameter (Model SS4 sub-sample, Sable System, Nevada, USA) to establish the desirable flow rate of 150 mL/min. Previously, the gas sample passed through a water vapor analyzer (Model RH-300, Sable System, Nevada, USA). Then, the air was dried by passing it through a flask containing magnesium perchlorate ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$), and then it continued to the CO_2 and O_2 gas analyzer unit (Model FMS-1201-05, Field Metabolic System, Sable Systems International, Inc., Las Vegas, USA) and the CH_4 analyzer (Model MA-10 Methane Analyzer, Sable Systems International, Inc., Las Vegas, USA). Operationally, goats remained with the masks for 30-40 minutes, and then we measured ambient air every time we pulled the masks from goats. This initial and final atmospheric air samples were sucked into the line and the gas concentrations were used as a reference for the calculations.

To measure the rectal temperature (T_R), a sensor (Model MLT1407, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU) was inserted into the rectum of the animal. The exhaled air temperature (T_{expair}) sensor (Model MLT415/AL, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU) was placed inside the mask next to the animal's nose. Another sensor (Model MLT415/AL, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU) continuously measured the ambient temperature (T_{air}). These sensors were connected directly to the thermistor pods (Model ML309, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU).

All analytical devices (gas analyzer units, flowmeter, spirometer and thermistor pods) were connected to the data acquisition system (Model PowerLab 16/30, Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU), which was connected to a computer. The software used to operate the system was Labchart® (Ad Instruments Ltda, New South Wales, AU). The data recording was set up at 1 observation per second.

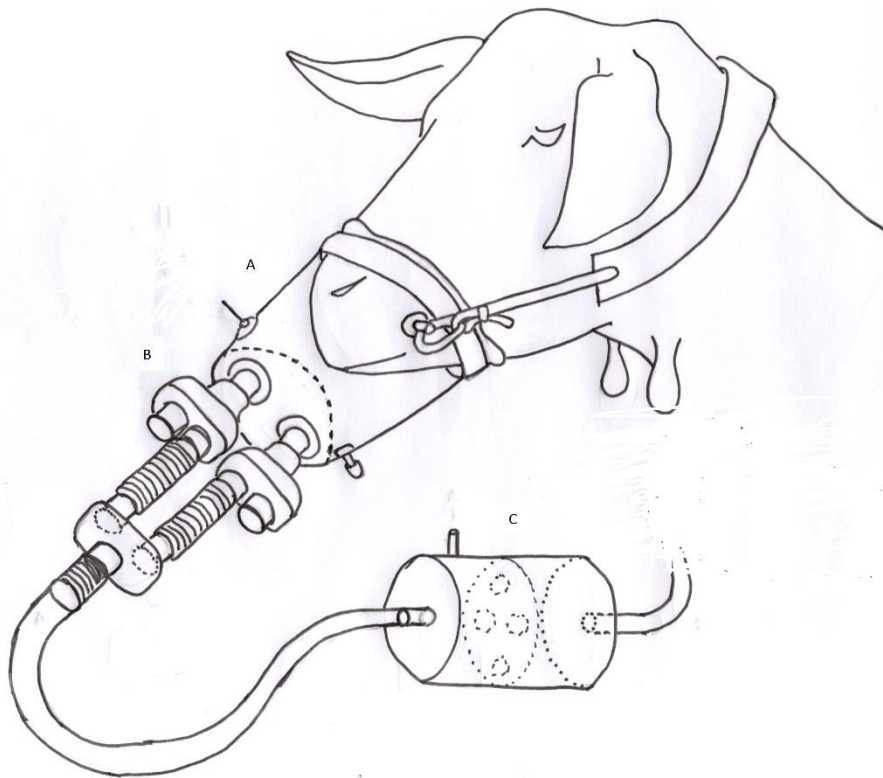


Figure 1. Schematic representation of the facemask respirometry system. (A) Facial mask, (A.1) Exhaled air temperature sensor, (B) valves to avoid mixing the inlet and outlet air, (C) mixing tube chamber, (C.1) subsampling line to gas analyzers . By Gustavo H. A. Teixeira.

2.2 *Animals and experimental procedures*

Six non-lactating and non-pregnant Saanen goats (49.2 ± 3.2 kg body weight; BW) and six non-lactating and non-pregnant Anglo Nubian goats (64.0 ± 3.0 kg BW), which were on average 5 years old, were used in two trials: one for Saanen and other for Anglo Nubian goats. In both trials, the light period was set to 12 h. The maximum and minimum temperature of the air and humidity averaged 28.4 ± 1.3 °C and 18.9 ± 1.2 °C; 48.0 ± 1.6 % and 29.0 ± 1.6 %, respectively, during the trial with Saanen goats and, 25.3 ± 2.5 °C and 22.3 ± 1.6 °C; 60.0 ± 1.3 % and 43.0 ± 1.3 %, respectively, during the trial with Anglo Nubian goats. The following procedures were applied to both trials.

The goats were placed in individual pens inside a shelter protected from rain and wind, and all were fed the same total mixed ration, which comprised, on a dry matter (DM) basis, 46.5% dehydrated corn plant, 30.2% cracked corn, 19% soybean meal, 1.1% soybean oil, 0.7% limestone, 1.6% mineral supplement and 0.9% ammonium chloride. The chemical composition of the ration, on a DM basis, was 6.3% ash, 19.5% crude protein, 34.2% neutral detergent fiber, 10.8 MJ per kg DM of metabolizable energy (ME; Lima et al. 2013). The mixed ration was formulated according to the recommendations of the NRC (2007) for a dairy goat at maintenance. The goats were fed ad libitum and the diet was provided once daily at 8:00. They were weighed at the beginning and end of the collection period (6 days). The feed and fresh water intake was recorded daily by measuring the offer and orts.

2.3 *Period of adaptation to facial mask*

The goats were conditioned to use the facial mask before executing the data collections. This conditioning lasted three months and the animals were gradually subjected to the use of facial mask uninterruptedly. In the first week, the facial mask was set to the snout of the animal for 15 minutes (min) uninterruptedly. This time was

gradually increased to 60 min. During this period, the respiratory rate (BPM, breaths per min) was measured without using the mask and after its use, by counting the movements of the flank for 60 s to monitor the stress of the animal.

2.4 Gas exchange measurement

The gas exchange was measured in groups of three animals each. Each gas exchange measurement lasted six days (three days of feeding followed by three days of fasting period). During the feeding period (three days), each group was assigned to a double Latin square (3×3) with 3 animals and 3 hour (h)- windows in the morning (7:00 – 9:00; 9:00 – 11:00; 11:00 – 13:00) and afternoon (13:00 – 15:00; 15:00 – 17:00; 17:00 – 19:00). Within each h-window, gas measurements lasted about 40 min during which goats remained with masks and gas exchange of expired air was measured. So that, by the end of the third day, there was a representative sample of 12 hours of measurement for each goat. After the 3-day feeding period, the animals were subjected to fasting (no feed), and the gas exchange measurement was performed for 30 min at 0, 12, 20, 36, 44, 60 and 68 hours after fasting.

To evaluate the decay of methane during the fasting, the methane production scaled to BW ($\text{L/BW} \cdot \text{h}$) was adjusted to the non-linear logistic model (Valente et al., 2011; equation 1):

$$\text{CH}_4 = \beta \times \exp^{(-\lambda \times t)} + I \quad (1)$$

where CH_4 is the methane production scaled to BW after t (h) of fasting, β is the potential methane produced in the fed state ($\text{L/BW} \cdot \text{h}$), I is the minimum methane produced ($\text{L/BW} \cdot \text{h}$) and λ is the common fractional rate of decline. The critical time to reach the asymptote (I), or to measure the FHP, was estimated when the upper limit of the standard error of the mean of I and CH_4 production became equivalent to zero. We solve the equation considering the 95% confidence interval of I .

Calculations

The O_2 consumed (VO_2) and the CO_2 (VCO_2) and CH_4 (VCH_4) released in the respiratory system were estimated according to equations 2 to 4:

$$\text{VO}_2 = \text{VE} \times (\text{O}_{2\text{ATM}} - \text{O}_{2\text{EXP}}) \quad (2)$$

$$VCO_2 = VE \times (CO_{2EXP} - CO_{2ATM}) \quad (3)$$

$$VCH_4 = VE \times (CH_{4EXP} - CH_{4ATM}) \quad (4)$$

where, VO_2 is O_2 consumed (L/h); VCO_2 is CO_2 consumed (L/h); VE is ventilation (L/h); O_{2EXP} and O_{2ATM} are the proportions of O_2 in the expired and inspired air, respectively; CO_{2EXP} and CO_{2ATM} are the proportions of CO_2 in the expired and inspired air, respectively; CH_{4EXP} and CH_{4ATM} are the proportions of CH_4 in the expired and inspired air, respectively. Gas volumes were corrected to standard conditions of temperature, pressure and dry air (STPD).

The respiratory exchange rate (RER) was calculated by VCO_2 / VO_2 . The ventilation is the product of the respiratory rate (BPM, breaths/min) and the tidal volume (V_T , mL).

The heat production was calculated according to Brouwer (1965; equation 5):

$$HP = 16.18 \times VO_2 + 5.02 \times VCO_2 - 2.17 \times VCH_4 - 5.99 \times Nur \quad (5)$$

where HP is the heat production (kJ), VO_2 is oxygen consumed (L), VCO_2 is the carbon dioxide produced (L), VCH_4 is the methane production (L) and Nur is the urinary nitrogen (g). We assumed none contribution of heat from urinary nitrogen based on the observations of Verstegen et al., (1987) in which urinary nitrogen only makes a very small contribution (less than 1%) to the heat production compared to the O_2 and CO_2 .

2.5 Statistical Analysis

The data were analyzed within breed as a Latin square design with repeated measurements over time using a MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, version 9.4). The model used for the analysis of each breed was the following: $Y_{ijkm} = \mu + A_i + D_j + H_k + P_m + A(P)_{im} + D \times A(P)_{ijm} + \epsilon_{ijkm}$, where Y = the observation; A_i = random effect of the animal, D_j = random effect of the day, H_k = fixed effect of the hour-window, P_m = random effect of group of 3 animals, and $A(P)_{im}$ = random effect of animal nested to group, $D \times A(P)_{ijm}$ = random effect of interaction of day and animals nested to group, ϵ = the residual as a random effect assumed iid $N(0, \sigma^2_{ij})$. Among the tested covariance structures, the variance component was the one that showed the lower corrected Akaike's information criterion (AICC). The methane curve

was fitted according to the nonlinear mixed-model methodology using the SAS macro %NLINMIX (SAS Inst. Inc., Cary, NC. version 9.4). The between-square variability was modeled by introducing a parameter, u , to the parameters estimated in the exponential equation. The restricted maximum likelihood was used as the method of estimation and the zero-order expansion method was used to fit the model. We evaluated the parameters by the CONTRAST option to test the values for each breed.

3. RESULTS AND DISCUSSION

During the feeding period, the Saanen goats drank 3.34 ± 0.53 L/d of fresh water and consumed 848.6 ± 40.2 g/d of dry matter (DM) or 46.0 ± 3.5 g DM/kg^{0.75} BW·d, and their daily ME intake (MEI) was 496.4 ± 37.5 kJ/kg^{0.75} BW. The Anglo Nubian goats drank 1.38 ± 0.49 L/d of fresh water and consumed 719.0 ± 40.2 g/d of DM or 29.8 ± 3.1 g DM/kg^{0.75} BW·d, and their daily MEI was 321.8 ± 34.3 kJ/kg^{0.75} BW. The NRC (2007) reported that a dairy goat in maintenance should consume approximately 2.3% BW of DM, considering a diet with an energy concentration of approximately 8 MJ of metabolizable energy (ME)/kg DM. In this study, the DMI of the Saanen and Anglo Nubian goats was 1.7 and 1.1% of BW, respectively, but they were fed a diet of approximately 10.8 MJ ME/kg DM. Additionally, the daily HP of the Saanen goats averaged 458 ± 31.8 kJ/kg^{0.75} BW·d, while the HP of the Anglo-Nubian goats was 294 ± 29.0 kJ/kg^{0.75} BW·d. Because HP of goats was approximately 90% of their MEI, we assumed that both the Saanen and Anglo Nubian goats were fed near to maintenance level; this assumption also is supported by the lack of change in the BW of both breeds (data not shown). The HP of the fed Saanen goats was 36% higher than that of the fed Anglo Nubian goats, which might be a consequence of the higher DMI of the Saanen goats compared to the Anglo Nubian goats. Moreover, the values for the BPM, VE, V_T and rectal temperature (T_R) obtained in the present study (supplementary material) were within the established normal ranges for goats in thermoneutrality (Lallo et al., 2012; Stegmann and Bester, 2012), indicating no signal of environmental stress.

Methane production is an inherent part of the energy metabolism in ruminants and the facemask open-circuit respirometry system can be a valuable tool in the

quantification of the methane emission. The methane production during the 12 hours of the feeding period summed 9.2 ± 1.8 L and 9.9 ± 1.7 L for the Saanen and Anglo Nubian trials, resulting in an average of 0.38 ± 0.08 and 0.41 ± 0.07 L/h, respectively. Extrapolating those data to a daily basis, Saanen and Anglo Nubian goats would produce 0.36 ± 0.07 and 0.32 ± 0.06 L/BW·d, respectively. Few studies have quantified methane emission from goats; however, the estimated daily methane production in this study (approximately 20 L/d) is within the range (10 to 30 L/d) of observed in previous studies (Puchala et al., 2005; Tovar-Luna et al., 2010; Abecia et al., 2012).

After fasting, the methane production decreased exponentially in both breeds (Figure 2C and D). This state has been established to occur after 72 hours of fasting of large herbivores in general (Marston, 1948; Blaxter, 1967). In this study, the estimated critical time when methane production was statistically equal to zero was at 31 hours of fasting for the Saanen goats and at 40 hours for the Anglo Nubian goats. Ruminants with faster passage rate are expected to reach the condition when methane production has virtually ceased earlier. Afterward, the faster decay of methane and the shorter period than 72 h observed in this study might be a consequence of faster ruminal passage rate reported for goats compared to cattle and sheep (Clauss and Lechner-Doll, 2001; Li et al., 2008).

Additionally, the HP and respiratory quotient during fasting decreased up to 60 hours (Figure 2A and B). Taken together, our results suggest that the ideal period to measure fasting HP (FHP) should be between 40 hours and 60 hours of fasting for goats fed at maintenance levels. Consequently, the (FHP), after 60 h of fasting, of Saanen and Anglo Nubian goats was 183.3 ± 16.3 and 211.1 ± 11.5 kJ/kg^{0.75} BW.d, respectively.

With this study, the question was raised about whether researchers need to subject goats to 72 h of fasting to determine the FHP. This is important to clarify considering the severity of the stress induced by the extended fasting period adopted for ruminants because of their digestive characteristics and the mean retention time of the feed in the rumen compared to non-ruminants.

The curves for the Saanen and Anglo-Nubian goats presented different shapes by which those curves can be understood, namely, the different rates of methane

decline (-0.1130 vs. -0.0821, respectively). This may be due to the difference in the intake prior to the fasting period for these two breeds, as described earlier. It is known that the level of intake prior to fasting will impact the time frame to reach fasting (Marston, 1948); nevertheless, researchers still adopt the 72 h period of fasting for ruminants irrespective of the conditions, such as the mean retention time of the species, prior level of intake and diet characteristics.

The issue with the 72 h time frame is that the fasting period is characterized by the decline of physiological activity in response to the withdrawal of nutrients, and by tissue mobilization. The latter can be monitored by the fall of the RER from 1.0, in the feeding period when oxidized substrate is carbohydrate, to approximately 0.71, during the fasting, indicating that predominant oxidized substrate is body fat and setting the post-absorptive state (Blaxter, 1989). Indeed, during feeding, the RER of the Saanen and Anglo-Nubian goats averaged 0.95 and 0.89, respectively. However, after fasting, the RER decreased linearly to 0.7 for both breeds. This decrease was followed by an increase in the heat production (Figure 2 A and B) after 60 h of fasting, presumably because the higher combustion heat of fat compared to that of carbohydrate and protein (Brouwer, 1965). Unless one assumes that this increase is part of the FHP, one must avoid measuring FHP at this period.

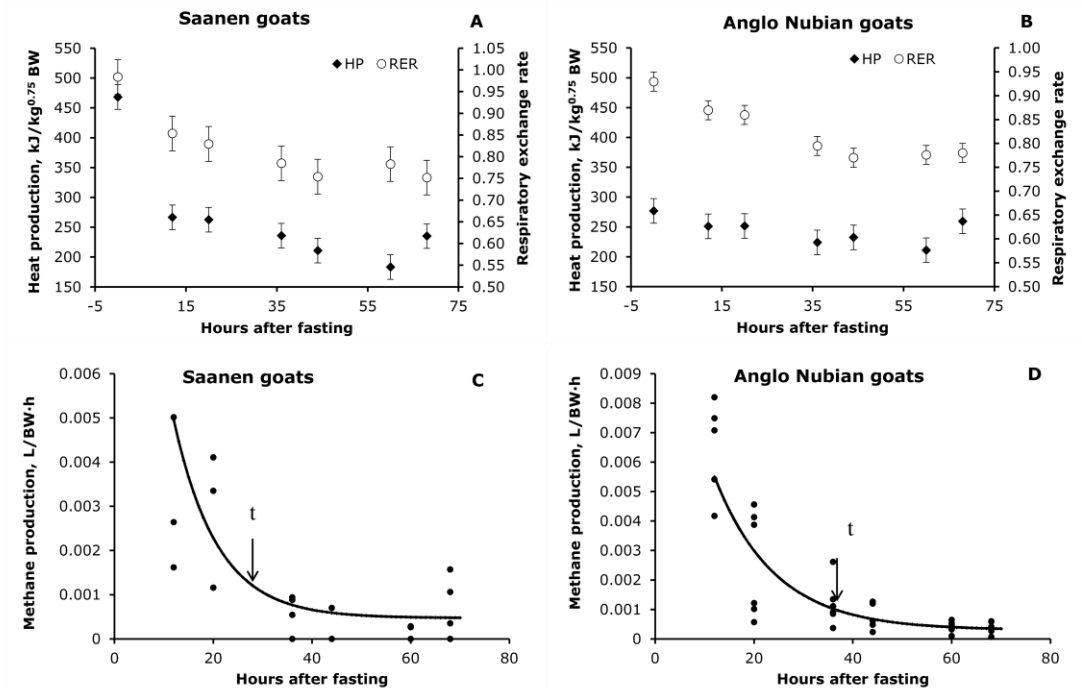


Figure 2. Heat production, respiratory exchange rate (VCO_2/VO_2) and decay of methane production in Saanen (A and C) and Anglo Nubian (B and D) goats after fasting. HP is heat production, RER is respiratory exchange rate, and BW is body weight. A. Saanen CH_4 , $L/BW \cdot h = 0.0174 \pm 0.00465 \times \exp^{(-0.1130 \pm 0.0185 \times t, h)} + 0.00047$, $\sigma^2_e = 4.32 \times 10^{-6}$. B. Anglo-Nubian CH_4 , $L/BW \cdot h = 0.0139 \pm 0.00181 \times \exp^{(-0.0821 \pm 0.0134 \times t, h)} + 0.00030$, $\sigma^2_e = 4.17 \times 10^{-6}$. The arrow represents the time from which methane production was statistically equal to zero. Error bars represent standard error of means.

In this study, we used open-circuit facemask respirometry, which is based on indirect calorimetry method and assists in measuring the gas exchange associated with the oxidation of energy substrates to estimate heat production. It is a reliable, cost efficient, and sufficiently accurate method (Fernandez et al.; 2012a), however the gas exchange measurements are performed in short periods. Conversely, open-circuit respirometry using respiration chambers enables longer and continuous measurements of gas exchange, where FHP is assumed to be the asymptote of HP

after a period of fasting (van Milgen et al., 1997) and methane decline would possibly be acquired continuously. Although using facial masks, it was possible to generate a model which has described the decay of methane throughout 68 hours, and then, it was assumed that a continuously measurement would have reproduced similar results. Nonetheless, future studies with respiration chambers could be supportive to the shorter time frame for FHP proposed herein.

Taken together, the suggested ideal period to measure FHP should be between 40 hours and 60 hours of fasting for goats fed at maintenance levels. The results presented herein are relevant for future energy metabolism studies with goats.

Table 1. Ventilatory measurements and rectal temperature of Saanen goats using an open-circuit facemask respirometry system

	Time of the day ¹						SEM	Effect
	1	2	3	4	5	6		
BPM	17.43	18.61	20.07	29.93	29.03	31.34	5.17	L**
Tidal volume, L	0.47	0.48	0.56	0.47	0.49	0.48	0.049	0.6207
Ventilation, L/min	10.77	12.01	18.75	18.05	11.56	14.57	5.08	4th-order*
T _{air} , °C	23.17	24.17	25.87	26.53	26.76	27.13	0.61	L**
T _{ExpAir} , °C	25.83	27.13	28.99	29.31	29.73	21.22	1.25	L**
T _{rectal} , °C	38.69	39.10	39.13	39.27	39.11	39.69	0.24	0.063
EWL, g/min	4.10	5.23	9.21	8.86	5.94	8.24	1.35	Q**
VCH ₄ , L/h	0.41	0.82	1.30	1.08	0.54	0.91	0.31	Q*
VO ₂ , L/h	14.21	15.50	23.44	19.10	16.80	18.08	3.03	Q*
VCO ₂ , L/h	12.66	14.64	22.88	18.65	15.84	17.63	2.93	Q**
HP, MJ/d	7.02	7.74	11.79	9.60	8.40	9.10	1.49	4th-order**
RER	0.88	0.94	0.98	0.97	0.93	0.99	0.018	C**

¹ 1: 7:00 – 9:00; 2: 9:00 – 11:00; 3: 11:00 – 13:00; 4: 13:00 – 15:00; 5: 15:00 – 17:00; 6: 17:00 – 19:00. BPM = respiratory rate (breaths per minute), T_{ExpAir} = temperature of expired air; EWL = evaporative water loss; VCH₄ = methane production; VO₂ = oxygen consumption; VCO₂ = carbon dioxide production; RER = respiratory exchange rate, VCO₂/VO₂. L = linear effect, Q = quadratic effect, C = cubic effect; SEM = standard error of mean; * P < 0.05; ** P < 0.01.

Table 2. Ventilatory measurements and rectal temperature of Anglo Nubian goats using an open-circuit facemask respirometry system

	Time of the day ¹						SEM	Effect
	1	2	3	4	5	6		
BPM	15.18	14.34	17.39	16.07	15.13	16.79	0.8234	Q**
Tidal volume, L	0.60	0.64	0.62	0.64	0.67	0.67	0.0419	0.4065
Ventilation, L/min	9.31	9.21	11.00	10.21	10.18	11.39	0.8183	0.0839
Tair, °C	21.41	22.02	22.73	23.44	23.77	23.62	0.5501	Q**
TExpAir, °C	25.54	28.10	27.26	27.44	27.69	27.59	0.6252	L*
T rectal, °C	38.30	38.18	38.21	38.47	38.58	38.47	0.1045	C**
EWL, g/min	4.32	4.25	5.17	5.10	5.32	5.61	0.8504	L**
VCH ₄ , L/h	0.68	0.93	1.33	0.92	0.95	1.17	0.2394	0.2166
VO ₂ , L/h	14.79	15.29	17.18	16.33	16.44	18.19	15.712	0.0676
VCO ₂ , L/h	12.54	13.24	15.82	14.33	14.91	16.46	10.553	L**
HP, MJ/d	7.22	7.48	8.51	8.02	8.13	8.98	0.7284	L**
RER	0.85	0.86	0.92	0.88	0.90	0.90	0.90	0.1551

¹ 1: 7:00 – 9:00; 2: 9:00 – 11:00; 3: 11:00 – 13:00; 4: 13:00 – 15:00; 5: 15:00 – 17:00; 6: 17:00 – 19:00. BPM = respiratory rate (breaths per minute), TExpAir = temperature of expired air; EWL = evaporative water loss; VCH₄ = methane production; VO₂ = oxygen consumption; VCO₂ = carbon dioxide production; RER = respiratory exchange rate, VCO₂/VO₂. L = linear effect, Q = quadratic effect, C = cubic effect. SEM = standard error of mean; * P < 0.05; ** P < 0.01.

4. ACKNOWLEDGMENTS

This work was financially supported by CNPq, Brazil (grant #479595/2012-7). We thank Dr. Gustavo Henrique de Almeida Teixeira (Unesp, Jaboticabal, Brazil) for his work on Figure 1.

5. REFERENCES

- ABECIA, L.; TORAL, P.G.; MARTIN-GARCIA, A.I.; MARTINEZ, G.; TOMKINS, N.W.; MOLINA ALCAIDE, E.; NEWBOLD, C.J.; YANEZ-RUIZ, D.R.; Effect of bromochloromethane on methane emission, rumen fermentation pattern, milk yield, and fatty acid profile in lactating dairy goats. **Journal of Dairy Science** 95, 2027-2036. 2012.
- BLAXTER, K.L., **The energy metabolism of ruminants**. Hutchinson, London. 1962.
- BLAXTER, K.L., Techniques in energy metabolism studies and their limitations. **Proceedings of the Nutrition Society** 26, 86. 1967.
- BLAXTER, K.L., **Energy metabolism in animals and man**. University Press, Cambridge. 1989.
- BRODY, S., **Bioenergetics and growth**. Reinhold Publ. Corp., New York. 1945.
- BROUWER, E.; Report of sub-committee on constants and factors. In: Blaxter, K.L. (ed.), **3rd Symposium Energy Metabolism**. EAAP Publ., London, UK. 441-443. 1965.
- CLAUSS, M.; LECHNER-DOLL, M., Differences in selective reticulo-ruminal particle retention as a key factor in ruminant diversification. **Oecologia** 129, 321-327. 2001.
- FERNANDEZ, C.; LOPEZ, M.C.; LACHICA, M., Description and function of a mobile open-circuit respirometry system to measure gas exchange in small ruminants. **Animal Feed Science and Technology** 172, 242-246. 2012a.
- FERNANDEZ, C.; LOPEZ, M.G.; LACHICA, M., Heat production determined by the RQ and CN methods, fasting heat production and effect of the energy intake on substrates oxidation of indigenous Manchega sheep. **Animal Feed Science and Technology** 178, 115-119. 2012b.
- KIM, D.H.; MCLEOD, K.R.; KLOTZ, J.L.; KOONTZ, A.F.; FOOTE, A.P.; HARMON, D.L., Evaluation of a rapid determination of fasting heat production and respiratory quotient in Holstein steers using the washed rumen technique. **Journal of Animal Science** 91, 4267-4276. 2013.
- LALLO, C.H.O.; PAUL, I.; BOURNE, G., Thermoregulation and performance of British Anglo-Nubian and Saanen goats reared in an intensive system in Trinidad. **Tropical Animal Health and Production** 44, 491-496. 2012.
- LI, D.; HOU, X.; LIU, Y.; LIU, Y., Effect of diet composition on digestion and rumen fermentation parameters in sheep and cashmere goats. **Animal Feed Science and Technology** 146, 337-344. 2008.
- LIMA, A. R. C., RESENDE, K. T., TEIXEIRA, I. A. M. A., FERNANDES, M. H. M. R., FRIGHETTO, R. T. S., BONFÁ, H. C., RIBEIRO JÚNIOR, C. S., SILVA, N. C. D.: Methane production of goats fed different forage:concentrate ratio. In: Nussio, L. G. (ed), **50th Annual Meetings of Brazilian Society of Animal Science**. FEALQ,

Campinas, Brazil. 2013.

LOPEZ, M.C.; FERNANDEZ, C., Energy partitioning and substrate oxidation by Murciano-Granadina goats during mid lactation fed soy hulls and corn gluten feed blend as a replacement for corn grain. **Journal of Dairy Science** 96, 4542-4552. 2013.

MAIA, A.S.C.; GEBREMEDHIN, K.G.; NASCIMENTO, S.T.; CARVALHO, M.D.; SIMÃO, B.R.; CAMERRO, L.Z.; CHIQUITELLI NETO, M.,: Development of facial masks for indirect calorimetry studies for livestock., ASABE paper n. 141897355. In: **ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting**. ASABE, St Joseph, Mich. 2014.

MARSTON, H.R., Energy transactions in the sheep .1. The basal heat production and heat increment. **Australian Journal of Scientific Research Series B-Biological Sciences** 1, 93-129. 1948.

NRC, **Nutrient Requirements of Small Ruminants**. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, DC, 2007.

PUCHALA, R.; MIN, B.R.; GOETSCH, A.L.; SAHLU, T., The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. **Journal of Animal Science** 83, 182-186. 2005.

STEGMANN, G.F.; BESTER, L., Preliminary investigation into the ventilatory effects of midazolam in isoflurane-anaesthetised goats. **Journal of the South African Veterinary Association** 83, 01-03. 2012.

TOVAR-LUNA, I.; PUCHALA, R.; SAHLU, T.; FREETLY, H.C.; GOETSCH, A.L., Effects of stage of lactation and level of feed intake on energy utilization by Alpine dairy goats. **Journal of Dairy Science** 93, 4829-4837. 2010.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; DE QUEIROZ, A.C.; VALADARES FILHO, S.D.C.; GOMES, D.I.; FIGUEIRAS, J.F., Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science** 40, 2565-2573. 2011.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S.; BERNIER, J.F., Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. **British Journal of Nutrition** 78, 397-410. 1997.

VERSTEGEN, M.W.A.; HEL, W.V.D; BRANDSMA, H.A.; HENKEN, A.M.; BRANSEN, A.M., The Wageningen respiration unit for animal production research: a description of the equipment and its possibilities., In: Verstegen, M.W.A.; M., H.A. (eds.), **Energy metabolism in farm animals. Effects of housing, stress and disease**. Springer Netherlands, Dordrecht. 21-48. 1987.

CAPÍTULO 3: Partição de energia e metabolismo basal em cabras Saanen e Anglo-Nubiana mantidas em diferentes temperaturas ambientais

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi determinar o efeito da temperatura sobre balanço de energia e metabolismo basal de cabras Saanen e Anglo-Nubiana, a partir da técnica da respirometria indireta de circuito aberto. Foram utilizadas seis cabras da raça Saanen ($53,3 \pm 7,7$ kg) e seis cabras da raça Anglo-Nubiana ($56,4 \pm 8,0$ kg), não lactantes e não gestantes, distribuídas aleatoriamente em gaiolas metabólicas e alimentadas *ad libitum*. Todas as cabras foram submetidas a três diferentes temperaturas: $10^{\circ}\text{C} \pm 0,23$; $20^{\circ}\text{C} \pm 0,41$ e a $35^{\circ}\text{C} \pm 1,05$. Após um período de alimentação de 4 dias, os animais foram submetidos a jejum por 60 horas e a medição das trocas gasosas foi realizada durante 30 min em cada animal aleatoriamente. Os dados foram analisados como um delineamento inteiramente ao acaso e o nível de significância declarado foi 10%. Quando significativo, o efeito de temperatura foi decomposto em dois contrastes polinomiais ortogonais. Quando a interação entre temperatura e raça foi significativa, o efeito da raça em cada temperatura foi realizado utilizando-se a opção SLICE do LSMEANS do SAS. Para as variáveis produção de calor (PC) e PC em jejum (PCJ) foi realizada a análise do modelo de regressão *Broken-line* considerando-se o ponto de inflexão fixo em “ 20°C ”, utilizando o procedimento PROC NLIN do SAS. Para ambas as raças, houve uma diminuição linear na ingestão de MS (IMS) e MO (IMO) à medida que a temperatura aumentou de 10 para 35°C . A digestibilidade aparente da MS, da MO, da PB e da FDN apresentaram comportamento quadrático, com menores valores na temperatura de 20°C . Aos 35°C , a digestibilidade da proteína bruta das cabras Anglo-Nubiana foi maior que a das cabras Saanen. A frequência respiratória (FR) e volume respiratório aumentaram em taxas crescentes com o aumento da temperatura ambiente. Aos 35°C , tanto a FR quanto o volume respiratório das cabras Saanen foram maiores que os das cabras Anglo-Nubiana. A metabolizabilidade e a energia metabolizável da dieta das cabras Saanen, aos 35°C , foram menores que as das cabras Anglo-Nubiana. Para a PC foi observado que para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um aumento na PC na ordem de $6,7 \text{ kJ/kg}^{0.75} \text{ PV}$, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um aumento na PC na ordem de $7,9 \text{ kJ/kg}^{0.75} \text{ PV}$, em temperatura ambiente entre 10 e 35°C . Por outro lado, para PCJ, para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um decréscimo na PCJ na ordem de $5,4 \text{ kJ/kg}^{0.75} \text{ PV}$, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um decréscimo na ordem de $8,7 \text{ kJ/kg}^{0.75} \text{ PV}$. Diferenças foram observadas para a oxidação de gordura em relação as temperaturas. As cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana são capazes de manter a homeostasia em ambientes entre 10 e 35°C . Por outro lado, o aumento da temperatura ambiental induz a um menor consumo, tendendo a balanços energéticos negativos. Acima de 20°C , as cabras tendem a diminuir a produção de calor em jejum, como uma tentativa de conservação de energia em ambientes quentes

Palavras-chave: caprinos, produção de calor em jejum, respirometria

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos têm sido realizados com animais da raça Saanen e Anglo-Nubiana, avaliando o efeito da temperatura sobre os parâmetros fisiológicos tais como, frequência respiratória, temperatura retal, temperatura do pelame, dentre outros parâmetros (Brasil et al., 2000), porém pouco se tem explorado o efeito da temperatura na partição de energia desses animais.

A raça de caprinos Saanen é originada da Suíça sendo muito explorada na Europa, Estados Unidos e em outros países por sua alta produção leiteira. Embora no Brasil, esta raça venha sendo explorada na região semiárida por alguns criadores, necessita de estudos que comprovem sua viabilidade em ambientes com climas adversos (MEDEIROS et al., 2008).

Já os animais da raça Anglo-Nubiana apresentam características morfológicas de adaptação dos ambientes tropicais, tais como: pelos mais curtos, pelame colorido e a cor da pele escura que fornecem uma maior proteção contra radiação solar, em comparação aos animais da raça Saanen, que possuem um pelame branco, porém, com maior espessura da capa, maior comprimento médio dos pelos e a cor da pele e das mucosas rosadas (MEDEIROS et al., 2007, 2008, GAYÃO 1993)

Apesar de os caprinos serem considerados animais com maior capacidade de adaptação a condições desfavoráveis, a associação entre elevadas temperaturas, alta umidade do ar e radiação pode acarretar alterações comportamentais e fisiológicas, como aumento da temperatura da pele, elevação da temperatura retal, aumento da frequência respiratória, diminuição da ingestão de alimentos e, consequente redução do nível de produção (Lu, 1989).

A aclimação, dentro do contexto de utilização de energia, vem sendo estudada e descreve as respostas adaptativas a mudanças em condições climáticas não extremas (NRC, 2007; CSIRO, 2007), referentes a modificações na produção e dissipação de calor dentro da zona termoneutra.

Baseado nas recomendações do NRC (1981), utilizando basicamente estudos com bovinos e sob temperaturas baixas, o NRC (2000) propôs ajustes na exigência de energia líquida de manutenção de bovinos de corte para aclimação considerando a temperatura ambiente média nos últimos 30 dias e 20°C como o ponto médio da

temperatura na zona termoneutra. Ajustes similares foram sugeridos para bovinos, ovinos e caprinos pelo CSIRO (2007) e para ovinos por CANNAS et al. (2004). A partir disso, torna-se necessário para o desenvolvimento de sistemas de alimentação e produções mais eficientes o entendimento do balanço energético de cabras em diferentes temperaturas.

Com isso objetivou-se com o presente estudo determinar o efeito da temperatura sobre balanço de energia e metabolismo basal de cabras Saanen e Anglo-Nubiana, a partir da técnica da respirometria indireta de circuito aberto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido no Laboratório de Estudos em Caprinocultura da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Jaboticabal. Os procedimentos do experimento foram conduzidos de acordo com a comissão de ética e bem-estar – CEBEA, sob o protocolo de número #9502/13.

2.1 *Descrição de um sistema de respirometria de circuito aberto utilizando máscaras faciais*

A máscara facial para caprinos foi desenvolvida no Laboratório de Biometeorologia Animal (MAIA et al., 2014). Os procedimentos referentes às medidas das trocas gasosas foram realizados de acordo com Fernandes et.al. (2016).

2.2 *Animais e procedimentos experimentais*

Foram utilizadas seis cabras da raça Saanen ($53,7 \pm 7,7$ kg) e seis cabras da raça Anglo-Nubiana ($56,4 \pm 8,0$ kg), não lactantes e não gestantes, com idade média de 5 anos.

As cabras foram alocadas em gaiolas metabólicas individuais, e alimentadas com a mesma dieta (Tabela 1) composta por 90% de silagem de milho e 10% de concentrado, com base na matéria seca (MS) formulada de acordo com as recomendações da NRC (2007) para fêmeas adultas em manutenção. As cabras foram alimentadas *ad libitum* e a dieta foi fornecida uma vez por dia às 8h00.

Todas as cabras foram alocadas em salas climáticas com três diferentes temperaturas: $10^{\circ}\text{C}\pm 0,23$; $20^{\circ}\text{C}\pm 0,41$ e a $35^{\circ}\text{C}\pm 1,05$ e umidades relativas de $88,10\pm 0,99$ para 10°C , $80,75\pm 4,13$ para 20°C e $45,58\pm 5,07$ para 35°C . Essas temperaturas foram escolhidas de acordo com a faixa da zona termoneutra estabelecida para caprinos de acordo com Reece (2006). Os animais foram submetidos a um período de adaptação de 20 dias em cada temperatura antes do início de cada coleta. Os valores obtidos das temperaturas e umidades para cada temperatura, foram adquiridos durante todo o período experimental por 24 horas utilizando um sensor térmico (HOBOWare, Onset Computer Corporation, Bourne, MA).

Tabela 1. Ingredientes e composição química da ração (base na MS)

Ingredientes	%
Silagem de milho	90,0
Milho moído	6,0
Farelo de trigo	0,4
Farelo de soja	1,6
Farelo de algodão	1,1
Núcleo mineral	0,5
Calcário calcítico	0,2
Composição da ração ²	
MS, %	40,0
MM, % MS	4,6
PB, % MS	9,0
EE, % MS	2,1
FDN, % MS	43,2
EB, MJ/kg MS	16,0

MS = matéria seca, MM = matéria mineral, PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, FDN = fibra em detergente neutro, EB = energia bruta.

2.3 Ensaio de Metabolismo

O ensaio de metabolismo foi realizado concomitante ao ensaio de mensuração das trocas gasosas, para determinar a digestibilidade aparente dos nutrientes, o balanço de energia, de nitrogênio e de carbono dos animais.

Todos os animais foram alojados em gaiolas metabólicas individuais. Foi avaliado o consumo diário individual, pesando-se o oferecido e as sobras e com isso, realizando o ajuste da ração fornecida diariamente.

Para a determinação da digestibilidade aparente, foi realizada a coleta total de fezes e urina. Cada gaiola metabólica era provida de um separador de urina e fezes com tela, de forma que as fezes eram coletadas em bandejas de plásticos alocadas logo abaixo de cada gaiola e a urina era coletada utilizando baldes plásticos de 10 litros contendo 100 ml de ácido sulfúrico a 20% v/v, de forma a manter o pH da urina abaixo de 3,0 para evitar volatilização de amônia. Assim, o pH da urina era verificado 3 vezes ao dia utilizando fitas de pHmetro (RM Science, Gibbstown, N.J, 08027). As sobras eram coletadas todos os dias antes do fornecimento da dieta experimental. Todo o manejo de coleta de fezes, urina e sobras foram realizados durante 5 dias consecutivos, e ao término de cada período experimental, foi realizada uma amostra composta de cada material e coletado 10% e armazenadas a -20°C. Logo após, as amostras compostas de alimentos, sobras e fezes foram secas a 55°C, em uma estufa de ventilação forçada durante 72h e moídos a 1mm, utilizando um moinho de facas (Tipo Willey, MA340, Marconi, Piracicaba, SP). As amostras de urina foram descongeladas e utilizadas para posteriores análises laboratoriais.

2.4 Mensuração das trocas gasosas utilizando a máscara facial

A mensuração das trocas gasosas foi realizada com os 12 animais. Para que todos os 12 animais passassem nas 3 temperaturas, as mensurações foram realizadas em 3 períodos (4 animais em cada período, sendo 2 animais da raça Saanen e 2 da raça Anglo-Nubiana) para cada temperatura. Durante o período de alimentação que durou 4 dias, cada animal foi avaliado três vezes ao dia em horários diferentes ao longo dos quatro dias, de forma que, no final do quarto dia, houvesse uma amostra representativa de 12 horas de medição para cada animal (Tabela 2). Dentro de cada intervalo de hora, as medições das trocas gasosas duraram cerca de 40 min durante as quais as cabras permaneceram com a máscara facial. No final do quarto dia de coleta, os animais foram submetidos a jejum por 60 horas e, foi realizada a medição das trocas gasosas durante 30 min em cada animal aleatoriamente.

Tabela 2. Esquema referente as medidas com a máscara facial.

HORA	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
07-08h	Cabra 1	Cabra 4	Cabra 3	Cabra 2
08-09h	Cabra 2	Cabra 1	Cabra 4	Cabra 3
09-10h	Cabra 3	Cabra 2	Cabra 1	Cabra 4
10-11h	Cabra 4	Cabra 3	Cabra 2	Cabra 1
11-12h	Cabra 4	Cabra 1	Cabra 2	Cabra 3
12-13h	Cabra 1	Cabra 2	Cabra 3	Cabra 4
13-14h	Cabra 2	Cabra 3	Cabra 4	Cabra 1
14-15h	Cabra 3	Cabra 4	Cabra 1	Cabra 2
15-16h	Cabra 2	Cabra 4	Cabra 3	Cabra 1
16-17h	Cabra 3	Cabra 1	Cabra 4	Cabra 2
17-18h	Cabra 4	Cabra 2	Cabra 1	Cabra 3
18-19h	Cabra 1	Cabra 3	Cabra 2	Cabra 4

2.5 *Análises laboratoriais*

Nas amostras dos ingredientes da ração, das fezes e das sobras foram determinados os teores de matéria seca, segundo (AOAC, 1995/ 930.15), matéria orgânica (AOAC, 1990/ 942.05), o teor de nitrogênio (Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, EUA), extrato etéreo (AOAC 1995/ 920.39). A energia bruta das sobras, alimentos, fezes foram determinadas usando bomba calorimétrica (Parr Instrument Co., Moline, IL). A concentração de FDN nas amostras de alimento, sobras e fezes foi determinada no aparelho Ankom 220 Fiber Analyser (ANKOM Technology Corporation, Macedon, NY, USA) utilizando amilase termoestável. Na urina foram determinados os teores de nitrogênio (Etheridge et al., 1998) (Leco Corporation, St. Joseph, Michigan, EUA), e MS (AOAC, 1995/ 930.15).

2.6 Cálculos

O O₂ consumido (VO₂) e o CO₂ (VCO₂) e CH₄ (VCH₄) produzidos, foram calculados de acordo com as equações de 1 a 3 (Mc Lean et al.,1972).

$$VO_2 = VE \times (O_{2ATM} - O_{2EXP}) \quad (1)$$

$$VCO_2 = VE \times (CO_{2EXP} - CO_{2ATM}) \quad (2)$$

$$VCH_4 = VE \times (CH_{4EXP} - CH_{4ATM}) \quad (3)$$

Em que, VO₂ é o O₂ consumido (L/h); VCO₂ é o CO₂ produzido (L/h); VCH₄ é o CH₄ produzido (L/h); VE é a ventilação (L/h); O_{2EXP} e O_{2ATM} são as proporções de O₂ na inspiração e expiração do ar, respectivamente; CO_{2EXP} e CO_{2ATM} são as proporções de CO₂ na expiração e inspiração do ar, respectivamente; CH_{4EXP} e CH_{4ATM} são as proporções de CH₄ na expiração e inspiração do ar, respectivamente. Os volumes dos gases foram corrigidos para as condições normais de temperatura e pressão (STPD)

A produção de calor foi calculada de acordo com a equação de Brouwer (1965; equação 4):

$$PC = 16,18 \times VO_2 + 5,02 \times VCO_2 - 2,17 \times VCH_4 - 5,99 \times Nur \quad (4)$$

Em que, PC é a produção de calor (kJ), VO₂ é o oxigênio consumido (L), VCO₂ é o dióxido de carbono produzido (L), VCH₄ é o metano produzido (L) e Nur é o nitrogênio urinário (g). O quociente respiratório (QR) foi calculado de acordo com o volume de CO₂ produzido/O₂ consumido. A energia retida (ER) foi calculada pela diferença entre a IEM e a PC.

As perdas evaporativas (EVAP), foram calculadas de acordo com Maia et al., (2005), como segue:

$$EVAP = VE \times (\Psi_{EXP} - \Psi_{ATM})$$

Em que, EVAP são as perdas evaporativas (g/min); VE é a ventilação (L/min) e Ψ_{EXP} e Ψ_{ATM} são as proporções (g/L) do vapor de água no ar expirado e inspirado, respectivamente.

A técnica da calorimetria indireta também pode ser utilizada para estimar a oxidação quantitativa do substrato em todo o corpo do animal (FERNANDEZ et al.,2012).

A energia associada a oxidação da proteína (OX_P), carboidrato (OX_{CHO}) e gordura (OX_G), foi calculada pelo método descrito por Chwalibog et al. (1997) para ruminantes (equações 5, 6, 7 e 8).

$$VCO_{2x} = VCO_2 - (CO_2/CH_4 \times VCH_4) \quad (5)$$

$$OX_P = 6,25 \times N_{ur} \times 18,42 \quad (6)$$

$$OX_{CHO} = (-2,968 \times VO_2 + 4,174 \times VCO_{2x} - 2,446 \times N_{ur}) \times 17,58 \quad (7)$$

$$OX_G = (1,719 \times VO_2 - 1,719 \times VCO_2 - 1,963 \times N_{ur}) \times 39,76; \quad (8)$$

Em que, OX_P, OX_{CHO}, OX_G, são a energia (kJ) associada a oxidação de proteína, carboidratos, e gordura, respectivamente. O₂ é o oxigênio consumido (L), VCO₂ é o dióxido de carbono produzido (L), VCO_{2x} é o dióxido de carbono produzido pela oxidação, VCH₄ é a produção de metano (L) e N_{ur} = nitrogênio da urina (g/dia),

A PC da oxidação (PC_x, kJ) foi obtida pela equação 9:

$$PC_x \text{ (kJ)} = 16,18 \times O_2 + 5,02 \times CO_{2x} - 5,99 \times N_{ur} \quad (9)$$

2.7 *Análise estatística*

Os dados foram analisados como um delineamento inteiramente ao acaso de acordo com o modelo estatístico: $Y_{jkm}: \mu + R_j + T_k + A_m + (R*T)_{jk} + \epsilon_{jkm}$, onde Y= observação, R = raça considerada como efeito fixo, T = temperatura como efeito fixo, A = animal como efeito aleatório, (R*T) = interação entre raça e temperatura como efeito fixo, ϵ = resíduo como efeito aleatório, utilizando-se o procedimento PROC MIXED do SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC. version 9.4). Quando significativo, o efeito de temperatura e da interação entre temperatura dentro de raça foi decomposto em dois contrastes polinomiais ortogonais (linear e quadrático) e a significância foi declarada em $P < 0,10$. Para o efeito da raça, as médias foram comparadas usando a diferença mínima significativa de Fisher (i.e., a opção DIFF do

comando LSMEANS). Quando a interação entre temperatura e raça foi significativa, o efeito da raça em cada temperatura foi realizado utilizando-se a opção SLICE do LSMEANS do SAS. Em função da alta correlação entre produção de metano e ingestão de matéria seca (IMS; Lima et al., 2016), os efeitos de temperatura, raça e interações sobre a produção de metano e energia perdida na forma de metano foram analisados utilizando-se IMS como covariável. Significância foi declarada a $P \leq 0,10$.

Para as variáveis PC e produção de calor em jejum (PCJ) foi realizada a análise do modelo de regressão *Broken-line* com regressão linear para o primeiro segmento e outra linear para o segundo segmento, considerando-se o ponto de inflexão fixo em “20°C”, utilizando o procedimento PROC NLIN do SAS.

3. RESULTADOS

Para ambas as raças, houve uma diminuição linear na ingestão de MS (IMS) e MO (IMO) (Tabela 3, Figura 1), a medida que a temperatura aumentou de 10 para 35°C (Tabela 3), de forma que a IMS diminuiu 0,44 g/kg^{0,75} PC para cada aumento de 1°C (Eq. 9, $P = 0,016$; Raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) = 5.69). Não foi observada diferença no consumo de nutrientes (Tabela 3). No entanto, a digestibilidade aparente da MS (DMS), da MO (DMO), da PB (DPB) e da FDN (DFDN) apresentaram comportamento quadrático, com menores valores na temperatura de 20°C (Tabela 3). Aos 35°C, a DPB das cabras Anglo-Nubiana foi maior que a das cabras Saanen.

$$IMS = 55,2 \pm 4,2 - 0,44 \pm 0,17 \times Temp \quad (9)$$

Em que: IMS = ingestão de matéria seca, g/kg^{0,75} PV; Temp = temperatura ambiente, °C.

Durante o período de alimentação, a temperatura retal das cabras da raça Saanen foi maior que a das cabras da raça Anglo-Nubiana ($P = 0,071$), não observando diferença entre temperaturas ambientes (Tabela 4). A frequência

respiratória (FR) e volume respiratório aumentaram em taxas crescentes com o aumento da temperatura ambiente (efeito quadrático, $P = 0,08$ e $0,05$; respectivamente). Aos 35°C , tanto a FR quanto o volume respiratório das cabras Saanen foram maiores que o das cabras Anglo-Nubiana.

Já as variáveis VO_2 , VCO_2 e VCH_4 apresentaram menores valores quando os animais estavam na temperatura de 20°C , para ambas as raças. As perdas evaporativas aumentaram linearmente com o aumento de temperatura ambiente. À temperatura ambiente de 35°C , a produção de metano das cabras Saanen foi maior que das cabras Anglo-Nubiana.

Tabela 3. Consumo e digestibilidade aparente de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas

Variáveis	Saanen			Anglo-Nubiana			EPM	Raça	P^1	
	10	20	35	10	20	35			Temp	$R \times T$
Consumo ² , (g/kg ^{0.75} BW)										
IMS	47,6	53,1	42,5	52,0	43,3	37,2	4,92	0,39	L*	0,27
IMO	46,1	50,0	39,9	50,2	40,5	35,0	4,67	0,37	L*	0,27
IPB	4,7	5,1	4,4	4,8	4,7	3,8	0,51	0,82	0,11	0,50
IFDN	21,1	24,8	20,8	22,7	21,5	17,9	2,12	0,42	0,12	0,34
Digestibilidade ³ , g/g										
DMS	0,75	0,71	0,74	0,73	0,67	0,79	0,02	0,74	Q*	0,17
DMO	0,76	0,71	0,75	0,74	0,67	0,79	0,02	0,80	Q*	0,21
DPB	0,64	0,60	0,63 ^b	0,58	0,54	0,72 ^a	0,04	0,67	Q*	0,06
DFDN	0,70	0,65	0,71	0,65	0,64	0,76	0,03	0,95	Q*	0,22

¹L = efeito linear, Q = efeito quadrático; EPM = erro padrão da média; * $P < 0,10$; ** $P < 0,01$.

²IMS = Ingestão de material seca; IMO = ingestão de matéria orgânica; IPB = ingestão de proteína bruta; IFDN = ingestão de FDN; ³Digestibilidade da matéria seca (DMS), digestibilidade da matéria orgânica (DMO), digestibilidade da proteína bruta (DPB), digestibilidade da fibra em detergente neutro (DFDN). ^{a,b} Letras distintas indicam diferença ($P < 0,10$) entre raças dentro de uma mesma temperatura ambiente.

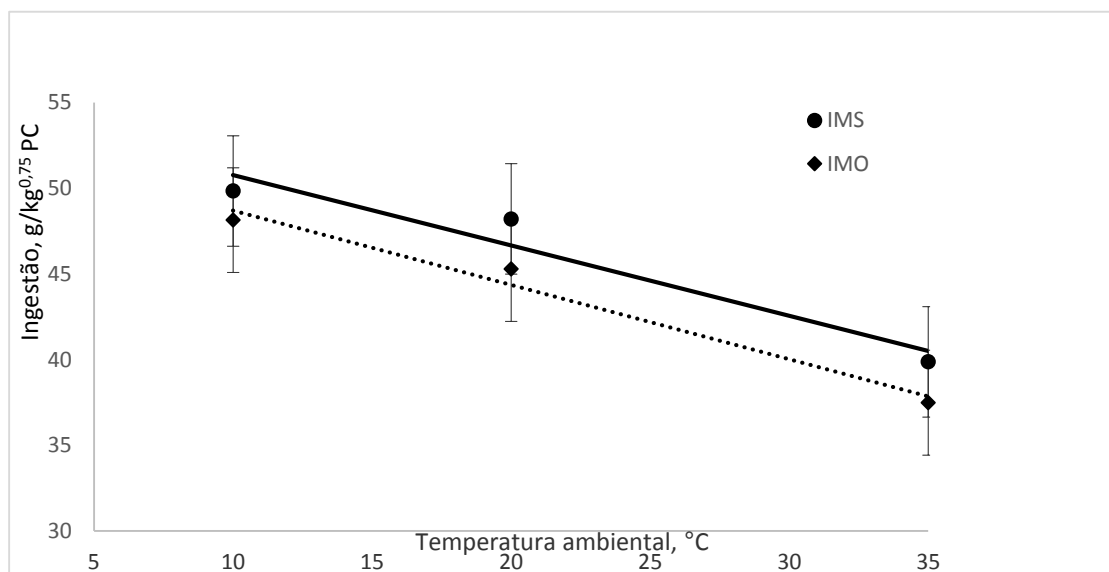


Figura 1. Efeito da temperatura na ingestão de matéria seca (IMS) e matéria orgânica (IMO).

Tabela 4. Parâmetros fisiológicos de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas, durante o período de alimentação.

Variáveis ²	Saanen			Anglo-Nubiana			P ¹			
	10	20	35	10	20	35	EPM	Raça	Temp	R x T
TR	39,1	38,9	39,1	38,9	38,9	38,9	0,09	0,07	0,38	0,50
TExpAr	24,0	26,3	34,2	23,6	25,4	33,3	0,96	0,51	Q**	0,85
FR	16,5	28,9	84,3 ^a	18,1	18,0	24,1 ^b	7,33	<,0001	Q*	<,0001
VOL	16,3	19,7	57,6 ^a	16,2	13,8	28,9 ^b	7,65	0,13	Q*	0,05
VO ₂	251,8	217,6	347,8	319,6	208,5	349,6	48,2	0,63	Q*	0,61
VCO ₂	232,5	203,8	329,1	294,8	191,1	292,1	46,3	0,83	Q*	0,50
VCH ₄ ³	26,6	24,2	31,1 ^a	33,5	15,7	19,3 ^b	3,2	0,22	Q*	0,02
EVAP	101,8	160,3	469,3	86,0	97,2	421,5	79,8	0,56	L**	0,93
QR	0,92	0,93	0,96	0,92	0,91	0,83	0,038	0,21	0,13	0,53

¹L = efeito linear, Q = efeito quadrático; EPM = erro padrão da média; * P < 0,10; ** P < 0,01. ²TR = temperatura retal, FR = frequência respiratória (respirações por minuto), TExpAr = temperatura do ar expirado (°C); EVAP = perda evaporativa respiratória (L/d); VOL = volume respiratório (L/min); VCH₄ = produção de metano (L/d); VO₂ = oxigênio consumido (L/d); VCO₂ = dióxido de carbono produzido (L/d), QR = coeficiente respiratório. ³ Análise com a ingestão de matéria seca como covariável. ^{a,b} Letras distintas indicam diferença (P<0,10) entre raças dentro de uma mesma temperatura ambiente.

Similar a IMS, o consumo de energia bruta diminuiu linearmente à medida que aumentou a temperatura. A energia perdida nas fezes (EFE), urina (EUR) e metano (ECH₄), apresentaram um comportamento quadrático (P<0,10) em relação às temperaturas, de forma que a maior EFE e menores EUR e ECH₄ ocorreram à temperatura de 20°C, em ambas as raças. Essas perdas corresponderam em média a 35,87% da energia bruta ingerida (EBI). Desta forma, tanto a energia digestível

(ED) como a energia metabolizável (EM), assim como a perda de metano em relação a EBI, apresentaram menores valores à temperatura de 20°C, em ambas as raças (Tabela 5).

À temperatura ambiente de 35°C, a energia perdida na forma de metano assim como a energia perdida na urina das cabras Saanen foram maiores que das cabras Anglo-Nubiana. Consequentemente, a metabolizabilidade e a EM da dieta das cabras Saanen, aos 35°C, foram menores que as das cabras Anglo-Nubiana (Tabela 5).

A IEM diminuiu linearmente com o aumento da temperatura de 10 para 35°C, para ambas as raças. Esta relação entre IEM e temperatura foi descrita na Eq. 10.

$$\text{IEM} = 560,8 \pm 56,6 - 5,74 \pm 2,35 \times \text{Temp} \quad (10)$$

Em que: IEM = ingestão de energia metabolizável, kJ/kg^{0,75} PC; Temp = temperatura ambiente, °C.

Considerando-se “20°C” como o ponto médio da temperatura na zona termoneutra para caprinos (NRC, 2007), o modelo broken-line (linear, linear) para PC indicou que para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um aumento na PC na ordem de 6,7 kJ/ kg^{0,75} PV, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um aumento na PC na ordem de 7,9 kJ/ kg^{0,75} PV, em temperatura ambiente entre 10 e 35°C (Figura 2). Por outro lado, o modelo broken-line (linear, linear) para PCJ indicou que para cada 1°C de variação abaixo de 20°C houve um decréscimo na PCJ na ordem de 5,4 kJ/ kg^{0,75} PV, enquanto que para cada 1°C de variação acima de 20°C houve um decréscimo na ordem de 8,7 kJ/ kg^{0,75} PV, em temperatura ambiente entre 10 e 35°C (Figura 3).

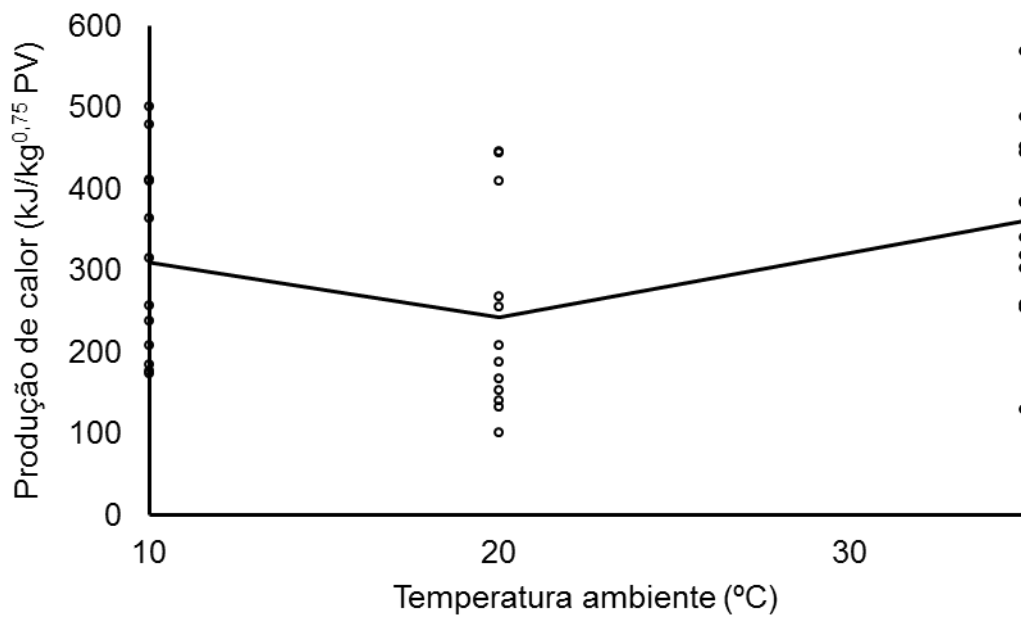


Figura 2. Efeito da temperatura ambiente sobre a produção de calor (PC) em cabras. Linhas demonstram os valores previstos pelo modelo broken-line (linear, linear): $PC \text{ (kJ/ kg}^{0.75} \text{ PV)} = 242,7 \pm 35,1 + 6,7 \pm 4,9 \times (20^\circ\text{C} - \text{Temp}) + 7,9 \pm 3,3 \times (\text{Temp} - 20^\circ\text{C})$; $P = 0,07$; RQME = 121,6. Temp = temperatura ambiente, RQME = raiz quadrada do quadrado médio do erro.

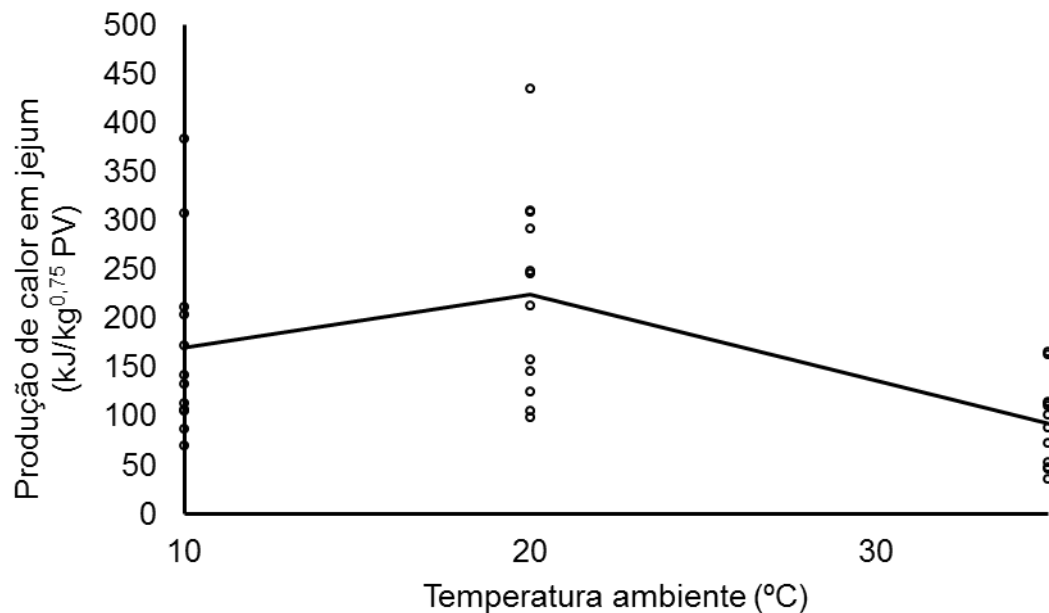


Figura 3. Efeito da temperatura ambiente sobre a produção de calor em jejum (PCJ) em cabras. Linhas demonstram os valores previstos pelo modelo *Broken-line*

(linear, linear): $PCJ (kJ/kg^{0.75} PV) = 223,8 \pm 24,3 - 5,4 \pm 3,4 \times (20^{\circ}C - Temp) - 8,7 \pm 2,3 \times (Temp - 20^{\circ}C)$; $P = 0,002$; $RQME = 84,1$. Temp = temperatura ambiente, RQME = raiz quadrada do quadrado médio do erro.

Os resultados encontrados para a oxidação dos nutrientes encontram-se na Tabela 6, e foram baseados na mensuração individual durante 12 horas de mudança dos gases, e nos valores médios de excreção de N coletados durante 5 dias junto ao estudo da calorimetria.

Não foi observada diferença significativa para a OXP nem para a OXCHO, no entanto diferenças significativas, foram observadas para a OXG em relação as temperaturas. A mesma tendência foi obtida quando a OXP foi representada como % PCx.

Tabela 5. Balanço de energia de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três temperaturas.

Variáveis	Saanen			Anglo-Nubiana				P^1		
	10	20	35	10	20	35	EPM	Raça	Temp	$R \times T$
EBI	797,4	816,6	664,8	850,7	654,3	576,5	78,8	0,32	L*	0,31
EFE	199,5	264,7	184,0	228,1	246,6	137,0	24,2	0,55	Q*	0,23
EURI	33,3	26,8	48,3 ^a	19,0	15,0	13,6 ^b	3,7	<,0001	Q*	<,0001
ECH ₄	52,4	43,7	66,3 ^a	62,3	39,9	43,6 ^b	8,3	0,38	Q*	0,04
IEM	511,3	478,8	363,3	539,1	353,5	385,1	65,5	0,63	L*	0,36
PC	272,4	229,0	365,1	336,8	252,5	357,8	56,2	0,59	Q*	0,75
ER	238,9	249,8	-1,7	202,3	101,0	27,2	62,5	0,29	L*	0,31
PCJ	199,7	185,2	96,5	148,4	251,3	89,6	37,7	0,94	Q**	0,17
q	0,64	0,58	0,53 ^b	0,62	0,54	0,66 ^a	0,041	0,46	0,21	0,050
ED	12,5	10,3	11,2	11,9	9,4	11,8	0,45	0,46	Q**	0,12
EM	10,7	8,9	8,2 ^b	10,2	8,2	10,2 ^a	0,65	0,69	Q**	0,04
EM/ED	0,85	0,86	0,73 ^b	0,85	0,86	0,86 ^a	0,046	0,11	L*	0,053
PCH ₄	6,7	5,6	10,0	8,2	5,8	7,6	1,2	0,81	Q*	0,25

¹L = efeito linear, Q = efeito quadrático; EPM = erro padrão da média; * $P < 0,10$; ** $P < 0,01$

²EBI = energia bruta ingerida ($kJ/kg^{0.75} PV$); EFE = energia perdida nas fezes ($kJ/kg^{0.75} PV$); EURI = energia perdida na urina ($kJ/kg^{0.75} PV$); ECH₄ = energia perdida na forma de metano ($kJ/kg^{0.75} PV$); IEM = ingestão de energia metabolizável ($kJ/kg^{0.75} PV$); PC = produção de calor ($kJ/kg^{0.75} PV$); ER = energia retida ($kJ/kg^{0.75} PV$); PCJ = produção de calor em jejum ($kJ/kg^{0.75} PV$); q = metabolizabilidade; ED = energia digestível (MJ/ kg MS); EM = energia metabolizável (MJ/ kg MS); PCH₄ = perda de energia na forma de metano (% EBI). ³ Análise com a ingestão de matéria seca como covariável. ^{a,b} Letras distintas indicam diferença ($P < 0,10$) entre raças dentro de uma mesma temperatura ambiente.

Tabela 6. Oxidação diária (kJ/kg^{0,75} PC) de proteína (OXp), carboidrato (OXCHO) e gordura (OXG) e suas contribuições na produção de calor pela oxidação dos substratos (PCx) e coeficiente respiratório (QRnpx) de cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana submetidas a três diferentes temperaturas

Variáveis ²	Saanen			Anglo-Nubiana			P ¹			
	10	20	35	10	20	35	EPM	Raça	Temp	R x T
QRnpx	0,81	0,82	0,81	0,80	0,84	0,76	0,03	0,59	0,49	0,60
PCax	268,6	225,7	360,4	332,2	249,7	354,9	47,3	0,58	Q*	0,76
OXp	22,3	27,0	30,0	30,3	26,3	25,0	3,0	0,82	0,95	0,32
OXG	157,2	106,3	149,7	185,1	106,4	271,9	47,6	0,14	Q*	0,30
OXCHO	89,0	92,3	180,5	116,6	189,1	57,9	57,6	0,99	0,83	0,23
OXp/PCx	0,09	0,14	0,07	0,10	0,11	0,07	0,01	0,59	Q**	0,51
OXG/PCx	0,62	0,58	0,55	0,64	0,53	0,79	0,11	0,52	0,68	0,52
OXCHO/PCx	0,33	0,35	0,39	0,31	0,38	0,16	0,12	0,53	0,81	0,60

¹L = efeito linear, Q = efeito quadrático; EPM = erro padrão da média; * P < 0,10; ** P < 0,01.

²QRnpx = (CO₂x – Nur x 6,25 x 0,774) / (O₂ – Nur x 6,25 x 0,957); PCx (kJ) = 16,18 x O₂ x CO₂x – 5,99 x Nur.

4. DISCUSSÃO

A diminuição da IMS, e consequente diminuição da IEM, com o aumento da temperatura ambiental observada neste estudo também foi relatada em outros trabalhos (MARAI et al., 2007; MONTY et al., 1991, NARDON et al., 1991). Essa diminuição da IMS pode estar relacionada ao fato de que a exposição dos animais a altas temperaturas faça com que ocorra um maior esforço para dissipar o calor para o meio ambiente, lançando mão de mecanismos como aumento da taxa respiratória (fato esse observado neste experimento), além da temperatura corporal e consumo de água, e também, pela ação inibitória do calor sobre o centro do apetite (MARAI,2001).

Neste estudo, houve um aumento da digestibilidade dos nutrientes quando a temperatura ambiental elevou-se de 20 para 35°C, observando diferenças entre as raças Saanen e Anglo-Nubiana na DPB, em que os animais da raça Anglo-Nubiana tiveram maiores valores na DPB em relação aos animais da raça Saanen aos 35°C. Conrad (1985), relata que a temperatura ambiental provoca um aumento na digestibilidade dos nutrientes devido as mudanças causadas no volume do trato gastrointestinal e na taxa de passagem ou aumento do tempo de retenção da digesta. Weniger e Stein (1992) relataram também que a digestibilidade e a

degradação de nutrientes no rúmen passam a ser significativamente maior a uma temperatura ambiente elevada (35° C).

Este fato pode ser explicado em decorrência da diminuição do consumo, que incorre numa diminuição da taxa de passagem ou o aumento do tempo de retenção da digesta fazendo com que ocorra uma maior digestibilidade aparente (DOREAU et al., 2003, 2004; GALVANI et al., 2010; DIAS et al., 2011.). Há um efeito direto também do estresse térmico no centro de alimentação do hipotálamo, resultando em uma resposta hormonal, (WEST, 1999). De acordo com Silanikove, (1987) à medida que a taxa de secreção da tireoide é reduzida durante o estresse térmico os hormônios tireoidianos provocam uma diminuição no consumo de nutrientes, o que pode levar a uma alteração na taxa de passagem dos alimentos.

Os ruminantes são animais classificados como homeotérmicos, ou seja, apresentam funções fisiológicas que se destinam a manter a temperatura corporal constante, dentro de uma determinada faixa de temperatura ambiente (MORAES, 2010.). Para que os animais consigam manter sua temperatura corporal constante, eles lançam mão de mecanismos e mudanças fisiológicas que o ajudam a controlar a homeostasia.

Algumas dessas mudanças incluem como consequência a variação da temperatura retal, cuja variação normal na espécie caprina é de 38,5 a 39,7°C, e geralmente pode ser mínima pela manhã e máxima na parte da tarde, entretanto a temperatura corporal pode sair da faixa normal, sob influência de vários fatores, tais como a temperatura ambiente (REECE, 1996). Lu et al. (1989), relataram que a temperatura retal só se altera quando os mecanismos de dissipação de calor são insuficientes para mantê-la. Neste estudo a temperatura retal não foi influenciada pela faixa de temperatura ambiental estudada (10 a 35°C), indicando que os mecanismos de dissipação ou geração de calor foram efetivos em manter a homeotermia.

Juntamente com a temperatura retal, a frequência respiratória também é um parâmetro fisiológico bastante utilizado em experimentos com caprinos e outras espécies para avaliar o estresse térmico, sendo citados por diversos autores (MARTINS JÚNIOR, 2004; NEIVA et al., 2004; SILVA et al., 2004; ROCHA et al., 2005a). A FR considerada normal da espécie caprina é de 14 a 25 movimentos por

minutos (KOLB, 1974). Tompson (1985) relata que sob altas temperaturas (35°C) a perda evaporativa aumenta cerca de 60% em relação a produção total de calor em ovinos. Nos caprinos a termólise evaporativa, respiratória e a cutânea têm proporções que dependem do estresse térmico. O estresse térmico causado pela radiação solar é associado à sudação como o principal mecanismo de perda de calor evaporativo, ao passo que a respiratória predomina nas condições de câmaras climáticas (DMI'EL & ROBERTSHAW, 1983).

Neste estudo, as cabras da raça Saanen quando expostas a temperaturas próximas de 35°C apresentaram uma FR superior ao limite considerado normal para a espécie (84,39 mov/min), podendo ser um indicativo de um estresse calórico e tentativa de adaptabilidade a temperatura ambiental. Outros estudos observaram que durante o calor, a FR é maior do que no inverno para ovelhas, ou seja, o estresse térmico durante o verão é caracterizado por um aumento na FR (HABEEB et al., 1992; FAHMY, 1994 e MARAI et al., 1997c).

Quando há uma diferença de temperatura entre o corpo do animal e ambiente não muito elevada, o excesso de calor corporal é dissipado do corpo aquecido para o meio mais frio, do contrário o animal tem que utilizar os mecanismos de perda de calor latente (SOUZA et al., 2003). Em ambientes quentes, onde a temperatura do ar tende a ser próxima ou maior que a temperatura corporal os mecanismos sensíveis de perda de calor tornam-se ineficazes (Silva, 2000), entrando em ação os mecanismos evaporativos, por meio da respiração por exemplo, para que ocorra a regulação térmica (CENA e MONTEINH, 1975).

Neste estudo pode-se observar que as perdas na forma evaporativa foram significativamente maiores ($P < 0.001$), quando os animais se encontravam na faixa de 35°C de temperatura ambiental, quando comparado as temperaturas de 10 e 20°C. Essas diferenças observadas entre as raças Saanen e Anglo-Nubiana podem ser explicadas devido as características morfológica de cada uma. Principalmente a raça de caprinos Saanen que é uma raça especializada em produção de leite, que vem sendo muito utilizada no Brasil, e são oriundas da Europa. Esta região da Europa é caracterizada como clima temperado, onde as condições climáticas favorecem o equilíbrio térmico dos animais, pois o calor corporal pode ser mais facilmente dissipado em razão da temperatura ambiente inferior à temperatura

interna do animal. Como o Brasil é considerado um país de clima tropical, esses animais passam a enfrentar uma situação para a qual não são adaptados, e os efeitos do ambiente tropical provocam alterações nas reações fisiológicas (MEDEIROS et al., 2007).

A raça Anglo-Nubiana, é uma raça anglo-africana que apresenta características morfológicas de pelame que possibilitam uma maior adaptação aos ambientes tropicais, tais como: pelos mais curtos, pelame colorido e a cor da pele escura que fornecem uma maior proteção contra radiação solar, em comparação aos animais da raça Saanen, que possuem um pelame branco, porém, com maior espessura da capa de pelame, maior comprimento médio dos pelos e a cor da pele e das mucosas rosadas (MEDEIROS et al., 2007, 2008, GAYÃO 1993).

O pelame interfere diretamente nas trocas de calor sensível, pois ele constitui uma barreira à passagem do fluxo de energia, devido ao isolamento proporcionado pela estrutura física das suas fibras e pela camada de ar aprisionada entre elas. Assim, para dissipar a energia térmica produzida pelo metabolismo e a recebida do ambiente, o animal pode recorrer à evaporação ou estocar a energia térmica até um certo limite, conseqüentemente aumentando a temperatura corporal (SILVA, 2000; OLIVEIRA, 2004).

Naturalmente, uma redução no consumo de energia, o qual não seria suficiente para cobrir as necessidades diárias, combinada com o aumento do gasto energético para manutenção que pode aumentar em 30% devido ao estresse térmico (NRC, 2007) reduz o balanço energético, aumentando suas perdas e explica parcialmente por que os animais perdem quantidades significativas de peso durante o estresse térmico severo (RHOADS et al., 2009). Isso pode ser observado de acordo com os valores obtidos de ER, onde foi observada uma diminuição linear quando os animais passaram da temperatura de 20 para 35°C, chegando a ser negativo para os animais da raça Saanen. Tipicamente, os animais retêm energia como gordura e (ou) proteína quando consumo de energia metabolizável excede as necessidades imediatas, porém essa energia retida é mobilizada quando a demanda do animal é maior do que a energia disponível da ração.

Para avaliar a PC e a PCJ, foi utilizado a ferramenta de modelo de regressão segmentada chamado *Broken line*, onde é determinado o chamado “*Break-point*” –

ponto de quebra. O ponto de quebra é considerado como o nível ideal por exemplo, de um nutriente necessário para o máximo ganho de peso de uma espécie (PORTZ et al., 2000). No caso deste estudo, utilizamos esta ferramenta afim de fixar o ponto médio de quebra (20° C) verificando se o comportamento (inclinação da reta) diferia acima ou abaixo de 20°C.

A partir da análise do *Broken Line*, pode-se observar que a PC aumentou tanto na temperatura de 10°C quanto na de 35°C, porém utilizando 20°C como ponto médio, observou-se que a medida que a temperatura aumentava, a PC aumentava 7,9 kJ/kg ^{0,75} PV. De acordo com Church, (1988), animais que se encontram acima da temperatura crítica superior, utilizarão a energia para dissipar mais calor para que sua temperatura corporal não se eleve muito, em condições quentes, também pode haver ganho de calor do ambiente, tais como radiação solar direta ou indireta, radiação de onda longa, condução e convecção. A manutenção da homeostase, representa alto custo energético, e em temperatura elevada, isso se torna ainda mais intenso, elevando a demanda energética e produção de calor pelo mesmo (MAIORKA et al., 2002; MARCHINI et al., 2009). Já quando os animais se encontram em estresse por frio, abaixo de 20° C a produção de calor tende a aumentar, fazendo com que haja uma conservação do calor para que os animais possam manter sua temperatura corporal.

As diferenças obtidas nos valores de metabolismo basal neste trabalho foram menores quando os animais estavam na temperatura ambiental de 35°C, havendo uma diminuição da PCJ de 8,7 kJ/kg ^{0,75} PV a medida em que aumentava um grau de temperatura. Essa diferença pode ter sido relacionada com a ativação de mecanismos termorreguladores de conservação de energia relacionados ao estresse térmico que resultam de alterações na taxa de metabolismo basal (NRC,1981).

Mensurações quantitativas de produção de gases na respiração têm sido amplamente utilizado na calorimetria indireta para estimativa da PC nos animais. No entanto, pouca atenção tem sido dada ao uso de dados de calorimetria indireta para estimar a oxidação quantitativa do substrato em todo o corpo do animal (FERNANDEZ et al., 2012). Nos ruminantes, a produção total de CO₂ vem da oxidação dos nutrientes e do processo de fermentação, de modo que é necessária

uma separação para calcular a energia proveniente da oxidação dos substratos (Chwalibog et al., 1997). Os valores de OXG obtidos neste trabalho foram menores quando os animais se encontravam a 20°C e aumentaram a 35°C. Chwalibog et al, 1997, explica que os valores de OXCHO e OXG são diretamente dependentes do nível de fermentação e IEM. Neste estudo, devido à baixa IMS e consequentemente, baixa IEM dos animais sob 35°C, provavelmente induziu à mobilização de suas reservas lipídicas, promovendo uma maior produção de calor relativa a OXG. Em relação a contribuição desses nutrientes na PCx, a OXP apresentou diferença significativa, com menores valores em relação a OXG e OXCHO. Esses cálculos, baseados na calorimetria indireta, podem ser um valioso método de referência quando se quer saber a "verdadeira" oxidação do substrato (CHWALIBOG et al, 1997).

5. CONCLUSÃO

As cabras da raça Saanen e Anglo-Nubiana são capazes de manter a homeostasia em ambientes entre 10 e 35°C. Porém a raça que mostrou uma melhor adaptação ao calor, foi a raça Anglo-Nubiana, por ser uma raça mais adaptável a condições adversas de calor. Acima de 20°C, as cabras tendem a diminuir a produção de calor em jejum, como uma tentativa de conservação de energia em ambientes quentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-DAWOOD, A. TOWARDS Heat Stress Management in Small Ruminants – A Review. **Annals of Animal Science**, 17(1), pp. 59-88. Retrieved 5 May. 2017.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international**. 18th Ed. Gaithersburg, Md, Current through revision 2. 2007.

BLAXTER, K. L. **The Energy Metabolism of Ruminants**. London: Hutchinson. 1962.

BROUWER, E., Report of sub-committee on constants and factors. In: Blaxter, K.L. (ed.), **3rd Symposium Energy Metabolism**. EAAP Publ., London, UK. 441-443. 1965.

CENA, K.; MONTEITH, J.L. Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. **Proceedings of the Royal Society London Biological Sciences**, v. 188, n. 1, p. 413-423, 1975.

CHWALIBOG, A., TAUSON, A.H., THORBEEK, G. Quantitative oxidation of nutrients in growing calves. **Z. Ernährungswiss**, v36, p313–316, 1997.

CHURCH, D. C., G. E. Smith, J. P. Fontenot, and A. T. Raison. Water metabolism and requirements. In **Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants**, vol. 2 (Nutrition). O&B Books, Corvallis, Oreg. 1974.

CONRAD, J.H., Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: Yousef, M.K. (Ed.), **Stress Physiology in Livestock**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A., Place, Corvallis, OR 97330, USA. 1985.

DIAS, R. S.; PATINO, H. O.; LÓPEZ, S.; PRATES, E.; SWANSON, K. C.; FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility, and digesta passage kinetics in steers fed oat hay at restricted and ad libitum intakes. **Journal of Animal Science**, Champaign, V. 89, P. 1873-1880, 2011.

DMI'EL, R.; ROBERTSHAW, D. The control of panting and sweating in the black Bedoin goat: A comparison of two modes of imposing a heat load. **Physiology Zoology**. v.56, n. 3, p.404-411, 1983.

DOREAU, M.; MICHALET-DOREAU, B.; GRIMAUD, P.; ATTI, N.; NOZIERE P. Consequences of underfeeding on digestion and absorption in sheep. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v. 49, p. 289-301, 2003.

DOREAU, M.; MICHALET-DOREAU, B.; BECHET, G. Effect of underfeeding on digestion in cows. Interaction with rumen degradable N supply. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 88, p. 33-41, 2004.

FAHMY, S., **Effect of crossing Romanov with Rahmani sheep on some physiological and productive performance**. M.Sc. thesis. Faculty of Agriculture, Al-Azhar University, Cairo, Egypt, 1994.

FERNANDEZ, C.; LOPEZ, M.G.; LACHICA, M., Heat production determined by the RQ and CN methods, fasting heat production and effect of the energy intake on substrates oxidation of indigenous Manchega sheep. **Animal Feed Science and Technology** 178, 115-119. 2012b

FERREL, C. L. Contribution of visceral organs to animal energy expenditures. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. Suppl. 3, p. 23-34, 1988.

GAYÃO, A. L. B. de A. **Efeito do estresse térmico sobre a taxa metabólica e o ganho de peso de cabritos Saanen**. 1993. 69 f. Tese (Mestrado)- Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1993.

GRAHAM, N. MCC., BLAXTER, K. L. & ARMSTRONG, D. G. PubZsEur. Ass. **Animal Production** no. 8, p. 157, 1958.

HABEEB, A.A., MARAI, I.F.M., KAMAL, T.H., Heat stress. In: Philips, C., Piggens, D. (Eds.), **Farm Animals and the Environment**. C.A.B. International, pp. 27–47. 1992.

HAQUE, N. et al. Metabolizable energy requirements for maintenance of pashmina producing Chegu goats. **Small Ruminant Research**, v. 27, p. 41-45, 1998.

HELAL, A. et al. Effects of acclimatization on energy expenditure by different goat genotypes. **Livestock Science**, n. 127, p. 67-75, 2012.

JOUBERT BORGES DE MORAES, **TERMORREGULAÇÃO E ADAPTABILIDADE CLIMÁTICA DE CAPRINOS NO SEMIÁRIDO PIAUIENSE**. Dissertação – UFPI – Piauí, 2010.

KOLB, E. **Fisiologia veterinária**. Zaragoza: Acríbia, p. 595 e 718. 1974.

LIMA, Ana Rebeca Castro et al . Effects of feed restriction and forage:concentrate ratio on digestibility, methane emission, and energy utilization by goats. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa , v. 45, n. 12, p. 781-787, 2016 .

LU, Effects of heat stress on goat production. **Small Ruminant Research**, Oklahoma, v. 2, p.151-162, 1989

MAIA, A.S.C.; GEBREMEDHIN, K.G.; NASCIMENTO, S.T.; CARVALHO, M.D.; SIMÃO, B.R.; CAMERRO, L.Z.; CHIQUITELLI NETO, M.: Development of facial masks for indirect calorimetry studies for livestock., ASABE paper n. 141897355. In: ASABE and CSBE/SCGAB **Annual International Meeting**. ASABE, St Joseph, Mich. 2014.

MAIORKA, A., BOLELI, I.C., MACARI, M. Desenvolvimento e reparo da mucosa intestinal. In: MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. (ed.). **Fisiologia Aviária Aplicada a frangos de corte**. 2ed. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, p. 113-120. 2002.

MARAI, I.F.M.; EL-DARAWANY, A.A.; FADIEL, A. et al. Physiological traits as affected by heat stress in sheep- A review. **Small Ruminant Research**, v.71, p.1-12, 2007.

MARAI, I.F.M., AYYAT, M.S., ABD EL-MONEM, U.M., Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation, under Egyptian conditions. **Tropical Animal Health Production**, v33, 457–462. 2001.

MARAI, I.F.M., SHALABY, T.H., BAHGAT, L.B., ABDEL-HAFEZ, M.A., Fattening of lambs on concentrates mixture diet alone without roughages or with addition of natural clay under subtropical conditions of Egypt. Physiological reactions. In: **Proceedings of International Conference on Animal Production & Health**, Dokki, Cairo, Egypt, 1997c.

MARCHINI, C.F.P., SILVA, P.L., NASCIMENTO, M.R.B.M. et al. Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.2, p.491-497, 2009.

MARTINS JÚNIOR, L. M. **Adaptabilidade das raças Boer e Anglo-nubiana as condições climáticas da Região Meio-Norte do Brasil**. 91f. 23 Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 24 2004.

MEDEIROS, L.F.D. et al. Reações fisiológicas de caprinos das raças Anglo-nubiana e Saanen mantidos à sombra, ao sol e em ambiente parcialmente sombreado. **Boletim da Indústria Animal**, v.65, n.1, p.7-14, 2008.

MEDEIROS, L.F.D. et al. Avaliação de parâmetros fisiológicos de caprinos SPRD (sem padrão racial definido) pretos e brancos de diferentes idades, à sombra, no município do Rio de Janeiro. **Boletim da Indústria Animal**, v.64, n.4, p.277-287, 2007.

MONTY, D.E., KELLY, L.M., RICE, W.R., Acclimatization of St. Croix, Karakul and Rambouillet sheep to intense and dry summer heat. **Small Ruminant Research**. 4 (4), 379–392. 1991.

NEIVA, J. N. M.; TEXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. M. P.; MOURA, A. A. N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtores e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 668-678, 2004

NARDON, A., RONCHI, B., VALENTINI, A., Effects of solar radiation on water and food intake and weight gain in Sarda and Comisana female lambs. In: **Animal Husbandry in Warm Climates**, vol. 55. EAAP Publication, pp. 149–150. 1991.

NRC, **Nutrition Requirements of Goats**. National Academy Press, Washington, DC, pp. 2–3. 1981.

NRC **Nutrient requirements of small ruminants, sheep, goats, cervids, and new world camelids**. National Academy Press, Washington, DC, 384 pp. 2007.

PORTZ, L.; Dias, C.T.S.; Cyrino, J.E.P. A broken-line model to fit fish nutrition requirements. **Scientia Agricola** 57: 601-607. 2000.

REECE, W.O. **Fisiologia de animais domésticos**. São Paulo: Roca, p.137-254. 1996.

RHOADS, M.L., R.P. RHOADS, M.J. VAN BAALE, R.J. COLLIER, S.R. SANDERS, W.J. SHWARTZ, G., M.L. RHOADS, M.J. VANBAALE, R.P. RHOADS, L.H. BAUMGARD. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**. v92, p935-942.2009.

ROCHA, R.R.C.; COSTA, A.P.R.; CARDOSO, F.S. MACHADO JUNIOR, A. A. N.; SÁ JUNIOR, R. P.; BRANDÃO, A. A. C.; MARANHÃO, M. A. A. Temperatura retal das raças Azul e Saanen no período chuvoso em Teresina-PI. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA FAPEPI, Teresina, **Anais...** Teresina: FAPEPI, 2005a.

SILANIKOVE, N., Effect of imposed reduction in energy intake on resting and fasting heat production in the black Bedouin goat. **Nutrition Reports Internacional** 35, 725–731. 1987.

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

SILVA, G. A.; SOUSA, B. B.; ALFARO, C. E.; ALFARO, C. E. P.; AZEVEDO NETO, J.; AZEVEDO, S. A.; SILVA, E. M. N.; SILVA, A. K. B.; SILVA, R. M. N. Efeito da época do ano e do turno sobre os parâmetros fisiológicos de caprinos no semi-árido paraibano. In: reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004.

SILVA, F.L.R.; ARAÚJO, A. M. Desempenho produtivo em caprinos mestiços no Semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 29 (4), p. 1028-1035, 2000.

SOUZA, B.B.; BRITO SEGUNDO, E.A.; SANTOS, J.R.S.; SOUZA, W.H.; CEZAR, M.F.; CAMARGO, C.A.G. Avaliação da adaptabilidade de ovinos de diferentes genótipos às condições climáticas do semi-árido através de respostas fisiológicas e gradientes térmicos. In: congresso pernambucano de medicina veterinária, seminário nordestino de caprinoovinocultura, 6. **Anais...** Recife, p. 281-282, 2003.

HORNICK, J. L.; VAN EENAEME, C.; G'ERARD, O. Mechanisms of reduced and compensatory growth. **Domestic Animal endocrinology**, v. 19, p. 121-132, 2000.

THOMPSON, G.E., Respiratory system. In: Young, M.K. (Ed.), **Stress Physiology in Livestock**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA, pp. 155–162. 1985.

VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583–3590, 1991.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminants**. 2.ed. Ithaca: Cornell University, 476p, 1994.

WENIGER, J.H., STEIN, M., Influence of environmental temperature and humidity on nutrient digestibility of sheep. 1. Aims, **experimental procedure and digestibility**. *Zuchtungskunde* 64 (2), 148–155, 1992.

WEST, J. W. Nutritional strategies for managing the heat stressed dairy cow. **Journal of Animal Science**. v77(Suppl.2), p21–35, 1999.

CAPITULO 4. IMPLICAÇÕES

O conhecimento sobre o efeito da temperatura na produção de calor em cabras é essencial para que se possa explorar com mais detalhes como acontece a partição de energia nesses animais em diferentes condições de temperatura, e nós focamos em avaliar o efeito dessa temperatura na partição energética em duas raças caprinas bastante distintas.

A maior contribuição dos resultados obtidos nesse estudo foi que conseguiu-se adaptar uma nova metodologia aos estudos de respirometria com caprinos, e a partir dela encontrar o período ideal de jejum de cada raça, como também o impacto de diferentes temperaturas na produção de calor, parâmetros fisiológicos e balanço energético desses animais.

Outra contribuição deste estudo foi em relação a metodologia utilizada, onde conseguimos encontrar aspectos relevantes que necessitam de mudanças para um próximo estudo, será necessário ser mais cauteloso em relação a calibração dos equipamentos, bem como da adaptação dos animais ao mesmo.

Esse estudo é considerado um trabalho pioneiro incluindo a metodologia utilizada, bem como as variáveis encontradas, e ainda estudando duas raças distintas da caprinocultura consideradas mundialmente importantes na produção.

Em suma, em relação à contribuição no campo das exigências de energia de cabras, ainda é necessário avaliar a relação entre fatores do impacto de diferentes alimentos e explorar mais raças diferentes para entender melhor a eficiência do uso e desenvolver resultados mais robustos que irão contribuir mais ainda em vários estudos futuros de exigências.

Esperamos que nossas descobertas possam contribuir para melhorar a precisão de recomendações nutricionais que podem trazer vantagens na economia e meio ambiente para os sistemas de produção.