

TIAGO MARTINS DE OLIVEIRA ALVES

**EFICIÊNCIA DE USO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL POR CABRAS EM
LACTAÇÃO ALIMENTADAS EM DIFERENTES PLANOS NUTRICIONAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

A474e
2017
Alves, Tiago Martins de Oliveira, 1991-
Eficiência de uso da energia metabolizável por cabras em
lactação alimentadas em diferentes planos nutricionais / Tiago
Martins de Oliveira Alves. – Viçosa, MG, 2017.
ix, 38f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Caprinos - Nutrição animal. 2. Caprinos - Lactação.
3. Metabolismo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação em
Zootecnia. II. Título.

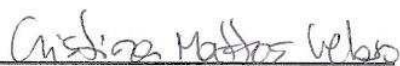
CDD 22 ed. 636.39

TIAGO MARTINS DE OLIVEIRA ALVES

EFICIÊNCIA DE USO DA ENERGIA METABOLIZÁVEL POR CABRAS EM LACTAÇÃO
ALIMENTADAS EM DIFERENTES PLANOS NUTRICIONAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 10 de fevereiro de 2017.



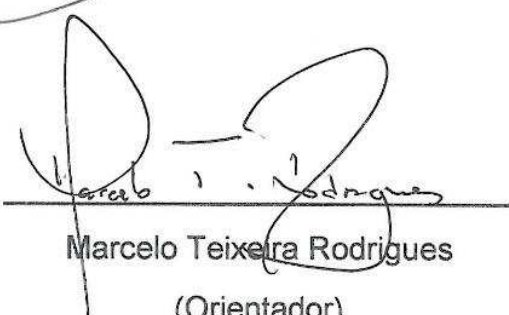
Cristina Mattos Veloso
(Coorientadora)



Leonardo Siqueira Glória
(Coorientador)



Ricardo Augusto de Mendonça Vieira



Marcelo Teixeira Rodrigues
(Orientador)

DEDICO

Aos meus pais, alicerces de tudo que construo.

À Vovó Sirvalina, símbolo de valorização do conhecimento.

A todos os profissionais atuantes na produção rural, em especial agricultores e pecuaristas, que se doam diariamente, com muito esforço, à geração de alimentos.

“Nós não vemos as coisas como são; nós as vemos como somos.”

Anaïs Nin

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar ininterruptamente pelo caminho da vida e permitir a todos que se dedicam à ciência entenderem uma pequena fração de suas criações.

Aos meu pais, Irene e Renato, pelo sacrifício e apoio incondicional em toda essa jornada até aqui.

À minha namorada, Bruna, pelo companheirismo e pela capacidade de ouvir e suavizar momentos de angústia.

À Universidade Federal de Viçosa, segunda casa de todos seus estudantes, responsável por nos proporcionar imensurável crescimento pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

Ao professor Marcelo Teixeira Rodrigues, pela oportunidade de aprender um pouco mais sobre os ruminantes e por sua orientação. Exemplo de integridade, inteligência e amor à ciência.

Aos meus coorientadores: Leo, pelo fundamental auxílio na estatística, e Cristina, pela imediata disposição em contribuir.

Aos colegas de pós-graduação: Larissa Câmara, pelo auxílio na obtenção dos dados experimentais. Erica Schultz e Thaís Costa, pela força em variadas fases do trabalho, além da motivação. Flávia Sales, pela boa vontade em tirar dúvidas institucionais frequentes. Rafael Marzall, pelas ideias. E aos demais que colaboraram de alguma forma.

Aos funcionários do Setor de Caprinocultura, pelo apoio diário na condução do experimento.

A todos os estagiários, em especial Ranyeri Souza e Júlia Fernandes, pelo trabalho bem realizado e exemplar compromisso demonstrado.

Ao professor Ricardo Vieira, da UENF, e ao Tadeu Oliveira, pelo auxílio na elaboração inicial do trabalho.

À Dona Valdete, Júlio e Pedrinho, pelo acolhimento em Viçosa.

Aos amigos: Gustavo, Helô, Vinicio, Daniel e Rodrigo, companheiros de longa data no passado e futuro.

À minha irmã, Thatiane, e todos os demais familiares que apoiaram.

A todos que acreditaram, junto comigo, na realização desse sonho.

BIOGRAFIA

TIAGO MARTINS DE OLIVEIRA ALVES, filho de Irene Martins de Oliveira Alves e Renato de Oliveira Alves, nasceu em Caratinga, Minas Gerais, em 18 de fevereiro de 1991.

Em agosto de 2014, graduou-se em Zootecnia, pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2015, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Produção e Nutrição de Ruminantes, submetendo-se à defesa de dissertação em 10 de fevereiro de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Modelos matemáticos	2
2.2. Aplicação de modelos matemáticos na nutrição animal	3
2.3. Dietas de custo mínimo	3
2.4. Manutenção e metabolismo basal	4
2.5. Valor nutritivo dos alimentos	5
2.5.1. Consumo e digestibilidade	5
2.5.2. Metabolizabilidade	6
2.6. Partição da energia dos alimentos	7
2.6.1. Energia bruta	7
2.6.2. Energia digestível	7
2.6.3. Energia metabolizável	7
2.6.4. Energia líquida	8
2.7. Plano nutricional	9
2.8. Eficiência de utilização da energia	9
2.8.2. Partição da energia metabolizável nos atuais sistemas	11
2.9. Referências	12
CAPÍTULO 1	15
Efeito do plano nutricional sobre a metabolizabilidade de dietas e eficiência energética de caprinos	15
Introdução	19
Material e Métodos	20
Resultados	26
Discussão	28
Conclusão	31
APÊNDICE	34

RESUMO

ALVES, Tiago Martins de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2017. **Eficiência do uso da energia metabolizável por cabras em lactação alimentadas em diferentes planos nutricionais.** Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues. Coorientadores: Cristina Mattos Veloso e Leonardo Siqueira Glória.

Objetivamos avaliar o efeito do plano nutricional (L) sobre a digestibilidade e metabolizabilidade (q_m) de dietas e sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) e lactação (k_l). Os tratamentos consistiram de EM = 1 Mm; 1,63 Mm; 2,31 Mm; 2,97 Mm, em que EM caracteriza o consumo de energia metabolizável e Mm o consumo de energia metabolizável para manutenção. Utilizamos 36 cabras pardas alpinas adultas, distribuídas ao acaso, sendo seis no tratamento 1 Mm e dez em cada um dos demais tratamentos. O consumo de EM, e as quantidades de fezes, urina e leite produzidas diariamente foram medidas e analisadas por um modelo linear misto. O plano nutricional corrigido (L_c) foi obtido com base na digestibilidade, perda urinária e perda estimada de metano. O valor k_m foi estimado com base em q_m e o valor k_l estimado pela relação entre a energia líquida de lactação (EL_l) e a diferença entre Mm e EM. A elevação do L provocou aumento linear ($P < 0,05$) no consumo da matéria seca (CMS) e matéria orgânica (CMO) e de todos os nutrientes (CPB, CFDN, CCNF, C_{cinzas}), exceto do extrato etéreo (CEE). Com exceção do extrato etéreo (DEE), todos os demais nutrientes digestíveis aumentaram linearmente com a elevação do L ($P < 0,05$). O L_c aumentou linearmente ($P < 0,05$) de acordo com L, contudo, não atingiu os valores preditos para os tratamentos 2.31 Mm e 2.97 Mm, para um intervalo de confiança de 95% (IC 95%). A metabolizabilidade (q_m) das dietas foi afetada de forma linear ($P < 0,05$) pelo aumento do plano nutricional; o maior valor foi obtido no tratamento 1 Mm. A eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_l) não foi afetada pelos tratamentos ($P > 0,05$). O mesmo comportamento foi observado na eficiência bruta de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_{ml}). O consumo de energia metabolizável em função do peso metabólico ($EM/kg^{0,75}$) aumentou linearmente

de acordo com L ($P < 0,05$). A produção de leite (PL) obtida sofreu efeito linear positivo da elevação do L, contudo, em todos os tratamentos, ficou abaixo dos valores utilizados na formulação das dietas (IC 95%). O aumento no plano nutricional reduz a metabolizabilidade de dietas e não influencia na eficiência bruta e líquida de utilização da energia metabolizável no intervalo avaliado.

ABSTRACT

ALVES, Tiago Martins de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2017. **Efficiency of the use of metabolizable energy by lactating goats fed on different nutritional levels.** Adviser: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-advisers: Cristina Mattos Veloso and Leonardo Siqueira Glória.

Our objective was to evaluate the effect of the nutritional plan (L) on the digestibility and metabolizability (q_m) of diets and on the efficiency of use of metabolizable energy for maintenance (k_m) and lactation (k_l). Treatments consisted of ME = 1Mm; 1.63Mm; 2.31Mm; 2.97Mm, where ME characterizes the intake of metabolizable energy and Mm the intake of metabolizable energy for maintenance. We used 36 adult alpine goats randomly distributed, 6 in the 1Mm treatment and 10 in each of the other treatments. The intake of ME, and the quantities of feces, urine and milk produced daily were measured and analyzed by a linear mixed model. The corrected nutritional plan (L_c) was obtained based on digestibility, urinary loss and simulated loss of methane. The value k_m was estimated based on q_m and the value k_l estimated by the relation among net energy lactation (NEI) and the difference among Mm and ME. The increase of L resulted in a linear effect ($P < 0.05$) on the dry matter intake (DMI), organic matter intake (OMI) and all nutrients (CP, NDF, FNC, Ash), except for crude fat). With the exception of crude fat (CF), all other digestible nutrients had a positive linear effect according to the L elevation ($P < 0.05$). L_c increased linearly ($P < 0.05$) according to the L, however, did not reach predicted values for treatments 2.31Mm and 2.97Mm, for a 95% confidence interval (95% CI). The metabolizability (q_m) of the diets was linearly affected ($P < 0.05$) by the increase in nutritional level; the highest value was obtained in the treatment 1 Mm. The net efficiency of use of the metabolizable energy for milk production (k_l) was not affected by the treatments ($P > 0.05$). The same behavior was observed to the gross efficiency of use of metabolizable energy for milk production (k_{ml}). The metabolizable energy intake according to the metabolic weight ($ME / kg^{0.75}$) was linearly affected according to the L ($P < 0.05$). The milk yield (Y_m) obtained had a positive linear effect of L elevation, however, in all treatments, it was below the values used in the formulation of the diets (95% CI). The increase in the nutritional plan reduces the metabolizability of diets and

does not influence the gross and net efficiency of use of the metabolizable energy in the evaluated range.

1. INTRODUÇÃO

A criação de caprinos apresenta-se como uma notável fração do agronegócio mundial. Sua importância vai desde a produção de alimentos, como carne, leite e derivados, até o fornecimento de matérias primas como o couro. Além disso, seus benefícios sociais e econômicos são inestimáveis para regiões em desenvolvimento, contribuindo na geração de renda na agricultura familiar e emprego no campo (Almeida Ribeiro, 1997). Tais características fazem com que se busque, cada vez mais, a otimização da alimentação dos caprinos.

O cálculo de dietas para animais de produção, entre eles os caprinos, representa problema para os profissionais que atuam na área devido à sua complexidade. Essa dificuldade estimulou o desenvolvimento de numerosas pesquisas e ferramentas computacionais que auxiliam na escolha da melhor combinação de alimentos a se utilizar, para atender a demanda dos animais por nutrientes, de forma rentável ao criador (Vieira et al., 2000; Henrique et al., 2011). Vários modelos foram criados e aperfeiçoados para representar os sistemas de alimentação dos ruminantes de interesse zootécnico (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 1996; AFRC, 1998; NRC, 2007).

Além dos sistemas mencionados, foi desenvolvido o Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS, um modelo matemático com base mecanicista para avaliação de dietas e desempenho de bovinos leiteiros e de corte (Fox et al., 2004). Todos estes modelos tornaram-se mais complexos ao longo do tempo devido ao acúmulo de informações científicas acerca das relações entre animal, alimento e ambiente e a inevitável incorporação de variáveis, cuja interpretação matemática é baseada em funções não lineares. Além da constante evolução da computação, que resultou em potencialização da capacidade de processamento de dados. Desta forma, busca-se o aprimoramento contínuo dos mesmos para acomodar novos progressos na área de nutrição de ruminantes (Lanzas et al., 2007).

As predições baseadas em modelos precisam ser avaliadas em experimentos de alimentação controlada, objetivando avaliar a acurácia dos modelos. Alguns dos parâmetros mensuráveis para avaliação de um modelo

são: consumo e digestibilidade das dietas, e a partição da energia realizada pelo animal. Os dados observados nestes experimentos podem ser úteis na detecção de falhas na predição do consumo e aproveitamento da energia. Portanto, determinar as tendências destes parâmetros é o primeiro passo na avaliação de modelos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Modelos matemáticos

Define-se um modelo como uma representação simplificada, abstrata e idealizada de determinada realidade (Vieira et al., 2000). Qualquer tipo de modelo, por definição, deve basear-se em argumentações ordenadas, lógicas e justificáveis, pressupostas a partir do conhecimento científico existente sobre o assunto em questão. Um modelo matemático nada mais é do que um conjunto de equações que representam o comportamento de um fenômeno, cuja resolução implica a predição de mudanças que podem ocorrer na realidade; é a consequência ou o resultado direto de empreendimentos analíticos para a abstração e definição do mundo real, em termos matemáticos precisos (Mertens, 1977).

Os modelos matemáticos são essencialmente classificados como 'deterministas' ou 'estocásticos', 'dinâmicos' ou 'estáticos' e 'empíricos' ou 'mecanicistas'.

Modelos deterministas são baseados na pressuposição de que as soluções obtidas derivam de equações ou funções exatas. Entretanto, é sabido que dados biológicos frequentemente têm elevado grau intrínseco de variabilidade.

Os modelos estocásticos (Fox et al., 2004) valem-se de relações estatísticas no cômputo das variações, tendo estas a amplitude da variância de cada um de seus componentes. Modelos estáticos ignoram o efeito do tempo, mas modelos dinâmicos descrevem relações tempo-dependente dos fatores que tenham esta característica (Russell, 2002).

Modelos empíricos são construídos a partir da descrição da observação de dados, os quais são ajustados a uma equação, ou conjunto de equações

matemáticas. Já os modelos mecanicistas, também denominados ‘teóricos’, buscam promover a descrição de um sistema com a compreensão dos fatores causais concernentes com os mecanismos envolvidos no sistema em estudo. Estes modelos são construídos através do exame da estrutura do sistema, compartimentalizando e analisando o comportamento de todo o sistema em termos dos componentes individuais e das interações entre eles (Dijkstra & France, 1995).

2.2. Aplicação de modelos matemáticos na nutrição animal

Os modelos matemáticos na nutrição de ruminantes são ferramentas valiosas para estimar as exigências do animal em condições específicas dentro de um sistema de produção. Fornecem informações preciosas utilizadas no processo de tomada de decisões e, dessa forma, se relacionam diretamente com melhorias na eficiência produtiva do sistema (Tedeschi et al., 2005). Uma vez que os preços dos alimentos são conhecidos antes da compra, programas de formulação de rações, construídos com base em modelos matemáticos capazes de estimar o desempenho, possibilitam projetar o custo e avaliar a viabilidade econômica da atividade (Lanna et al., 1999).

Os principais modelos utilizados no país, para pequenos ruminantes, são: o britânico (AFRC, 1993, 1998), os americanos (NRC, 2007) e CNCPS (Fox et al., 2004), o francês (INRA, 1978) e o australiano (CSIRO, 2007).

2.3. Dietas de custo mínimo

Com a crescente competição entre produtos no mercado mundial, torna-se cada vez mais necessária a elevação da eficiência de produção na pecuária. Nesse cenário, a busca pela formulação de dietas que atendam às exigências nutricionais dos animais, com o mínimo custo, já faz parte do cotidiano. Dietas de custo mínimo, baseadas em modelos de programação linear, têm sido formuladas para a alimentação de ruminantes domésticos (AFRC, 1993). Entretanto, os modelos matemáticos modernos, utilizados na nutrição animal, são essencialmente não-lineares para muitas variáveis (Hertzler, 1988). A evolução da computação e a disseminação de planilhas comerciais mundo

afora facilitaram a utilização da programação não-linear e de complexos modelos, relacionando requisitos de nutrientes com valor nutritivo de alimentos, na formulação de dietas (Tedeschi et al., 2008). Todavia, *softwares* programados profissionalmente oferecem mínima ou nenhuma possibilidade de modificação do algoritmo de resolução. Tal fato estimula a criação de planilhas *ad hoc*, as quais permitem ao usuário agregar informações de diferentes modelos. Por mais que a montagem completa dessas planilhas seja laboriosa, sua ampla disponibilidade e a facilidade de adicionar restrições na programação, motivam sua aplicação (Jardim et al., 2013).

2.4. Manutenção e metabolismo basal

A partir deste ponto, valores absolutos (MJ/dia) serão expressos em letras maiúsculas, por exemplo energia bruta (EB). Enquanto concentrações (MJ/kg), serão expressas em letras maiúsculas entre colchetes, por exemplo ([EB]).

O conceito nutricional de manutenção não é o mesmo que metabolismo basal, pois, na manutenção, o animal não está em jejum. A energia metabolizável para manutenção (Mm, MJ/dia) é definida como a taxa de produção de calor de um animal mantido em um ambiente termoneutro quando a taxa de consumo de energia metabolizável é exatamente o saldo da taxa de perda de calor. Logo, a produção de calor (PC) correspondente à Mm engloba a produção de calor do animal alimentado, ou seja, considera o incremento calórico (Henrique et al., 2005). Já a energia líquida para manutenção (ELm, MJ/dia) é obtida do animal em jejum, ou seja, sem a produção de calor vinda do incremento calórico. A EMm é sempre superior à ELm, pois o processo de comer, digerir e metabolizar o alimento requer energia que é liberada do animal como calor. Os principais contribuintes para produção de calor em um animal recebendo dietas em nível de manutenção podem estar relacionados ao processamento da dieta pelo animal, como o trabalho realizado para mastigação do alimento, movimento do trato digestório, calor de fermentação e incremento calórico associado à transformação dos nutrientes. Essas fontes de calor contribuem para manutenção da temperatura corporal. Outras atividades também requerem energia, tais como o processo de circulação, respiração, locomoção

e renovação de tecidos (Lawrence et al., 2012). A ELM pode sofrer influência de vários fatores, como: idade, peso, raça, espécie, sexo, estado fisiológico, nutrição previamente recebida e condições ambientais (NRC, 1996).

2.5. Valor nutritivo dos alimentos

2.5.1. Consumo e digestibilidade

O controle da ingestão está em função dos mecanismos de respostas imediatas e em longo prazo (Mertens, 1987). O mecanismo de resposta em longo prazo pode resultar em aumento ou diminuição da ingestão de alimento. De acordo com Church (1988), podemos relacionar o consumo de matéria seca com nível de produção, exigência energética, estado fisiológico e efeito ambiental. O mecanismo de resposta imediata refere-se aos fatores que influenciam o início e término da ingestão em cada refeição, os quais operam pela alteração nos centros da fome e saciedade, localizados no cérebro, por intermédio de receptores nervosos e neurônios aferentes, que transmitem impulsos oriundos do trato digestório. Este mecanismo está diretamente relacionado ao grau de distensão do retículo-rúmen, osmolaridade da dieta e presença de ácidos graxos voláteis e hormônios (Van Soest, 1994).

A avaliação do valor nutritivo dos alimentos é feita com base em três componentes: digestibilidade, consumo e eficiência energética. Desta forma, assume-se que estes componentes são variáveis entre alimentos e que as respostas animais são comparativamente reproduzíveis. Desses componentes, a digestibilidade apresenta-se como o menos laborioso de se determinar e, frequentemente, é relacionada com o consumo e a eficiência. Variações na digestibilidade podem levar o animal a consumir mais alimento de menor qualidade. Isso limita a quantidade de energia ingerida, uma vez que estes alimentos tendem a ter menor taxa de digestão (Van Soest, 1994).

O melhor método para se mensurar a digestibilidade de um alimento é pela diferença entre o ingerido e o excretado pelo animal. Se I representa a quantidade de um nutriente alimentar consumido por dia e F a quantidade de um nutriente correspondente excretada nas fezes por dia, em seguida, por definição, $I - F$ é a quantidade do nutriente digerido por dia (Kleiber, 1961).

Contudo, a matéria fecal não contém apenas resíduos não digeridos, mas também produtos metabólicos, como bactérias e perdas endógenas do metabolismo animal. Desta forma, digestibilidade verdadeira é o balanço entre a dieta e os respectivos resíduos alimentares que escaparam da digestão e chegaram às fezes, excluindo os produtos metabólicos (Van Soest, 1994).

2.5.2. Metabolizabilidade

Especificamente no que diz respeito ao aproveitamento da energia, o ARC (1980) estabeleceu o conceito de metabolizabilidade. A metabolizabilidade da energia em manutenção é simbolizada por q_m e, em qualquer outro nível de alimentação, q_L . A q_m da energia bruta ([EB], MJ/kg) é definida pelo AFRC (1993) como a razão entre a energia metabolizável ([EM], MJ/kg) e a [EB] em um alimento, expressa da seguinte forma: $q_m = [EM] / [EB]$. A eficiência de utilização da energia metabolizável, simbolizada por k , é definida como o aumento da retenção de energia que ocorre por unidade de incremento de energia metabolizável oferecida, tendo, por isso, estreita relação com a metabolizabilidade da energia em cada alimento. A eficiência de utilização da energia metabolizável foi, então, apresentada como função linear da metabolizabilidade da energia, sendo específica quanto à função fisiológica de interesse manutenção, ganho de peso corporal, lactação etc.

É comum estimar a digestibilidade aparente da dieta usando a metabolizabilidade. Para isso multiplica-se o fator de perdas de energia urinária e gasosa. Um termo alternativo, a concentração de [EM] na matéria seca da ração ou dieta ([M/D], MJ/kg), foi proposto pelo ARC (1965), por causa da escassez de dados sobre [EB] em alimentos para ruminantes. A [M/D] está agora bem estabelecida como um método de valores de cálculo relevantes para a eficiência de utilização da [EM] para manutenção (k_m) e ganho (k_g), quando se utiliza o sistema de [EM] na prática. No entanto, o AFRC (1993) recomendou que maior precisão fosse alcançada na formulação de dietas e predição de desempenho, se a q_m fosse mais amplamente utilizada como a base para o cálculo das eficiências de utilização [EM].

2.6. Partição da energia dos alimentos

A energia contida nos alimentos pode ser expressa como [EB], energia digestível ([ED], MJ/kg), [EM], e energia líquida ([EL], MJ/kg). A maneira mais correta de expressarmos a energia útil dos alimentos é como [EL], porém, sua determinação é trabalhosa e de alto custo devido às perdas energéticas fecais, gasosas e de calor sensível e latente (Weiss, 1993).

2.6.1. Energia bruta

É o total de energia nos alimentos, medida em uma bomba calorimétrica, que tem a função de mostrar a quantidade de calorias liberada para elevar uma quantidade de água a uma temperatura específica (Lawrence et al., 2012).

2.6.2. Energia digestível

A energia digestível é definida pelo AFRC (1993) como a diferença entre a EB ingerida e a energia das fezes. O conteúdo de [ED] é estimado, então, utilizando o valor de energia de combustão da proteína (23,4 MJ/kg), carboidratos (17,6 MJ/kg) e gordura (39,3 MJ/kg), de acordo com a metodologia proposta por Maynard et al. (1979).

2.6.3. Energia metabolizável

O animal não aproveita toda energia contida no alimento. Durante a metabolização da energia digestível, ocorrem perdas de energia na urina e nos gases da fermentação. As perdas de energia nas fezes e na urina podem ser determinadas facilmente em ruminantes mantidos em gaiolas de metabolismo. Já a determinação da energia perdida como gás metano, envolve medidas quantitativas da troca gasosa e a utilização de um equipamento muito complexo e caro (Blaxter, 1962). A perda energética por meio dos gases metano e CO₂ é importante para os ruminantes, em decorrência da degradação ruminal (Lawrence et al., 2012). Quando essas perdas de energia são subtraídas da energia digestível aparente, o saldo é chamado de energia

metabolizável ou energia disponível às células dos tecidos corporais do animal, de modo que:

$$EM = ED - EU - EG \quad (1)$$

em que: EU = energia da urina; EG = energia dos gases.

A EM é fortemente correlacionada com a ED, porém é mais difícil de ser mensurada. A principal fonte de energia gasosa, gás metano, é obtida por meio da fermentação microbiana, o que resulta na produção de calor. Este calor é importante para a manutenção da temperatura corporal dos animais, mas consiste em perda de energia não calculada pela EM (NRC, 1996). Para a maioria das forrageiras e dos grãos, a proporção da EM para ED é cerca de 0,8, mas pode variar consideravelmente em função da ingestão, idade do animal e fonte dos alimentos (ARC, 1980). O consumo de energia metabolizável (EM), obtido a partir do consumo de energia digestível, é utilizado tanto para produção de calor, representando a energia utilizada para manutenção, quanto para energia retida, na forma de crescimento, produção de carne, leite e outros. Com isso, a função para determinação da energia metabolizável de manutenção e energia líquida de ganho é:

$$EM = PC + ER \quad (2)$$

Em que: PC = produção de calor; ER = energia retida.

Porém, quando a ER = 0, significa que todo o consumo de EM está sendo utilizado para manutenção, logo EM = PC e, conseqüentemente, a PC representará a energia metabolizável de manutenção.

2.6.4. Energia líquida

Subtraindo-se o incremento calórico da EM tem-se a energia líquida (EL, MJ/dia), que é efetivamente a energia disponível para o animal. O incremento calórico é a perda energética na forma de calor inerente à metabolização dos nutrientes. A vantagem do sistema de energia líquida está no fato de que essa

energia independe do tipo de dieta; os valores de energia do alimento são determinados separadamente para diferentes funções fisiológicas, isso é, manutenção, ganho, lactação e gestação.

2.7. Plano nutricional

Plano nutricional (L) é definido como a quantidade de EM consumida dividida pela quantidade necessária quando a retenção de energia é igual a zero. Isso é, a quantidade de energia metabolizável necessária à manutenção (Blaxter, 1962). O valor L é obtido pela equação a seguir:

$$L = EM/Mm \quad (3)$$

2.8. Eficiência de utilização da energia

Na produção animal, há interesse em quantificar a energia alimentar ingerida que não é aproveitada. Essa energia acaba deixando o animal na forma de excretas, gases e calor. Paralelamente, mensura-se o quanto foi realmente retido pelo animal ou utilizado nos processos de manutenção da vida. Sendo assim, denominamos eficiência energética a razão entre a energia ingerida e a energia disponível para retenção ou para manutenção (Kleiber, 1961). A eficiência energética pode ser didaticamente classificada de várias formas, de acordo com os termos da razão utilizada para calculá-la. Por exemplo, se o interesse é determinar a eficiência para manutenção, k_m (Figura 1), a razão para calculá-la seria: energia líquida de manutenção sobre o consumo de energia metabolizável suficiente para a manutenção da massa corporal. Sendo que a energia líquida de manutenção corresponde ao gasto energético de um animal em período pós-absortivo, em ambiente termoneutro, com o mínimo de atividade física possível. Enquanto a energia metabolizável corresponde à energia total contida no alimento descontadas as perdas nas fezes, urina e gases (Kleiber, 1961).

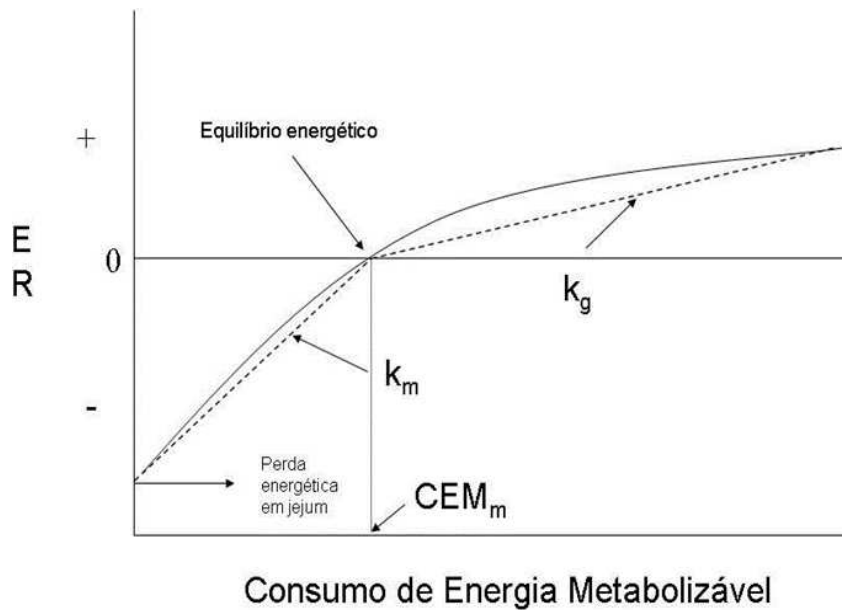


Figura 1 – Relação entre o consumo de energia metabolizável e a energia retida (ER). Adaptado do NRC (1981) .

O consumo de energia metabolizável de manutenção, utilizado na situação acima, deve ser obrigatoriamente medido no nível de ingestão de manutenção. Nessa condição, o animal não deve estar ganhando (energia retida positiva) ou perdendo massa corporal (energia retida negativa). Da mesma forma, ao se dividir o montante de energia retida, por exemplo, na forma de tecido corporal, pela diferença entre o consumo total de energia metabolizável e o consumo de energia metabolizável de manutenção M_m , obtém-se a eficiência de produção, ou mais especificamente, eficiência líquida de ganho, k_g . Essa é chamada eficiência líquida ou parcial, porque descontou-se o montante de energia metabolizável ingerida que foi utilizada para manutenção (Kleiber, 1961). Outra maneira seria dividir a energia retida pelo consumo total de energia metabolizável. Dessa forma, estaríamos determinando a eficiência bruta ou total k_{mg} de utilização da energia (Kleiber, 1961). Os primeiros sistemas de avaliação de dietas para bovinos em crescimento utilizavam as eficiências parciais de manutenção e ganho para estimar a energia líquida da dieta (Lofgreen & Garrett, 1968). Nesses sistemas, cada alimento possuía duas concentrações de energia líquida distintas: a energia líquida de manutenção e a energia líquida de ganho. Estas energias não podem ser somadas diretamente, pois são calculadas a partir de eficiências diferentes; uma para manutenção e outra para

ganho, cujos denominadores não são os mesmos. Esse artifício, utilizado na década de 60, permitiu calcular por algoritmos lineares um fenômeno de natureza não linear, pois a retenção energética, na Figura 1, em função do consumo de energia metabolizável apresenta comportamento não linear. Entretanto, ao se separar o consumo de energia metabolizável, em dois níveis, um acima e outro abaixo da manutenção, as eficiências podem ser representadas pela inclinação de duas retas, uma para cada nível de consumo (Blaxter, 1956).

2.8.2. Partição da energia metabolizável nos atuais sistemas

Conforme mencionado anteriormente, a energia metabolizável ingerida pelos animais é utilizada para dois fins: produção de calor e retenção na forma de tecidos ou produtos equação 2. Em condições em que a EM é igual à PC, a ER é igual a zero.

Contudo, a partição da PC ainda é controversa. O NRC (1981), divide essa energia em várias categorias, que, somadas, seriam iguais ao total de calor produzido pelo animal. São elas: calor basal (PCB), calor gerado por atividades voluntárias, como por exemplo a busca por alimento (PCA), calor gerado para regulação térmica (PCR), calor de digestão e absorção de alimentos (PCD), calor de fermentação de alimentos (PCF), calor de formação e excreção de resíduos (PCE) e calor relacionado à síntese de tecidos ou produtos (PCP). Simplificando, podemos agrupar PCD, PCF, PCE e PCP e denominar como incremento calórico (IC). Segundo Williams & Jenkis (2003), o IC é dividido entre componentes relacionados à manutenção (IC_m) e produção (IC_p). Seguindo esse raciocínio, em ambiente termoneutro e com ausência de atividades voluntárias, a energia metabolizável de manutenção é calculada da seguinte forma:

$$Mm = PCB + IC_m \quad (4)$$

A equação 4 nada mais é do que a EL_m , aqui denominada produção de calor basal, somada à produção de calor gerada no processo de obtenção dessa EL_m . Baseando-nos na equação acima, obtemos a eficiência de manutenção k_m :

$$Km = PCB/Mm \quad (5)$$

A partição da energia metabolizável consumida é dada pelo desdobramento da equação 2 obtendo a seguinte equação:

$$EM = Mm + ICp + ER \quad (6)$$

ou

$$EM = Mm + EMg \quad (7)$$

em que: EM_g = energia metabolizável disponível para ganho ou produção.

Logo, em situações em que o EM é igual à M_m , os demais termos se tornam nulos e o animal não acumula energia. Contudo, quando este consumo ultrapassa os valores de manutenção, podemos calcular a eficiência de retenção de energia k_g da seguinte forma:

$$kg = ER/(EM - Mm) \quad (8)$$

Portanto, conforme a equação 8, a razão entre o total de energia retida e a quantidade de energia disponível para retenção, nos fornece a quantidade de energia liberada na forma de calor no processo de metabolização da EM_g .

2.9. Referências

- AFRC, A. A. F. R. C.-. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. p 159.
- AFRC, A. A. F. R. C.-. 1998. The nutrition of goat Nutr. Abstr. Revision (Series B). p 118, Aberdeen.
- Almeida Ribeiro, S. D. 1997. Caprinocultura. NBL Editora.
- ARC, A. R. C.-. 1965. The nutrient requirements of ruminant livestock.
- ARC, A. R. C.-. 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England.

- Blaxter, K. L. 1956. The nutritive value of feeds as sources of energy: a review. *Journal of Dairy Science* 39: 1396-1424.
- Blaxter, K. L. 1962. The energy metabolism of ruminants.
- Church, D. C. 1988. The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition. Prentice Hall.
- CSIRO, C. S. A. I. R. O.-. 2007. Nutrient requirements of domesticated ruminants, Collingwood, Australia.
- Dijkstra, J., and J. France. 1995. Modelling and methodology in animal science. In: 4. International Workshop on Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals, Foulum (Denmark), 3-5 Oct 1994
- Fox, D. G. et al. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 112: 29-78.
- Henrique, D. S., R. d. P. Lana, R. A. M. Vieira, C. A. d. A. Fontes, and M. F. Botelho. 2011. A model for evaluating beef cattle rations considering effects of ruminal fiber mass. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 2538-2547.
- Henrique, D. S., R. A. M. Vieira, P. A. M. Malafaia, M. C. Mancini, and A. L. Gonçalves. 2005. Estimation of the total efficiency of metabolizable energy utilization for maintenance and growth by cattle in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 1006-1016.
- Hertzler, G. 1988. Dynamically optimal and approximately optimal beef cattle diets formulated by nonlinear programming. *Western Journal of Agricultural Economics*: 7-17.
- INRA, I. N. D. L. R. A.-. 1978. Alimentation des ruminants. NRA Publications.
- Jardim, J. G. et al. 2013. Application of a nonlinear optimization tool to balance diets with constant metabolizability. *Livestock Science* 158: 106-117.
- Kleiber, M. 1961. The fire of life. An introduction to animal energetics.
- Lanna, D. P. D., L. O. Tedeschi, and J. A. Beltrame Filho. 1999. Linear and non-linear models of nutrient utilization to formulate diets for ruminants. *Scientia Agricola* 56: 479-488.
- Lanzas, C., C. Sniffen, S. a. Seo, L. Tedeschi, and D. Fox. 2007. A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 136: 167-190.

- Lawrence, T. L. J., V. R. Fowler, and J. E. Novakofski. 2012. Growth of farm animals. CABI.
- Lofgreen, G., and W. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of animal science* 27: 793-806.
- Maynard, L., J. Loosli, H. Hintz, and R. Warner. 1979. *Animal nutrition*. 7th.
- Mertens, D. 1977. Principles of modeling and simulation in teaching and research. *Journal of Dairy Science* 60: 1176-1186.
- Mertens, D. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of animal science* 64: 1548-1558.
- NRC, N. R. C.-. 1981. Nutritional energetics of domestic animals & Glossary of energy terms. National Academy Press: 54.
- NRC, N. R. C.-. 1996. Nutrients requirements of beef cattle. National Academy Press: 242.
- NRC, N. R. C.-. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. National Academy Press.: 362
- Russell, J. B. 2002. Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition. Cornell University.
- Tedeschi, L. et al. 2008. Evaluation and application of the CPM dairy nutrition model. *The Journal of Agricultural Science* 146: 171-182.
- Tedeschi, L. O. et al. 2005. Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola* 62: 76-91.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press.
- Vieira, R. A. M. et al. 2000. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 898-909.
- Weiss, W. 1993. Predicting energy values of feeds. *Journal of Dairy Science* 76: 1802-1811.
- Williams, C. B., and T. G. Jenkis. 2003. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal Animal Science* 81: 1371-1381.

CAPÍTULO 1

Efeito do plano nutricional sobre a metabolizabilidade de dietas e eficiência energética de caprinos

RESUMO: Objetivamos avaliar o efeito do plano nutricional (L) sobre a digestibilidade e metabolizabilidade (q_m) de dietas e sobre a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) e lactação (k_l). Os tratamentos consistiram de EM = 1 Mm; 1,63 Mm; 2,31 Mm; 2,97 Mm, em que EM caracteriza o consumo de energia metabolizável e Mm o consumo de energia metabolizável para manutenção. Utilizamos 36 cabras pardas alpinas adultas, distribuídas ao acaso, sendo seis no tratamento 1 Mm e dez em cada um dos demais tratamentos. O consumo de EM, e as quantidades de fezes, urina e leite produzidas diariamente foram medidas e analisadas por um modelo linear misto. O plano nutricional corrigido (L_c) foi obtido com base na digestibilidade, perda urinária e perda estimada de metano. O valor k_m foi estimado com base em q_m e o valor k_l estimado pela relação entre a energia líquida de lactação (ELI) e a diferença entre Mm e EM. A elevação do L provocou aumento linear ($P < 0,05$) no consumo da matéria seca (CMS) e matéria orgânica (CMO) e de todos os nutrientes (CPB, CFDN, CCFN, C_{cinzas}), exceto do extrato etéreo (CEE). Com exceção do extrato etéreo (DEE), todos os demais nutrientes digestíveis aumentaram linearmente com a elevação do L ($P < 0,05$). O L_c aumentou linearmente ($P < 0,05$) de acordo com L, contudo, não atingiu os valores preditos para os tratamentos 2.31 Mm e 2.97 Mm, para um intervalo de confiança de 95% (IC 95%). A metabolizabilidade (q_m) das dietas foi afetada de forma linear ($P < 0,05$) pelo aumento do plano nutricional; o maior valor foi obtido no tratamento 1 Mm. A eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_l) não foi afetada pelos tratamentos ($P > 0,05$). O mesmo comportamento foi observado na eficiência bruta de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_{ml}). O consumo de energia metabolizável em função do peso metabólico ($EM/kg^{0,75}$) aumentou linearmente de acordo com L ($P < 0,05$). A produção de leite (PL)

obtida sofreu efeito linear positivo da elevação do L, contudo, em todos os tratamentos, ficou abaixo dos valores utilizados na formulação das dietas (IC 95%). O aumento no plano nutricional reduz a metabolizabilidade de dietas e não influencia na eficiência bruta e líquida de utilização da energia metabolizável no intervalo avaliado.

Palavras chave: metabolizabilidade, caprinos, eficiência, plano nutricional

Effect of the nutritional plan on metabolizability of diets and energy efficiency of goats

ABSTRACT: Our objective was to evaluate the effect of the nutritional plan (L) on the digestibility and metabolizability (q_m) of diets and on the efficiency of use of metabolizable energy for maintenance (k_m) and lactation (k_l). Treatments consisted of ME = 1Mm; 1.63Mm; 2.31Mm; 2.97Mm, where ME characterizes the intake of metabolizable energy and Mm the intake of metabolizable energy for maintenance. We used 36 adult alpine goats randomly distributed, 6 in the 1Mm treatment and 10 in each of the other treatments. The intake of ME, and the quantities of feces, urine and milk produced daily were measured and analyzed by a linear mixed model. The corrected nutritional plan (L_c) was obtained based on digestibility, urinary loss and simulated loss of methane. The value k_m was estimated based on q_m and the value k_l estimated by the relation among net energy lactation (NEI) and the difference among Mm and ME. The increase of L resulted in a linear effect ($P < 0.05$) on the dry matter intake (DMI), organic matter intake (OMI) and all nutrients (CP, NDF, FNC, Ash), except for crude fat). With the exception of crude fat (CF), all other digestible nutrients had a positive linear effect according to the L elevation ($P < 0.05$). L_c increased linearly ($P < 0.05$) according to the L, however, did not reach predicted values for treatments 2.31Mm and 2.97Mm, for a 95% confidence interval (95% CI). The metabolizability (q_m) of the diets was linearly affected ($P < 0.05$) by the increase in nutritional level; the highest value was obtained in the treatment 1 Mm. The net efficiency of use of the metabolizable energy for milk production (k_l) was not affected by the treatments ($P > 0.05$). The same behavior was observed to the gross efficiency of use of metabolizable energy for milk production (k_{ml}). The metabolizable energy intake according to the metabolic weight ($ME / kg^{0.75}$) was linearly affected according to the L ($P < 0.05$). The milk yield (Y_m) obtained had a positive linear effect of L elevation, however, in all treatments, it was below the values used in the formulation of the diets (95% CI). The increase in the nutritional plan reduces the metabolizability of diets and does not influence the gross and net efficiency of use of the metabolizable energy in the evaluated range.

Keywords: metabolizability, goats, efficiency, nutritional plan

Introdução

Indubitavelmente, os modelos matemáticos tornaram-se fundamentais no processo de formulação de dietas para ruminantes. O princípio de sua utilização deu-se há a pelo menos três décadas e se intensificou à medida que os mesmos tornaram-se mais robustos e eficazes em prever os mecanismos envolvidos na digestão dos alimentos. Esse avanço, deu-se graças ao esforço dos pesquisadores em investigar os processos biológicos ocorrentes nos pré-estômagos dos ruminantes e ao acúmulo de dados derivados destes estudos, em conjunto com diferentes abordagens matemáticas. Contudo, há ainda erros sistemáticos nesses modelos, relacionados à digestibilidade e ao valor nutritivo das dietas, fazendo-se necessário o contínuo refinamento dos mesmos (Vieira et al., 2008). Informações obtidas de forma empírica podem ser de grande valia na detecção de anomalias na predição do consumo e digestibilidade. Descrever o comportamento destas variáveis em distintas situações, por exemplo, em planos nutricionais diferentes, compreende o primeiro passo para avaliar se elas se comportam de acordo com as teorias em que os modelos foram desenvolvidos (Jardim et al., 2013).

Plano nutricional (L) é definido como a relação da energia metabolizável consumida (EM, MJ/d) e aquela necessária à manutenção (Mm, MJ/d), $L = EM/Mm$ (Blaxter & Clapperton, 1965). A metabolizabilidade da energia ao nível de manutenção é definida como uma relação entre a energia bruta ([EB], MJ/kg MS) e a energia metabolizável ([EM], MJ/kg MS) da dieta consumida, $q_m = [EM]/[EB]$ (AFRC, 1993). Está fortemente correlacionada com a digestibilidade e é utilizada nos modelos para cálculos de eficiência de utilização da energia.

O aumento do desempenho provocou elevação da necessidade de consumo pelos animais e conseqüente redução dos coeficientes de digestibilidade da dieta, deprimindo o aproveitamento da energia bruta ingerida e elevando a produção de calor basal (Gabel et al., 2003). Diferentes sistemas consideram a redução da eficiência de uso da energia, com o aumento de L, de forma distinta. O AFRC (1993) por exemplo, determina a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) e lactação (k_l) em função de q_m e considera um aumento de exigência de energia metabolizável de 1,8% por unidade de L acima de 1 como suporte ao metabolismo. Já o NRC (2007)

utiliza diferentes exigências de energia metabolizável para manutenção, dependendo da categoria animal; para cabras em lactação o valor é de 0,485 MJ/kg^{0,75}; e considera um valor fixo de 0,65 para k_l. Nosso objetivo, foi descrever o efeito do plano nutricional sobre a eficiência de utilização e metabolizabilidade da energia de dietas para caprinos.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas dependências do Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, a 20 °46'19 "S e 42 ° 51'12"W; altitude média 707 m. Foram utilizadas 36 cabras da raça Parda Alpina, adultas e não prenhes distribuídas inteiramente ao acaso, em gaiolas de metabolismo individuais, com alimentação controlada e água *ad libitum*.

Características dos animais e formulação das dietas

Os tratamentos consistiram dos planos nutricionais, sendo os mesmos constituídos por consumo de EM múltiplo da exigência de M_m, EM = 1 M_m; 1,63 M_m; 2,31 M_m; 2,97 M_m. Estes valores foram definidos como a exigência de energia metabolizável dos grupos de animais organizados no experimento, conforme será discutido adiante. Os animais foram divididos em quatro grupos, sendo seis animais no tratamento L = 1 M_m e dez animais em cada um dos demais tratamentos.

Com exceção daqueles utilizados no tratamento L= 1 M_m, os quais não estavam em produção de leite, os demais animais se encontravam na oitava semana de lactação. A formação dos grupos foi realizada de acordo com a produção de leite (Tabela 1). As dietas (Tabela 2) foram formuladas no *Small Ruminant Nutrition System* (Tedeschi et al., 2010), tendo como restrição custo mínimo e manutenção da massa corporal dos animais. Média de massa corporal, produção de leite e semana de lactação foram utilizadas como *inputs* no *software*. Baseando-se nos grupos de animais homogêneos, formados com

os animais disponíveis, obteve-se o plano nutricional de cada dieta como *output* do *software*.

Alimentação dos animais, duração do experimento, coleta e preparação de amostras

A alimentação foi realizada duas vezes ao dia (7 h e 16 h) e foi realizado um período de adaptação de 21 dias, no qual as sobras foram ajustadas para, no máximo, 5% da dieta. Após esse período, foi conduzida a coleta total das fezes e da urina, durante sete dias. Diariamente, antecedendo a alimentação da manhã, foi realizada a coleta das sobras individuais, que foram devidamente identificadas, pesadas e armazenadas sob refrigeração a -10 °C. Após o período de coletas, as amostras diárias de cada animal foram agrupadas em amostras compostas. Também foram recolhidas amostras dos concentrados referentes a cada tratamento. As fezes foram coletadas por sete dias consecutivos, identificadas, pesadas e armazenadas a -20 °C e, ao final do período experimental, foram agrupadas em amostras compostas. Amostras do volumoso e concentrado oferecidos, sobras e fezes foram secas a 55 °C, por 72 h, em estufa de ventilação forçada, moídas em moinho Willey, passando por peneira de 1 mm, e seguiram para análises químicas e bromatológicas. A urina foi coletada duas vezes por dia, 8 h e 17 h, em recipientes de 5.000 mL, contendo 50 mL de HCl 1,2 M, quantificada e armazenada a -10 °C. Após o período de coletas, as amostras diárias de cada animal foram agrupadas em amostras compostas. Os animais foram ordenhados duas vezes por dia e a produção de leite obtida (PL₀) foi pesada. Foi retirada uma amostra de leite de cada animal e armazenada com 2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol para análise posterior.

Análises químico-bromatológicas de alimentos, sobras, fezes e urina

Foram realizadas análises de umidade, nitrogênio, extrato etéreo e cinzas, de acordo com os procedimentos da AOAC (1990). A fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para proteínas ([FDNp], g/kg MS) foi determinada com sulfito de sódio e alfa amilase estável ao calor, expressa incluindo cinzas e

lignina, de acordo com Van Soest et al. (1991). Os carboidratos não fibrosos ([CNF], g/kg MS) foram calculados como $1000 - (PB) - (EE) - (FDN) - (CINZAS)$, de acordo com Hall (2003). O conteúdo de energia bruta dos alimentos oferecidos, das sobras e da dieta consumida foi estimado com base na respectiva composição e no calor de combustão da proteína (23,4 MJ/kg), carboidratos (17,6 MJ/kg) e gordura (39,3 MJ/kg) de acordo com Maynard et al. (1979). O conteúdo de energia da urina foi estimado pelo teor de nitrogênio urinário, utilizando a equação proposta por Paladines et al. (1964). A composição do leite foi determinada usando um analisador infravermelho (Minor Milko Scan™; 255A/B-Foss Electric, Hillerød, Denmark, de acordo com a International Dairy Federation (1996).

Cálculo dos parâmetros

O consumo de matéria seca (CMS, kg/d) foi definido como a diferença entre a matéria seca oferecida e matéria seca das sobras, como a seguir:

$$CMS = MS\ offer - MS\ sobras \quad (9)$$

A composição dos alimentos oferecidos, das sobras e a quantidade diária de sobras foram utilizadas para cálculo do consumo diário de nutrientes (NUT), em quilogramas, definido como:

$$NUT\ consumido = NUT\ alimento - NUT\ sobras \quad (10)$$

A energia bruta consumida foi estimada por equivalência energética dos nutrientes consumidos, de acordo com Maynard et al. (1979), como a seguir:

$$EB = 17,6 (CNFc + FDNc) + 23,4 PBc + 39,3 EEc \quad (11)$$

em que: CNFc = carboidratos-não-fibrosos consumidos; FDNc = fibra insolúvel em detergente neutro consumida; PBc = proteína bruta consumida; EEc = extrato etéreo consumido.

Dessa forma, obtivemos o conteúdo de energia bruta ([EB], MJ/kg MS) da matéria seca consumida.

$$[EB] = EB/CMS \quad (12)$$

Os nutrientes (NUT) digestíveis diários, em quilogramas, foram definidos como:

$$NUT \text{ digestível} = NUT \text{ oferecido} - NUT \text{ sobras} - NUT \text{ fezes} \quad (13)$$

A energia digestível (ED, MJ/d) aparente consumida foi estimada por equivalência energética do conteúdo digestível dos nutrientes em quilogramas, de acordo com Maynard et al. (1979), como a seguir:

$$ED = 17,6 (CNFd + FDNd) + 23,4 PBd + 39,3 EEd \quad (14)$$

em que: CNFd = carboidratos-não-fibrosos digeridos; FDNd = fibra insolúvel em detergente neutro digerida; PBd = proteína bruta digerida; EEd = extrato etéreo digerido.

Dessa forma, obtivemos a concentração de energia digestível ([ED], MJ/kg MS) da matéria seca consumida:

$$[ED] = ED/CMS \quad (15)$$

A energia diária perdida por meio dos gases (EG, MJ/d) foi estimada com a equação proposta por Blaxter & Clapperton (1965), modificada como a seguir:

$$EG = [EB] \times CMS (1,3 + 0,112 D_m + L_c (2,37 - 0,05)D_m)/100 \quad (16)$$

Os termos D_m e L_c , representam a média da digestibilidade da dieta a nível de manutenção ($L=1 M_m$) e o plano nutricional corrigido, respectivamente. A energias da urina e dos gases foi subtraída da energia digestível para obtenção

do consumo de energia metabolizável de cada animal, em cada combinação tratamento x animal x dia.

$$EM = ED - EU - EG \quad (17)$$

sendo:

$$[EM] = EM/CMS \quad (18)$$

Contudo, o valor de L_c era desconhecido. Uma nova equação, relacionando este valor ao consumo de energia metabolizável, foi necessária para obter uma solução numérica para L_c . O plano nutricional corrigido é definido pelo AFRC (1993) como $L_c = EM/M_m$, no qual M_m relaciona a produção de calor basal (PCB, MJ/d), o gasto energético com atividades voluntárias (A, MJ/d) e a eficiência de utilização da energia para manutenção (k_m) como $M_m = (PCB+A)/k_m$. Por definição, a metabolizabilidade em nível de manutenção (q_m) deve ser mensurada utilizando a concentração de energia bruta ($[EB_m]$, MJ/kg) e o consumo de matéria seca (CMS_m , kg/d) na manutenção (Blaxter & Boyne, 1978). Então, $k_m = 0,35 CEM_m/([EB_m] \times CMS_m) + 0,503$. Ressaltando que, para $L_c=1$, $M_m = EM$. Rearranjando os termos, isolando EM e tomando apenas as soluções positivas, temos a seguinte equação:

$$EM = 26,9 CMS_m (-0,503 L_c + (0,253 L_c^2 + 1,4L_c^2 (PCB + A)/([EB]CMS_m))^{1/2}) \quad (19)$$

O valor de L_c foi obtido tomando-se a relação Eq. (9) / Eq. (11) como função objetivo, variando L_c , utilizando o Microsoft Excel Solver®. A solução foi considerada obtida quando a relação Eq. (9) / Eq. (11) aproximada foi $1,0000 \pm 0,0005$. Consequentemente, nós obtivemos a concentração de energia metabolizável na matéria seca ($[EM]$, MJ/kg), calculada como $[EM] = EM/CMS$ e a metabolizabilidade da dieta, calculada como $q = [EM]/[EB]$.

A energia líquida para lactação, em MJ/d, foi estimada utilizando a equação:

$$EL_l = ((289,72 + 71,93 \times GB_l + 48,28 \times (PV_l/0,92)) \times PL) 4,184 \quad (20)$$

em que GB_l representa a concentração de gordura bruta do leite (%), PV_l representa a concentração de proteína verdadeira do leite (%) e PL representa a produção de leite em um particular dia (kg/d). O valor 0,92 foi utilizado para converter a proteína verdadeira do leite para proteína bruta do leite de cabras segundo Pulina et al. (1991) e o valor 4,184 foi utilizado para converter calorias para joules.

A estimativa da eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_l) foi feita calculando-se a razão entre o valor de energia do leite produzido (EL_l) e o consumo de energia metabolizável total subtraído do consumo de energia para a manutenção, como a seguir:

$$k_l = EL_l / (EM - Mm) \quad (21)$$

A estimativa da eficiência bruta de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_{ml}) foi feita calculando-se a razão entre a exigência líquida para produção de leite e o consumo de energia metabolizável, segundo Luo et al. (2004).

$$k_{ml} = (EL_m + EL_l) / EM \quad (22)$$

Análises estatísticas

Para fins de comparação, o consumo de nutrientes, nutrientes digestíveis, energia digestível, energia metabolizável e os montantes de fezes e urina produzidos diariamente foram escalonados para o tamanho metabólico, dividindo-se a respectiva entrada ou a quantidade excretada pelo $W^{3/4}$ g ou MJ/kg $W^{3/4}$ dia, em que W representa a massa total do animal, exceto o consumo de FDN e FDN digestível que foi calculado em função de W . Então, o modelo linear foi ajustado:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + a_{ji} + \tau_k + \alpha\tau_{ik} + \alpha\tau_{jk(i)} + e_{ijk} \quad (23)$$

em que Y_{ijk} é a observação relacionada com a grandeza de medição na k -ésima cabra alimentada para o i -ésimo plano nutricional durante o j -ésimo dia. Os efeitos fixos são a média μ , o plano nutricional α_i , o dia τ_k , e a interação plano nutricional \times dia $\alpha\tau_{ik}$. Os efeitos aleatórios são os animais a_{ij} , a interação animal \times tempo dentro de cada plano nutricional $a\tau_{jk(i)}$ e o termo do erro e_{ijk} .

O modelo estatístico foi ajustado utilizando o procedimento PROC MIXED do *software* Statistical Analysis System – SAS, com máxima verossimilhança restrita como o método de estimação. A matriz de covariâncias foi modelada como componentes de variância, simetria composta, correlações auto-regressivas e com a estrutura irrestrita (Littell et al., 2006). A escolha da estrutura de covariância foi feita pelo critério de Akaike (Sugiura, 1978). Em relação as variáveis q_m , k_{ml} e k_l , foi utilizado o procedimento PROC GLIMMIX devido à natureza da distribuição destas variáveis. Para tanto, foram avaliadas diferentes funções densidade de probabilidade e a escolha da função mais verossímil foi feita pelo critério de Akaike (Sugiura, 1978). Após a escolha da estrutura de covariância e da função densidade de probabilidade, hipóteses de nulidade sobre os efeitos linear e quadrático dos tratamentos foram rejeitadas para $P < 0,05$. Para regressões significativas, o intervalo de confiança predito [IC 95%] para diferentes valores de L foi apresentado como: $\hat{y}_L \pm [\hat{U}_r - Lr]/2$, em que \hat{y} é a resposta predita para dado valor L ; e \hat{U}_r e Lr são os valores máximo e mínimo, respectivamente, preditos para 95% IC. Dada a ausência de efeito do tratamento para determinada variável, os mínimos quadrados estimados do IC 95% para cada valor de L foram apresentados como $\bar{y}_L \pm [\bar{U}_r - Lr]/2$, em que \bar{y}_L é a média calculada pelos mínimos quadrados; e \bar{U}_r e Lr são, respectivamente, os limites superior e inferior dos quadrados mínimos referentes a 95% IC para a média.

Resultados

O ajuste da equação (15) para as variáveis listadas na Tabela 3, utilizando diferentes estruturas de covariância, revelou que a estrutura de componentes da variância foi a que melhor se ajustou aos dados de C_{MS} , C_{CZ} ,

C_{FDN} , D_{MS} , D_{MO} , D_{FDN} , ED e $(CEM, MJ/[kg \times PV^{3/4}])$. A estrutura auto-regressiva de primeira ordem foi a que melhor se ajustou aos dados de C_{PB} , C_{EE} , C_{CNF} , C_{MO} , D_{PB} , D_{EE} , D_{CNF} , L_c e PL_o . No caso do valor k_i , a estrutura que melhor se ajustou foi a distribuição beta binomial e para os valores k_{ml} e q_m a distribuição gama binomial.

A elevação do plano nutricional provocou efeito linear ($P < 0,05$) (Tabela 3), de forma positiva (Tabela 4), no consumo da matéria seca (C_{MS}) e matéria orgânica (C_{MO}) e de todos os nutrientes (C_{PB} , C_{FDN} , C_{CNF} , C_{cinzas}), exceto do extrato etéreo (C_{EE}). As quantidades de nutrientes, por peso metabólico, digeridas por dia também foram influenciadas. Com exceção do extrato etéreo (D_{EE}), todos os demais nutrientes sofreram efeito linear (Tabela 3), de forma positiva (Tabela 5) da elevação de L . Comportamento similar foi observado no consumo de energia digestível (Tabelas 3 e 5).

O plano nutricional corrigido (L_c) apresentou efeito linear dos níveis de L ($P < 0,05$) (Tabela 3). O efeito foi positivo, contudo, não atingiu o valor predito para $L = 2,31 M_m$ e $L = 2,97 M_m$, conforme pode ser notado pelos IC 95% na Tabela 6.

A metabolizabilidade das dietas foi afetada de forma linear ($P < 0,05$) pelo aumento do plano nutricional (Tabela 3). Os maiores valores foram obtidos no tratamento de manutenção (Tabela 6).

A exigência de energia metabolizável para manutenção foi de $0,511 MJ/(kg^{3/4})$ e a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) foi $0,76$.

A eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para produção de leite (k_l) não foi afetada pelos tratamentos ($P > 0,05$). O mesmo ocorreu com a eficiência bruta de utilização da energia metabolizável para a produção de leite (k_{ml}) (Tabela 3). Os intervalos de confiança destes parâmetros são apresentados na Tabela 6.

O consumo de energia metabolizável em função do peso metabólico foi afetado linearmente pelos tratamentos ($P < 0,05$) (Tabelas 3 e 6).

A produção de leite obtida sofreu efeito linear positivo da elevação do plano nutricional (Tabela 3), contudo, em todos os tratamentos, ficou abaixo dos valores utilizados na formulação das dietas (Tabela 1). Os intervalos de confiança são apresentados na Tabela 6.

Discussão

As dietas formuladas para atender as exigências energéticas e nutricionais dos animais, no presente estudo, foram formuladas utilizando diferentes concentrações de alimentos (Tabela 2). Esta não é a forma ideal de se avaliar os efeitos do plano nutricional na eficiência de utilização da energia. Dietas com maior proporção de concentrado, em detrimento do volumoso, tendem a apresentar, por questões envolvidas com a fermentação ruminal, menor produção de gases. Isso pode levar a valores maiores de metabolizabilidade da energia, comprometendo eventuais comparações. Além dessa característica, essas dietas, eventualmente, contêm menor teor de fibra, o que reduz os processos de mastigação, ruminação, motilidade ruminal, entre outros. Energia de tais processos é um dos componentes da energia líquida de manutenção, e sua depressão induz a possíveis variações na eficiência de utilização da energia metabolizável. Gabel et al. (2003) recomendam a utilização de dietas similares para compor os diferentes planos nutricionais, em dietas experimentais, promovendo variações na quantidade de matéria seca fornecida, embora isso seja pouco utilizável na prática, uma vez que dietas mais ricas em energia tendem a ser mais concentradas. Devido a esses fatos, as comparações realizadas no presente estudo serão realizadas sempre de forma cautelosa e ponderada.

O processo de regulação do consumo de alimentos, em ruminantes, ainda não está completamente elucidado, mas sabe-se que está relacionado com mecanismos físicos, como enchimento ruminal e tempo de permanência da digesta no rúmen, e quimiostáticos, como a concentração de ácidos graxos voláteis no rúmen-retículo (Van Soest, 1994). O consumo de matéria seca, matéria orgânica e nutrientes comportou-se como esperado, levando-se em conta esses processos. O aumento linear do consumo de matéria seca e matéria orgânica (Tabela 3), conforme se elevou o plano nutricional, é explicado pela maior demanda energética. As exigências nutricionais e energéticas dos animais estão diretamente relacionadas com o nível de produção, de forma que maiores gastos energéticos implicam em maiores incentivos ao consumo. A dieta do tratamento 1 Mm apresentava elevada proporção de concentrado em comparação com as demais. Isso fez com que

se produzisse um efeito linear do consumo de fibra (Tabela 3). Embora tal fato parecesse um problema, permitiu-nos uma observação valiosa da atuação da regulação do consumo. Ao observarmos os intervalos de confiança do consumo de fibra (Tabela 4), notamos que existiu igualdade entre os três tratamentos superiores, ficando próximo de 12 g/(kg x PV) sugeridos por Mertens (1987) como limite máximo do consumo de fibra. Isto sugere uma restrição no consumo causada por enchimento ruminal. Por outro lado, o tratamento 1 Mm posicionou-se bem abaixo desse valor (Tabela 4), o que sugere uma restrição no consumo por efeito energético, uma vez que os animais atingiram a exigência de energia para manutenção. A maior concentração de extrato etéreo na dieta de manutenção pode ter sido responsável pela não variação do consumo deste nutriente.

Os nutrientes digestíveis comportaram-se como esperado. Maior consumo de nutrientes tende a fornecer maior quantidade de nutrientes digestíveis, o que de fato aconteceu neste estudo. No caso específico da fibra, o baixo consumo da mesma no tratamento 1 Mm reduziu a disponibilidade digestível pelo fato de ter reduzido a oferta e, conseqüentemente, o consumo deste nutriente. Se observarmos os intervalos de confiança da Tabela 5, veremos que houve estabilidade dos valores de fibra digestível nos três tratamentos superiores. Ao relacionarmos isto com o consumo (Tabela 4), observamos uma tendência de estabilização do percentual digestível da fibra nestes níveis. Segundo Tedeschi et al. (2012), a lenta digestão da fibra é a grande responsável pela redução do consumo pelo fato de reduzir a taxa de passagem. Para se elevar o consumo de matéria seca de dietas nos quais o limite máximo do consumo de fibra já foi atingido, é necessária uma redução do teor da mesma.

O plano nutricional corrigido (L_c) não atingiu os valores preditos para os tratamentos 2,31 Mm e 2,97 Mm (Tabela 6). Isto pode ser explicado pela restrição no consumo de energia, causada pelo limite máximo do consumo de fibra. Este comportamento, também foi notado no trabalho de Jardim et al. (2013) trabalhando com ovinos em crescimento. Essas avaliações endossam a necessidade de constantes estudos sobre a capacidade de predição, pelos modelos, do consumo de fibra.

A metabolizabilidade foi mais elevada na dieta de manutenção, possivelmente pela alta proporção de concentrado, o que reduz a produção de gases (Pedreira et al., 2004). Além disso, dietas com menor consumo de matéria seca tendem a apresentar maior digestibilidade (NRC, 2007), elevando a disponibilidade de energia digestível que está correlacionada com a energia metabolizável. Esperava-se efeito quadrático na metabolizabilidade, pelo fato das dietas dos tratamentos de maior consumo de energia apresentarem gradual aumento da proporção de concentrado. Isso tenderia provocar uma redução da metabolizabilidade do tratamento 1 Mm para os tratamentos intermediários e uma nova elevação para o tratamento de maior consumo de energia. No entanto, houve aumento linear, possivelmente provocado pela proporção elevada de concentrado na dieta $L = 1$ que originou um alto valor q_m .

A exigência de energia metabolizável para manutenção, em $\text{MJ}/(\text{kg}^{3/4})$, foi semelhante à de 0.506 encontrada por (Tovar-Luna et al., 2010) e superior àquela proposta pelo NRC (2007) de 0,485. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção foi superior ao valor 0,73, encontrado por Aguilera et al. (1990) e ao valor 0.68 encontrado por Tovar-Luna et al. (2010).

A produção de leite esperada (Tabela 1) não foi atingida. Os animais utilizados no experimento foram selecionados para estarem a partir da oitava semana de lactação para não apresentarem mobilização de reservas corporais para produção de leite (Oliveira et al., 2013). Nesse estágio de lactação, os animais estão reduzindo a produção de leite, o que pode ter dificultado a obtenção da quantidade predita. Associado a isso, está o fato de que em dois dos três tratamentos, o plano nutricional predito não foi alcançado.

A eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para lactação foi similar aos valores de 0,67, encontrado por Tovar-Luna et al. (2010), 0,66 por Moe et al. (1971) e 0,65 proposto pelo NRC (2007). Esperava-se redução de k_l com o aumento do consumo de energia metabolizável devido à redução de q_m . Contudo, essa redução na metabolizabilidade leva em consideração os valores do tratamento 1 Mm, enquanto os valores k_l foram obtidos apenas dos animais em lactação, cuja metabolizabilidade não apresentou variação entre os tratamentos (Tabela 6). Assim, a relação entre q_m e k_l , proposta pelo AFRC (1993), foi observada. A eficiência bruta de utilização da energia metabolizável para lactação apresentou o mesmo comportamento.

Conclusão

O aumento no plano nutricional reduz a metabolizabilidade de dietas e não influencia na eficiência bruta e líquida de utilização da energia metabolizável no intervalo avaliado.

Referências

- AFRC, A. A. F. R. C.-. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. p 159.
- Aguilera, J., C. Prieto, and J. Fonollá. 1990. Protein and energy metabolism of lactating Granadina goats. *British Journal of Nutrition* 63: 165-175.
- AOAC, A. o. O. A. C.-. 1990. Official methods of analysis No. 15th ed, Arlington, VA.
- Blaxter, K., and A. Boyne. 1978. The estimation of the nutritive value of feeds as energy sources for ruminants and the derivation of feeding systems. *The Journal of Agricultural Science* 90: 47-68.
- Blaxter, K., and J. Clapperton. 1965. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of nutrition* 19: 511-522.
- Gabel, M. et al. 2003. Influence of nutrition level on digestibility in high yielding cows and effects on energy evaluation systems. *Journal of dairy science* 86: 3992-3998.
- Hall, M. 2003. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. *Journal of animal science* 81: 3226-3232.
- Jardim, J. G. et al. 2013. Application of a nonlinear optimization tool to balance diets with constant metabolizability. *Livestock Science* 158: 106-117.
- Littell, R. C., W. W. Stroup, G. A. Milliken, R. D. Wolfinger, and O. Schabenberger. 2006. SAS for mixed models. SAS institute.
- Luo, J. et al. 2004. Maintenance energy requirements of goats: predictions based on observations of heat and recovered energy. *Small Ruminant Research* 53: 221-230.
- Maynard, L. A., J. Loosli, H. Hintz, and R. Warner. 1979. *Animal Nutrition*. McGraw-Hill Book Company. New Delhi.

- Mertens, D. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of animal science* 64: 1548-1558.
- Moe, P., H. Tyrrell, and W. Flatt. 1971. Energetics of body tissue mobilization. *Journal of Dairy Science* 54: 548-553.
- NRC. 2001. National Research Council: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. ed. Natl. Acad. Sci., 7. rev. .
- NRC, N. R. C.-. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. NationalAcademy Press.: 362
- Oliveira, T. S. d. et al. 2013. Variation of masses of body fat and protein and visceral organs of alpine goats in the first 60 days of lactation. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 14: 672-683.
- Paladines, O., J. Reid, B. Van Niekerk, and A. Bensadoun. 1964. Relationship between the nitrogen content and the heat of combustion value of sheep urine. *Journal of Animal Science* 23: 528-532.
- Pedreira, M. et al. 2004. Produção de metano e concentração de ácidos graxos voláteis ruminal em bovinos alimentados com diferentes relações de volumoso: concentrado. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA 41.
- Pulina, G., A. Cannas, A. Serra, and R. Vallebella. 1991. Determinazione e stima del valore energetico di latte di capre di razza Sarda. *Proc. 45th Nat. Congr. SISVet., Altavilla Milicia, Palermo, Italy* 45: 1779-1781.
- Silva, M. M. C. d. U. et al. 2007. Suplementação de lipídios em dietas para cabras em lactação: consumo e eficiência de utilização de nutrientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*.
- Sugiura, N. 1978. Further analysts of the data by akaike's information criterion and the finite corrections: Further analysts of the data by akaike's. *Communications in Statistics-Theory and Methods* 7: 13-26.
- Tedeschi, L., A. Cannas, S. Solaiman, R. Vieira, and N. Gurung. 2012. Development and evaluation of empirical equations to predict ruminal fractional passage rate of forages in goats. *The Journal of Agricultural Science* 150: 95-107.
- Tedeschi, L. O., A. Cannas, and D. G. Fox. 2010. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and

other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Research* 89: 174-184.

Tovar-Luna, I., R. Puchala, T. Sahlu, H. Freetly, and A. Goetsch. 2010. Effects of stage of lactation and level of feed intake on energy utilization by Alpine dairy goats. *Journal of dairy science* 93: 4829-4837.

Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press.

Van Soest, P. v., J. Robertson, and B. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science* 74: 3583-3597.

Vieira, R. A. M., L. O. Tedeschi, and A. Cannas. 2008. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. *Journal of Theoretical Biology* 255: 357-368.

APÊNDICE

Tabela 1 - Características dos animais utilizados no experimento

	L			
	1	1,63	2,31	2,97
W ^a	49,6 ± 8,4	50,3 ± 6,0	56,5 ± 7,3	57,9 ± 8,6
PL ^b	-	1,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	3,5 ± 0,3

^a Massa do animal (W) expressa em kg

^b Produção diária de leite (PL) expressa como kg/d.

Tabela 2 – Composição e quantidade de alimentos utilizados na formulação das dietas

Item	Ingrediente			
	Silagem de milho	Farelo de soja	Farelo de milho	Farelo de trigo
MS ^a	263,7	893,9	878,5	888,7
FDN ^b	594,2	91,9	102,8	339,6
PB ^b	60,0	451,5	67,6	141,8
EE ^b	23,3	15,5	32,9	39,3
CNF ^b	269,7	368,5	784,1	397,9
NIDA ^b	1,3	2,2	1,2	0,9
MM ^b	52,8	66,0	10,8	53,5
A PB ^b	232,1	199,5	114,5	325,5
B1 PB ^b	583,9	761,9	484,8	610,6
B2 PB ^b	45,4	8,6	286,8	26,3
C PB ^b	138,6	30,1	113,9	37,5
A CHOS ^b	183,9	384,5	232,0	262,8
B1 CHOS ^b	128,2	415,9	652,1	276,7
B2 CHOS ^b	576,5	179,1	103,3	344,3
C CHOS ^b	111,4	20,4	12,6	116,3
Dietas otimizadas ^c				
1 Mm	259,79	103,90	171,47	82,33
1,63 Mm	1192,86	170,11	200,35	35,25
2,31 Mm	1481,16	262,11	509,05	45,05
2,97 Mm	1698,18	284,22	828,87	100,78

^a Matéria seca (MS) expressa como g/kg de alimento.

^b Fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), Proteína bruta (PB), Extrato Etéreo (EE), Carboidratos não fibrosos (CNF), Nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), Matéria mineral (MM), Frações da PB (A, B1, B2 e C), Frações dos carboidratos (A, B1, B2 e C) todos expressos como g/kg MS.

^c Quantidade de ingredientes nas dietas em g/d.

Tabela 3 – P-valores obtidos para as variáveis analisadas relacionadas aos efeitos dos planos nutricionais.

Variável	P-valores associados aos efeitos no modelo estatístico			
	Tratamento	Dia	Linear	Quadrático
CMS ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
C _{PB} ^a	<,0001	0,001	<,0001	-
C _{EE} ^a	0,1388	<,0001	-	-
C _{cinzas} ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
C _{FDN} ^c	<,0001	<,0001	<,0001	-
C _{CNF} ^a	<,0001	0,0038	<,0001	-
C _{MO} ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
D _{MS} ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
D _{MO} ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
D _{PB} ^a	<,0001	0,0053	<,0001	-
D _{EE} ^a	0,6043	<,0001	-	-
D _{FDN} ^c	<,0001	<,0001	<,0001	-
D _{CNF} ^a	<,0001	0,0256	<,0001	-
ED ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
Lc ^b	<,0001	<,0001	<,0001	-
q' ⁱ m ^b	<,0001	0,0077	<,0001	-
K _l ^b	0,1558	<,0001	-	-
k _{m+i} ^b	0,0916	<,0001	-	-
EM ^a	<,0001	<,0001	<,0001	-
PL _O [kg/d]	0,0006	<,0001	<,0001	-

^a Consumo de matéria seca (CMS), proteína bruta (C_{PB}), extrato etéreo (C_{EE}), cinzas (C_{cinzas}), carboidratos não-fibrosos (C_{CNF}), matéria orgânica (C_{MO}) e energia metabolizável (EM), e digestibilidade da matéria seca (D_{MS}), matéria orgânica (D_{MO}), proteína bruta (D_{PB}), extrato etéreo (D_{EE}), e carboidratos não-fibrosos (D_{CNF}), e energia digestível (ED), expressos como g/(d X kg^{3/4}) ou MJ/(d X kg^{3/4}).

^b Plano nutricional corrigido (L_c), metabolizabilidade corrigida (q'ⁱm), e eficiência líquida (k_l) e eficiência bruta de utilização da energia metabolizável (k_{m+i}) são variáveis adimensionais.

^c Consumo de fibra insolúvel em detergente neutro (C_{FDN}) e digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro (D_{FDN}) expressos como g/(d X kg).

Tabela 4 - Intervalos de confiança preditos (95% IC) para consumo de matéria seca, matéria orgânica e nutrientes em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63	L = 2,31	L = 2,97
CMS ^a	37,9±7,7	63,5±6	68,8±6	87,6±6
C _{PB} ^a	5,6±0,9	6,8±0,7	8±0,7	10±0,7
C _{EE} ^a	1,4±0,2	1,5±0,1	1,6±0,1	1,7±0,1
C _{cinzas} ^a	1,8±0,4	3,6±0,3	3,8±0,3	4,9±0,3
C _{FDN} ^b	4,2±1,3	11,3±1	10,6±1	12,3±1
C _{CNF} ^a	17,8±3,4	23,7±2,7	28,8±2,7	39,6±2,7
C _{MO} ^a	36±7,3	60±5,7	65±5,7	82,8±5,7

^a Consumo de matéria seca (CMS), proteína bruta (C_{PB}), extrato etéreo (C_{EE}), cinzas (C_{cinzas}), carboidratos não-fibrosos (C_{CNF}), matéria orgânica (C_{MO}) expressos como g/(d X kg^{3/4}).

^b Consumo de fibra insolúvel em detergente neutro (C_{FDN}) expresso como g/(d X kg).

Tabela 5 – Intervalos de confiança preditos (95% IC) para energia, matéria seca, matéria orgânica e nutrientes digestíveis em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63	L = 2,31	L = 2,97
D _{MS} ^a	29,8±5,3	42,3±4,1	47,3±4,2	61,3±4,2
D _{MO} ^a	28,7±5,1	40,9±4	45,7±4	58,8±4,1
D _{PB} ^a	4,5±0,6	4,3±0,5	5,2±0,5	6,8±0,5
D _{EE} ^a	1,3±0,2	1,2±0,1	1,2±0,1	1,2±0,1
D _{FDN} ^b	2,4±0,8	6,6±0,6	6,4±0,6	7,1±0,6
D _{CNF} ^a	16,3±2,8	19,8±2,1	24±2,1	33,8±2,2
ED ^a	0,6±0,1	0,8±0,1	0,9±0,1	1,1±0,1

^a Digestibilidade da matéria seca (D_{MS}), matéria orgânica (D_{MO}), proteína bruta (D_{PB}), extrato etéreo (D_{EE}), carboidratos não-fibrosos (D_{CNF}) e energia digestível (ED), expressos como g/(d X kg^{3/4}) ou MJ/(d X kg^{3/4}).

^b Digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro (D_{FDN}) expresso como g/(d X kg).

Tabela 6 - Intervalos de confiança preditos (95% IC) do plano nutricional corrigido, metabolizabilidade corrigida, consumo de energia metabolizável, produção de leite e eficiências de utilização de energia metabolizável em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63	L = 2,31	L = 2,97
L_c^a	1,15±0,28	1,61±0,22	1,80±0,22	2,50±0,22
$q'm^a$	0.728±0.042	0.667±0.029	0.689±0.03	0.653±0.029
EM ^c	0,511±0,083	0,726±0,060	0,807±0,060	1,013±0,060
PL _o ^b	-	1,11±0,13	1,78±0,40	2,63±0,81
K _l ^a	-	0.589±0.077	0.700±0.073	0.586±0.075
k _{m+i} ^a	-	0.682±0.038	0.727±0.04	0.661±0.037

^a Plano nutricional corrigido (L_c), metabolizabilidade corrigida ($q'm$), e eficiência líquida (k_l) e eficiência bruta de utilização da energia metabolizável (k_{m+i}) são variáveis adimensionais.

^b Produção de leite obtida (PL_o) expressa como kg/d.

^c Consumo de energia metabolizável (EM) expressed as MJ/(d X kg^{3/4}).