

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA**

**PARTIÇÃO DA ENERGIA E EXIGÊNCIA DE ENERGIA LÍQUIDA PARA
MANTENÇA DE NOVILHAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR**

HELENA FERREIRA LAGE

**BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA – UFMG**

2011

HELENA FERREIRA LAGE

**Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de novilhas Gir e F1
Holandês x Gir**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NUTRIÇÃO ANIMAL

PROF(A). ORIENTADOR(A): Ana Luiza da Costa Cruz Borges

BELO HORIZONTE

BANCA EXAMINADORA

Ana Luiza da Costa Cruz Borges

Prof. Dra. Ana Luiza Costa Cruz Borges
Orientadora

Lúcio Carlos Gonçalves

Prof. Dr. Lúcio Carlos Gonçalves

Gustavo Henrique Frias de Castro

Prof. Dr. Gustavo Henrique Frias de Castro

Ricardo Reis e Silva

Prof. Dr. Ricardo Reis e Silva

Belo Horizonte, 19 de outubro de 2011

“Quem espera, NUNCA alcança”.

Chico Buarque de Hollanda

Dedico este trabalho ao meu pai Tobias e à
minha mãe Terezinha que sempre permearam
na minha vida a importância do estudo e da educação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que se mostrou tão presente na minha trajetória nesta Escola.

Aos meus avós ausentes vovô Bernardes, vovó Rita e vovô Prof. Guilherme por zelarem por mim.

À queridíssima amiga e orientadora Prof(a). Ana Luiza, meu exemplo, obrigada pela amizade e por nunca ter duvidado que eu fosse capaz.

Ao Prof. Ricardo pela paciência, ensinamentos e amizade.

À amiga Marcelina que, com sua presença, tornou tudo menos difícil durante o experimento.

Aos amigos do grupo, em especial, Paulo Vítor, Pancoti, Alexandre, André, Lamim... Sem vocês a conclusão deste trabalho não seria possível.

Aos alunos de Iniciação Científica: Rafael, Cacadi, Gabi Siano, Mônica, Gabi Maldini, Pedro, João Pedro, Carlos, Thiago, Aristóteles, Armando... Muito obrigada!

Às novilhas, que fizeram valer a pena e alegraram todos os dias de trabalho.

Aos queridos Professores Último e Lobão do Depto. de Clínica e Cirurgia da Escola de Veterinária, que eu adoro tanto, por serem tão solícitos ao me ajudarem com os animais que precisaram de cuidados clínicos. Aos residentes da Clínica de Ruminantes, Gustavo e Leandro (Marrentinho), MUITO OBRIGADA!

À Prof(a). Fabíola do Depto. de Clínica e Cirurgia da Escola de Veterinária que, com muita simpatia, colaborou enormemente com as análises de creatinina.

Ao Prof. Norberto e ao amigo Biziu (Prof. Gustavo), que possibilitaram o início da minha paixão pela calorimetria na Escola de Veterinária.

Ao Prof. Lúcio, pelas observações sempre sinceras.

Ao meu grande amor Psycho, por ter aceitado com carinho e paciência meu mau-humor agudizado nesta etapa da minha vida. Te amo!

Aos “Bests”: Best DJ, Nelore e Popó por serem grandes companheiros, descarregando o feno, limpando o curral e fazendo os cabrestos. Companheiros pra sempre!

Às amigas (e amigo) Josie, Guga, Livia, Gabi, Carol, Bê e Turmalina por serem sempre meu refúgio.

Ao amigo Alessander, pela calma, pelos estudos, por ajudar no experimento e nas análises estatísticas.

Ao Toninho, que atendia às minhas dúvidas no Laboratório de Nutrição, sempre com muita paciência.

À amiga Renatinha que, com muito carinho, sempre me botou pera frente.

À minha família que sempre me incentivou nessa trajetória, mesmo sem entender muito bem o sentido desse trabalho.

Ao Berg e ao Luigi, por terem sido “vizinhos de experimento” tão bacanas!

Ao Milton (Baixinho) que contribui como mestre na minha formação, sempre compreendendo minha ausência na fazenda.

Às meninas do colegiado, Paula e Heloísa, sempre dispostas a ajudar.

Ao Dr. Eduardo, médico e amigo, por ser um dos mais sábios conselheiros.

Aos porteiros do LAMCA Sr. Nilson e Roberto, pelo bom-humor, mesmo nas manhãs chuvosas e pelo carinho com os animais.

À EPAMIG, em especial ao pesquisador José Reinaldo Mendes Ruas pelas novilhas cedidas para a realização deste experimento.

À CAPES pela bolsa de estudos durante o mestrado

À FAPEMIG por compreender a importância deste trabalho contribuindo irrefutavelmente para sua realização.

Ao CNPq pela contribuição na realização deste projeto pioneiro.

Aos colegas contemporâneos de pós-graduação, que sempre tornam tudo bem mais divertido!

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	16
1.1 Calorimetria: conceitos e princípios básico	16
1.2 Partição de energética em ruminantes	19
1.3 Metabolismo basal e manutenção	21
1.4 Exigência de energia para manutenção	23
1.5. Fatores que afetam a exigência de energia para manutenção	26
1.6. Eficiência na utilização da energia	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
CAPÍTULO II - BALANÇO ENERGÉTICO E EXIGÊNCIA DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA DE NOVILHAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR	44
2.1. INTRODUÇÃO	44
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	45
2.2.1. Local de execução e duração do período experimental.....	45
2.2.2. Período Pré-Experimental.....	45
2.2.3. Animais Utilizados e Instalações Experimentais.....	45
2.2.4. Dieta experimental e seu fornecimento.....	46
2.2.5. Ensaio de Digestibilidade Aparente e Coleta de Urina.....	47
2.2.6. Mensurações na Câmara Respirométrica.....	49
2.2.6.1. Descrição do sistema de respirometria em circuito aberto.....	49
2.2.6.2. Rotina na utilização da respirometria calorimétrica.....	51
2.2.6.3. Mensurações na câmara com animais alimentados.....	52
2.2.6.4. Mensurações na câmara com animais em jejum.....	54
2.2.7. Análises Laboratoriais.....	54
2.2.8. Fracionamento energético, exigência de energia líquida e eficiência de utilização de energia.....	56
2.2.9. Análise Estatística.....	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- Tabela 1.** Equivalentes calóricos dos nutrientes e trocas respiratórias.....18
- Tabela 2.** Gastos energéticos nas principais funções de manutenção.....22
- Tabela 3.** Requerimentos básicos e correções aplicadas para estimar energia metabolizável e líquida para manutenção em diferentes sistemas de alimentação utilizados para bovinos.....29
- Tabela 4.** Valores e equações propostas por diferentes comitês para a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m).....35

CAPÍTULO II

- Tabela 5.** Composição bromatológica do feno utilizado na alimentação dos animais, expressa em porcentagem da matéria seca (%).....46
- Tabela 6.** Composição do suplemento mineral utilizado na dieta experimental.....47
- Tabela 7.** Consumos diários de matéria seca (CMS), matéria orgânica (CMO) e fibra insolúvel em detergente neutro (CFDN) expressos em quilogramas por dia (Kg/dia), em gramas por quilograma de peso vivo metabólico ($g/kg PV^{0.75}$) e em porcentagem do peso vivo (%PV) e digestibilidade aparente da MS, MO e FDN expressas em porcentagem.....58
- Tabela 8.** Fracionamento energético diário (Mcal/dia) de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir alimentadas próximo ao nível de manutenção.....60
- Tabela 9.** Partição da energia dietética de um novilho de engorda proposta por Kellner (1909) e de um novilho contemporâneo normalmente empregado em sistemas de confinamento atuais (dados estimados pelo NRC, 1996).....61
- Tabela 10.** Energia bruta, digestível, metabolizável e líquida, expressas em Mcal/kg da dieta experimental à base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*).....67
- Tabela 11.** Exigências de energia líquida e energia metabolizável para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir recebendo alimentação restrita com dieta a base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*).....69

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Esquema de partição energética nos animais.....21
- Figura 2.** Representação da relação entre energia retida (ER) e energia metabolizável (EM).....34

CAPÍTULO II

- Figura 3.** Instalação e disposição dos animais para a realização do ensaio de digestibilidade aparente.....48
- Figura 4.** Diagrama simplificado do equipamento de respirometria.....50
- Figura 5.** (a) Novilha F1 Holandês x Gir e (b) novilha Gir no interior da câmara respirométrica do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da UFMG.....54

LISTA DE ABREVIATURAS

CE	Consumo de energia
CEM	Consumo de energia metabolizável
CFDN	Consumo de fibra insolúvel em detergente neutro
CH ₄	Metano
CMO	Consumo de matéria orgânica
CMS.....	Consumo de matéria seca
CO ₂	Dióxido de carbono
EB	Energia bruta
ECC	Escore de condição corporal
ED	Energia digestível
EL	Energia líquida
EL _g	Energia líquida para ganho
EL _L	Energia líquida para lactação
EL _m	Energia líquida para manutenção
EM.....	Energia metabolizável
EMB.....	Energia do metabolismo basal
EM _m	Energia metabolizável para manutenção
ER	Energia retida
FDN	Fibra insolúvel em detergente neutro
IC	Incremento calórico
KcalQuilocaloria
k _g	Eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho
Kg.....	Quilograma
K _m	Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (EL _m / EM _m)
L	Litros
Mcal	Megacaloria
N ₂	Nitrogênio
NDT	Nutrientes digestíveis totais
O ₂	Oxigênio
PB	Proteína bruta
PC.....	Produção de calor
PCVZ	Peso de corpo vazio

PV Peso vivo

$PV^{0,75}$ Peso vivo metabólico

q_m Metabolizabilidade da dieta (EM / EB)

RESUMO

Foram determinados o fracionamento energético, exigências de energia líquida para manutenção e eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir, com peso vivo médio de 450 kg por respirometria calorimétrica. O CMS, CMO, CFDN e CE foram superiores para as novilhas mestiças, sem, entretanto, acarretar diferenças na digestibilidade aparente destes. As perdas da energia bruta ingerida pelas fezes, urina e metano foram em média 61%; 5,8% e 5,9%, respectivamente, sem haver diferença estatística entre os tratamentos. O percentual da EB perdida como IC da dieta foi semelhante para as novilhas Gir e F1 HxG, correspondendo a cerca de 18%, A EM correspondeu a 49% da EB ingerida e a conversão da EM para EL (k) teve eficiência de 63%. As densidades energéticas (EB, ED, EM e EL, expressas em Mcal/kg) da dieta foram semelhantes entre os grupos genéticos, sendo o teor de EL médio da mesma de 1,39 Mcal/kg. A exigência de energia líquida para manutenção foi semelhante entre os grupos raciais, com valor médio de 84,43 kcal/kg PV^{0,75}.

Palavras-chave: jejum, metabolismo energético, respirometria, zebu

ABSTRACT

The energy balance, energy requirements for maintenance and net efficiency of utilization of metabolizable energy for maintenance of Gir and F1 Holstein x Gir with average weight of 450 kg, were determined by using the respirometry technique. The DMI, OMI, NDFI and EI was higher for crossbred heifers, however, without cause differences in apparent digestibility. The loss of gross energy intake in the feces, urine and methane were 61%, 5.8% and 5.9%, respectively, without statistical difference between treatments. The percentage of GE lost as HI diet was similar for Gir and F1 HXG heifers being about 18% of ME accounted for 49% of GE intake and its conversion to NE (k) had 63% efficiency. The energy density (EB, ED, EL and EM, expressed in Mcal/kg) of the diet was similar between the genetic groups, and the content of NE of the same averaged 1.39 Mcal/kg. The net energy for maintenance was statistically similar between groups, with an average of 84.43 kcal / kg LW^{0,75}.

Keywords: energy metabolism, fasting, respirometry, zebu

INTRODUÇÃO GERAL

Cerca de 70% da produção de leite no Brasil provêm de vacas mestiças Holandês x Zebu. Na pecuária leiteira, considera-se gado mestiço aqueles animais derivados do cruzamento de uma raça pura de origem européia e que seja especializada na produção de leite (Holandesa, Pardo Suíço, Jersey, etc), com uma raça de origem indiana, que compõe a subespécie zebu (Gir, Guzerá, Indubrasil, Sindi ou Nelore). A raça Holandesa predomina nos cruzamentos, sendo que o mais comum é o de Holandês com o Gir, mais conhecido como "Girolando" (Alvim et al., 2005).

A utilização de sistemas internacionais que postulam as exigências nutricionais de bovinos especificamente para gado de leite, como NRC (2001), é uma prática disseminada entre os profissionais da área de nutrição animal, em função da carência de dados relacionados a animais deste tipo de produção no cenário nacional.

O objetivo deste trabalho é dar um dos primeiros passos na determinação de exigências nutricionais de animais zebuínos e mestiços destinados à produção leiteira no Brasil pela determinação de exigências de energia líquida para manutenção, eficiências de utilização de energia e avaliação da partição energética de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir, utilizando-se a metodologia de respirometria calorimétrica.

Referências Bibliográficas:

ALVIM, M. J.; PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, M. M.; AROEIRA, L. J. M.; CARVALHO, L. A.; NOVAES, L. P.; GOMES, A. T.; MIRANDA, J. E. C.; RIBEIRO, A. C. C. L. Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/racas.htm>. Embrapa Gado de Leite. Acesso em 9/jan/2011.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Respirometria calorimétrica: conceitos e princípios básicos

O estudo da energia tem despertado o interesse de diversos pesquisadores ao longo da história. Em um dos primeiros trabalhos a respeito, Leonardo Da Vinci, em sua publicação “*Codex Atlanticus*” postulou que “onde a chama não possa sobreviver, nenhum animal que respira o fará”. Posteriormente, Robert Boyle (1627-1691) concluiu que tanto a combustão quanto a vida necessitavam de uma substância presente no ar. A mesma observação relacionando “fogo x vida” foi feita por seu contemporâneo, o cientista John Mayow (1643-1691), que construiu o primeiro “respirômetro” semi-quantitativo ao colocar uma vela e um rato sob uma mesma redoma, observou que logo após a chama da vela se apagar, ocorria o óbito do animal. No século seguinte, John Priestly (1733-1804) encontrou indícios da diversidade de gases que compõe o ar atmosférico (como por exemplo, gás carbônico e nitrogênio) e observou que diferentes reações químicas poderiam produzir gases capazes de sustentar a vida (Lighton, 2008).

Muito embora tais pesquisadores tenham contribuído brilhantemente para a compreensão da bioenergética, o cientista Antonie Lavoisier (1743-1794) merece uma atenção especial pela grande importância de suas descobertas. Foi ele quem descobriu a existência e a importância do gás que nomeou de “*oxigène*” (oxigênio). Lavoisier definiu a respiração como um processo lento de combustão. Seus estudos levaram à criação da calorimetria indireta, (que permite a avaliação de taxas metabólicas em função do consumo de oxigênio), bem como da calorimetria direta (ao colocar um rato em uma redoma circundada por gelo, pôde avaliar a produção de calor do animal em função da formação de água no estado líquido) (Kleiber, 1975).

Um avanço fundamental para o desenvolvimento da calorimetria foi a postulação da primeira lei da termodinâmica pelo alemão Julius Robert von Mayer (1814-1878) em 1842, baseada em observações feitas pelo químico suíço Germain Henry Hess (1802-1850). A primeira lei, conhecida como “Lei de Conservação das Massas” nos diz que a energia pode ser transferida ou transformada, mas não pode ser destruída ou criada em um sistema. Mais tarde, em seu trabalho sobre equivalência entre trabalho e calor, James Prescott Joule (1818-1889) acabou

por corroborar o conceito proposto por Mayer em relação à conservação da energia (Ferrell e Oltjen, 2008).

Ainda no século XIX, Berthelot (1827-1907) desenvolveu a bomba calorimétrica adiabática. Sua criação obedeceu ao princípio da termodinâmica de que a energia é apenas transferida e que, portanto, a energia liberada na forma de calor durante a combustão de uma substância orgânica seria equivalente à energia bruta disponível, no caso de um alimento, ou perdida pelo organismo animal, no caso de excretas.

O desenvolvimento dos conceitos de bioenergética buscando interações entre trocas gasosas e produção de calor teve avanço significativo com o trabalho de Carl Von Voit, que utilizou um aparato de respirometria de circuito aberto, desenvolvido por Max Von Pettenkofer (1818-1901). Outros pesquisadores (todos alunos de Von Voit) como Henry Armsby, Wilbur Atwater, Oskar Kellner e Max Rubner, utilizando equipamentos semelhantes, desenvolveram trabalhos em relação ao metabolismo da energia (Ferrell e Oltjen, 2008).

Kellner e Köhler (1900), citados por Johnson (2003), desenvolveram o conceito de “Equivalente Amido” utilizando um sistema baseado no conceito de energia líquida de alimentos no qual o valor energético dos alimentos era apresentado em relação ao teor energético do amido, que foi utilizado por muitos anos na Europa e Rússia, servindo também como base para o desenvolvimento de sistemas de alimentação posteriores. No mesmo ano, Atwater e Bryant desenvolveram o sistema *Physiological Fuel Values* (Valores de Combustíveis Fisiológicos) baseado nos valores de energia metabolizável de carboidratos, gorduras e proteínas – sendo o valor energético desta última corrigido para o valor energético do nitrogênio excretado. Armsby (1903; 1907), também utilizando calorimetria respirométrica, desenvolveu o conceito de energia líquida e definiu a energia metabolizável (EM) como sendo a energia líquida (ou energia retida, ER) somada ao incremento calórico oriundo do alimento (IC): $EM = ER + IC$. A calorimetria indireta pode então ser definida como a dedução da produção de calor a partir de reações químicas do organismo.

É notável que o sistema proposto por Armsby no início do século XX, contenha boa parte dos princípios empregados para o desenvolvimento dos sistemas de energia líquida utilizados atualmente, como por exemplo, o AFRC (1990; 1993) (Johnson, 2003).

Sabendo-se que a oxidação de 1 mol de glicose a 6 moles de água e seis moles de dióxido de carbono ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$) liberam 673 kcal (e conhecendo o mesmo para

outras moléculas orgânicas), é possível calcular a quantidade de calor que um animal produziu conhecendo a quantidade de carboidratos, gordura e proteína que foram catabolizados a CO₂, H₂O e ureia (Kleiber, 1972). Para este cálculo, são utilizados os equivalentes calóricos presentes na tabela 1.

Tabela 1. Equivalentes calóricos dos nutrientes e trocas respiratórias

Calor de combustão	kcal/g			
Gordura	9,5			
Proteína	5,7			
Carboidratos	4,0			
(glicose: 3,7; sacarose: 4,0; amido: 4,0; glicogênio: 4,2 kcal/g)				
Energia catabolizável	kcal/g			
(equivalente de combustível fisiológico)				
Gordura	9,5			
Proteína	5,7			
Carboidratos	4,0			
Cálculo para proteína				
Calor de combustão por grama de N da proteína (5,7 x 6,25)	35,6			
Perda na urina (calor de combustão por mol de ureia (60g): 152 kcal/g de N na ureia (152/28))	5,4			
Resíduo de energia catabolizável por grama de N na proteína:	(36,5-5,4)			
Energia catabolizável por grama de proteína: (30,2/6,25)	4,8			
Troca respiratória	Kcal/L		Kcal/mol	
Produção de calor animal resultante do catabolismo de:	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
Gordura	4,7	6,6	105	148
Proteína	4,5	5,6	101	125
Carboidrato (amido)	5,0	5,0	112,0	112,0

(Kleiber, 1972)

Na década de 40, a aplicação da respirometria no estudo do metabolismo humano já havia tido sido descrita (Abramson 1943; Weir, 1949 citados por McLean e Tobin, 1987). Um grande marco da respirometria aplicada ao estudo metabólico de ruminantes, entretanto, só viria a ocorrer em 1965, com a publicação da equação de Brouwer (Brouwer, 1965). A

equação permitiu o cálculo da produção de calor (PC, kcal), através do consumo de oxigênio (O₂, L) produção de dióxido de carbono (CO₂, L) e metano (CH₄, L) e do nitrogênio urinário (N, g)

$$PC = (3,866 \times O_2) + (1,200 \times CO_2) - (0,518 \times CH_4) - (1,431 \times N)$$

Ao aliarmos a teoria termodinâmica de Hess e Mayer, com o princípio da bomba calorimétrica desenvolvida por Berthelot (capaz de avaliar o conteúdo energético do alimento e da energia perdida através das fezes e da urina), o desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos para a avaliação da produção de gases pelos animais ao longo do tempo, a equação de Brouwer e a tecnologia disponível nos dias hoje, abre-se uma gama de possibilidades no estudo do metabolismo energético dos animais, incluindo a avaliação dos alimentos e a determinação das exigências nutricionais de energia.

1.2. Partição energética da dieta em ruminantes

A clássica partição da energia consiste em avaliar a quantidade de energia contida em um alimento ou dieta e quantificar as perdas desta mesma energia nos processos fisiológicos.

A energia contida no alimento ou dieta é definida como *energia bruta (EB)* e corresponde à energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O) em ambiente rico em oxigênio (White 1928; Sturtevant, 1945; Kleiber, 1950a, citados por Kleiber 1972).

A energia bruta ingerida subtraída da energia bruta perdida nas fezes é denominada como energia digestível (ED). A proporção de energia digestível disponível para o animal em relação à energia bruta do alimento pode variar de 0,30 para forragens muito maduras a 0,90 para grãos processados e de alta qualidade. O valor da energia digestível possui importância na avaliação do alimento ou dieta, por refletir sua digestibilidade. Entretanto, falha ao considerar as perdas ocorridas em função de processos digestivos, podendo superestimar o valor de energia digestível para dietas de baixa digestibilidade (ricas em forragem) em relação a dietas ricas em grão, de alta digestibilidade (NRC, 2000). O NDT (nutrientes digestíveis totais), ainda muito utilizado na formulação de dietas, assemelha-se à energia digestível, com a diferença de conter um fator de correção para o extrato etéreo digestível. O NRC (2000; 2001) propõe que um quilograma de NDT contém 4,4 Mcal de energia digestível, mas deve-

se ter cuidado ao adotar este valor na formulação de dietas. A energia digestível é fortemente influenciada pelo nível de ingestão de alimento pelo animal, sendo especialmente notado em dietas de animais de alta produção. Em uma revisão, Reid et al. (1980) avaliaram sete dietas compostas por forragem e concentrado, fornecidas em níveis de até cinco vezes o consumo da manutenção, e observaram haver depressão da energia digestível entre 2,1 e 6,2% (com média de 4,4%) para cada aumento na ingestão em relação à manutenção. O NRC (2001) menciona que o NDT de dietas com mais de 60% de digestibilidade deve ser corrigido em função do consumo.

A energia metabolizável (EM) é definida pelo ARC (1980) como a diferença entre a energia bruta do alimento e a energia bruta perdida nas fezes, urina e gases da digestão (principalmente metano). A produção de metano em ruminantes corresponde, em média, a uma perda energética equivalente de 6% da energia bruta ingerida (Johnson e Johnson, 1995). Um litro de metano corresponde a uma perda de 9,47 kcal ou 39,6 KJ (Chwalibog, 2004). A eficiência em converter a energia digestível em energia metabolizável é cerca de 0,80, podendo esta relação variar consideravelmente em função do nível de ingestão de matéria seca, idade do animal e tipo da dieta (ARC, 1980; NRC 2000). Descontando-se as perdas energéticas já mencionadas, a energia metabolizável pode então ser fracionada em apenas duas partes: a energia produzida na forma de calor (PC) pelos diversos processos metabólicos e a energia utilizada na manutenção de funções vitais e formação de produtos como leite e carne (energia retida, ER), sendo então definida como $EM = PC + ER$.

Após considerar todas as perdas energéticas, ainda deve ser considerada a perda de energia na forma de calor pelo do metabolismo dos alimentos e a transformação de nutrientes já metabolizados em produtos orgânicos mais complexos, como gordura e proteína (Chwalibog, 2004). Assim, obtém-se o valor de energia líquida (EL). A energia líquida de um alimento ou dieta é a parte da energia do alimento disponível para manutenção corporal e produção. O conteúdo de energia líquida de um produto de origem animal é numericamente igual ao seu conteúdo de energia bruta (por exemplo, para saber a energia líquida para lactação, bastaria avaliar a energia bruta do leite produzido) (AFRC, 1993).

A partição energética pode ser visualizada no esquema da figura 1 (Ferrell e Oltjen, 2008).

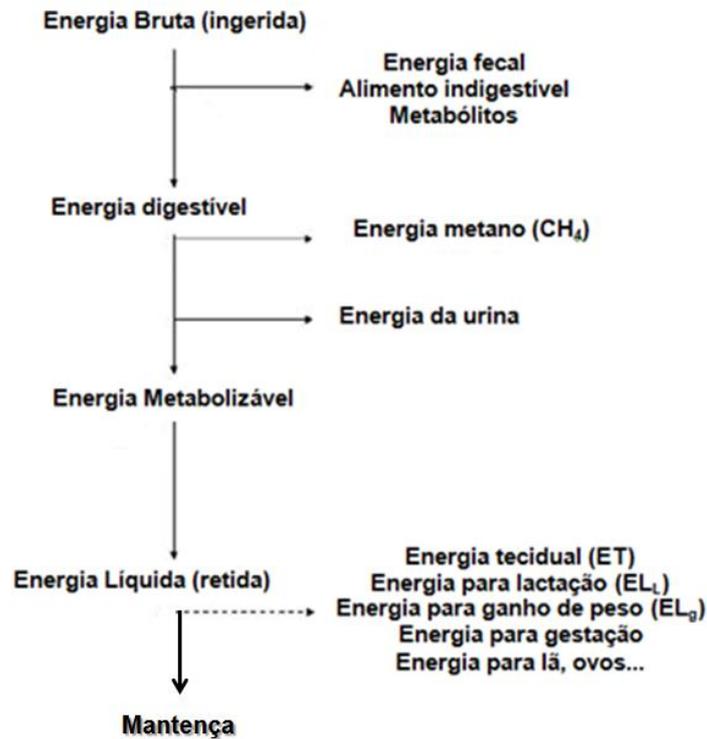


Figura 1. Esquema da partição energética nos animais (Adaptado de Ferrell e Oltjen, 2008)

1.3. Metabolismo basal e manutenção

A energia metabolizável para manutenção é composta por dois componentes principais. O primeiro é o metabolismo basal, que corresponde à energia mínima necessária para suportar os processos vitais em um animal saudável em jejum, em estado pós-absortivo (48 a 144 horas de jejum após a alimentação), realizando atividade limitada em ambiente termoneutro (NRC, 1981). O segundo componente associado à exigência de energia metabolizável para manutenção envolve diversos fatores associados à produção de calor originada pela alimentação em nível de manutenção, isto é, pelo *incremento calórico*, como: regulação da temperatura corporal, atividade voluntária, digestão, absorção e assimilação de nutrientes, fermentação, formação e excreção de resíduos (Cannas, 2010).

A diferença entre o metabolismo basal e a manutenção consiste no fato de que, quando em manutenção, o animal não está em jejum (Resende, 2011). O requisito de energia metabolizável para manutenção (EM_m) é definido como o consumo de energia metabolizável (CEM) que corresponderá exatamente à produção de calor, sem acarretar nenhuma perda ou ganho de reservas corporais (Webster, 1978, citado por Williams e Jenkins, 2003). Isto ocorrerá quando a energia retida for igual à zero ($ER = 0$) e a produção de calor for, matematicamente, igual à

ingestão de energia metabolizável ($EM = PC$), uma vez que $EM = ER + PC$. A tabela 2 apresenta os gastos energéticos nas principais funções de manutenção.

Tabela 2. Gastos energéticos nas principais funções de manutenção

Funções vitais	% gasto energético
Renal	6 – 7
Cardíaca	9 – 11
Neuronal	6 – 7
Respiração	10 – 15
Hepática	5 – 10
Total	36 – 50
Manutenção celular	
Resíntese proteica	9 – 12
Resíntese lipídica	2 – 4
Transporte de íons	30 – 40
Total	40 – 56

Fonte: Adaptado de Milligan e Summers (1986)

A energia líquida para manutenção, embora tenha fundamental importância nos sistemas de energia líquida, não pode ser determinada diretamente por meios experimentais. Foi então estipulado que a exigência de energia líquida para manutenção poderia ser obtida pela mensuração dos requerimentos de energia do metabolismo basal (EMB), que por sua vez, corresponde à produção de calor de um animal em jejum. A princípio, a determinação da energia líquida para manutenção através da produção de calor do animal em jejum não seria apropriada, pois esta última representa os requerimentos de ATP ao nível celular somada ao calor produzido na formação de ATP pela mobilização das reservas corporais. A forma mais apropriada em se obter a energia líquida para manutenção seria através da relação $EL_m = EMB * k_b$, na qual k_b é a eficiência de conversão das reservas corporais para energia útil na forma de ATP. Entretanto, o k_b possui mínima variação (pelo fato de que a contribuição das reservas corporais na geração de ATP varia muito pouco nos animais em jejum com histórico nutricional semelhante), fazendo com que a energia necessária para o metabolismo basal e a produção de calor em jejum tenham uma forte relação conceitual (Birkell e Lange, 2001). Isto justifica a utilização da produção de calor em jejum como o valor adotado para a energia líquida de manutenção.

1.4. Exigência de energia para manutenção

A energia líquida para manutenção foi definida por diversos autores como a energia requerida para que a variação de energia corporal seja equivalente à zero (estase energética) ou como a energia requerida para que não haja nem perda nem ganho de peso pelo animal (estase de peso). Cerca de 70 a 75% da exigência total de energia corresponde é direcionada para manutenção (Ferrell e Jenkins, 1985).

Um trabalho clássico no estudo de exigências nutricionais de energia foi aquele desenvolvido por Lofgreen e Garrett (1968). Os autores trabalharam com bovinos em crescimento e em terminação, separando os requisitos energéticos do animal em exigência de energia líquida para manutenção (EL_m) e exigência de energia líquida para ganho (EL_g). Neste trabalho, foram utilizados 208 bovinos de corte e cinco rações com 100, 40, 25, 20 e 2% de volumoso. Cada ração foi oferecida em dois ou três níveis de consumo (manutenção, médio e à vontade). A retenção de energia foi estimada nas carcaças dos animais, após o sacrifício seriado, no início e no fim do experimento. Mediu-se o consumo de energia metabolizável e o teor de EM das dietas foi determinado em carneiros. A produção do calor de jejum foi estimada por regressão, considerando-se os níveis de alimentação e extrapolando-se a produção de calor para o nível zero de ingestão de EM. Segundo esses autores, os requisitos de energia líquida para manutenção equivalem à produção de calor do animal em jejum. Quando não há consumo de EM, o incremento calórico é nulo e os componentes da produção de calor são o metabolismo do jejum e o calor das atividades voluntárias do animal, correspondendo à exigência de manutenção. Para estes autores, a energia necessária para atender as exigências de manutenção seria equivalente a 77 Kcal/kg PCVZ^{0,75}/dia. O valor encontrado por Lofgreen e Garret (1968) acabou sendo adotado pelo NRC (1984; 1996; 2000).

O NRC (2001) expressa as exigências de energia para manutenção e para lactação em unidade de energia líquida para lactação (EL_L). O sistema de Energia líquida para a lactação usa uma única unidade energética (EL_L) tanto para manutenção quanto para produção de leite, porque a energia metabolizável (EM) é utilizada com eficiência similar para manutenção (0,62) e produção de leite (0,64) quando comparada diretamente com medidas de produção de calor. Em relação os valores de energia líquida para manutenção, o NRC (2001) menciona o trabalho realizado por Flatt (1995) em que, utilizando vacas com aptidão leiteira, secas e vazias, encontrou valor de 73 kcal/kg PV^{0,75} para a produção de calor em jejum destes animais. O conselho sugere uma correção para atividade em relação ao valor descrito por Flatt (1995) de

10% e acaba por definir a exigência de energia líquida para manutenção em 80 kcal/kg PV^{0,75}. A fim de corroborar sua sugestão, há uma comparação entre o valor sugerido e o adotado pelo NRC (2000) de 77 Mcal/kg PV^{0,75} de peso de corpo vazio. São realizadas algumas considerações a fim de extrapolar este valor para kg PV^{0,75} de peso vivo em animais leiteiros (Holandês e Jersey). É assumida por eles uma equivalência de 85% do peso de corpo vazio metabólico em relação ao peso vivo metabólico, e desta forma a exigência em termos de quilograma de peso vivo seria de 65 kcal/ kg PV^{0,75}. Em relação à raça dos animais, o NRC (2001) também assume o fator de correção de 1,2 - também propostos pelo NRC (2000) - isto é, 20% a mais no valor de exigência de animais das raças Holandês e Jersey, o que acaba por acarretar um valor final de exigência de energia líquida para estes animais de 79 kcal/ kg PV^{0,75} (valor este muito próximo ao inicialmente proposto de 80 kcal/kg^{0,75}).

Já o Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1993), considera o requisito de EL para manutenção como 0,53 MJ / (PV/1,08)^{0,67} ou 69,76 kcal / (PV/1,08)^{0,67} para machos castrados e novilhas. O multiplicador 1,08 refere-se à relação existente entre o peso vivo e o peso vivo em jejum. Ao valor base já mencionado são acrescentadas margens de segurança para atividade, sendo 5% para gado de corte e 10% para gado de leite. Para machos não castrados, recomenda-se um acréscimo de 15%.

Para o Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO, 2007), os requisitos de energia líquida para manutenção são considerados como 0,292 MJ/kg^{0,75} (69,76 kcal/kg PV^{0,75}) com multiplicadores para *Bos taurus* (1,4), *Bos indicus* (1,2), sexo (1 para castrados e fêmeas; e 1,15 para touros) e idade ($\exp(-0,03 \text{ idade})$). São também feitos ajustes para produção, pastoreio e estresse pelo frio.

O Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS – (Fox et al., 2004) utiliza o valor de 77 kcal /kg PV^{0,75}. Os requisitos de manutenção variam com o peso, o nível de produção, a atividade e o ambiente. Diversos fatores são utilizados para alterar essa estimativa básica de acordo com as características genéticas e ambientais. Por exemplo, considera-se que o Holandês possua exigências de manutenção 12% superiores e os zebuínos 11% inferiores em relação ao valor básico. O modelo requer estimativas representativas de condições ambientais (temperatura, velocidade do vento, superfície específica e isolamento térmico do animal), tipo (carne ou leite, *Bos taurus* ou *Bos indicus*) e história nutricional prévia, estimada a partir do escore de condição corporal (Fox et al., 1995). Desta forma, segundo o CNCPS 5.0 (Fox et al., 2004) tem-se:

$$\text{NEm} = ((\text{PCV}^{0,75} \times ((a1 \times \text{COMP}) + a2)) + \text{ACT} + \text{NEmcs}) \times \text{NEmhs}$$

Na qual: NEm = energia líquida para manutenção; PCV = peso do corpo vazio (Kg); COMP = ajuste para plano anterior de nutrição; a2 = ajuste para temperatura anterior; NEmcs = energia líquida necessária para estresse térmico por frio; NEmhs = é o ajuste da NEm para estresse térmico por calor. Os requisitos para o metabolismo basal de bovinos de diferentes raças podem ser considerados como: a1 = 0,070, se bovinos de corte *Bos taurus*; 0,073 se vacas em lactação; 0,078 se novilhas ou novilhos; 0,064 se *Bos indicus*; 0,069 se raças tropicais de duplo propósito (Fox et al., 2004).

Em uma compilação de dados nacionais sobre exigências nutricionais de bovinos de corte, Valadares Filho et al. (2010) propõem que para animais em confinamento, o valor de energia líquida para manutenção seria de 74,2 kcal/kg PCVZ^{0,75}, enquanto que para animais em pastejo este valor seria de 71,7 kcal/kg PCVZ^{0,75}. Embora não se tenha testado estatisticamente a diferença entre tais valores, segundo os autores, esta pequena discrepância é independente da dieta e parece estar relacionada à melhor adaptação dos animais sob regime de pastejo em seu metabolismo basal. Adaptando-se melhor ao meio, estes animais diminuem seus custos energéticos associados às funções vitais básicas. Não foram identificados efeitos de raça ou classe sexual nos modelos propostos por estes autores.

Em trabalho comparando fêmeas Holandesas e zebuínas, Borges (2000), utilizando a metodologia proposta por Lofgreen e Garrett (1968), obteve exigências de ELM para as raças Guzerá e Holandesa de 61,02 e 76,42 kcal/kg PCVZ^{0,75}, respectivamente. Esses valores correspondem à produção de calor do animal em jejum, representando a quantidade de energia líquida que deve ser ingerida para manter em equilíbrio energético, ou seja, a exigência de ELM. As novilhas da raça Guzerá apresentaram exigência de ELM aproximadamente 20% inferior à das Holandesas. Estes resultados apresentaram boa aproximação com a literatura, que menciona menores exigências de manutenção para raças zebuínas em relação às de origem europeia. Para o NRC (2000), as raças leiteiras requerem 20% mais energia para manutenção do que as raças de corte *Bos taurus*, que por sua vez requerem 10% mais que animais *Bos indicus*.

Silva (2002a) realizou uma compilação de dados nacionais para exigências nutricionais. Para os valores de energia líquida de manutenção, houve diferenças entre os grupos genéticos avaliados. Animais F1 (*Bos indicus* x *B. taurus*), especializados para corte, apresentaram o

menor valor, sendo este equivalente a 70,77 kcal/kg PCVZ^{0,75}. Em seguida, animais zebuínos, mestiços leiteiros e holandeses apresentaram 71,30; 79,65 e 88,97 kcal/kg PCVZ^{0,75}, respectivamente. A média da ELM dos mestiços leiteiros (79,65 kcal/PCVZ^{0,75}) apresentou valor bem próximo ao recomendado pelo NRC (2000). Para os animais holandeses o valor encontrado foi 11,6% superior, enquanto que para zebuínos o valor foi 11,8% inferior ao sugerido pelo referido conselho.

Ao realizar uma meta-análise contemplando dados de 389 animais da raça Nelore e seus cruzamentos com animais taurinos de diversos estudos, Chizzotti (2008) encontrou para a exigência de energia líquida para manutenção o valor de 75 kcal/kg PCVZ^{0,75}, sem contudo, encontrar efeitos de raça e sexo. No mesmo trabalho, o autor menciona a semelhança entre o valor encontrado em relação ao valor citado por Lofgreen e Garret (1968) de 77 kcal/kg PCVZ^{0,75}, por Freitas et al. (2006) de 79 kcal/kg PCVZ^{0,75} e por Paulino (2004) de 74,5 kcal/kg PCVZ^{0,75}.

Silva (2011) realizou o primeiro trabalho nacional utilizando câmara respirométrica para a determinação das exigências nutricionais de fêmeas bovinas em crescimento. O autor comparou diferentes raças, sendo trabalho realizado com animais da raça Gir leiteiro, Holandês e F1 Holandês x Gir. Os valores de ELM encontrados foram 85,2; 96,4 e 102,3 Kcal/PV^{0,75}, respectivamente, para novilhas da raça Gir, Holandesa e F1 Holandês x Gir.

1.5. Fatores que afetam a exigência de energia para manutenção

A investigação científica a respeito dos requisitos energéticos para manutenção tem uma importância especial, pois muitos são os fatores que podem alterá-lo. Como a energia líquida para manutenção é composta pelo metabolismo basal e outras fontes de calor, diversos fatores relacionados à dieta do animal e ambientais podem afetá-la (Cannas, 2010). A tabela 3 indica os diversos fatores que podem alterar o valor proposto de energia líquida para manutenção dos principais comitês utilizados na nutrição de ruminantes.

Quanto às correções no quesito “raça” há algumas diferenças entre os sistemas que a consideram. O CNCPS (Fox et al., 2004) considera uma correção para 34 diferentes raças, enquanto que o CSIRO (2007) faz apenas correções para diferenciar *B. taurus* e *B. indicus*, assim como faz o NRC (2000). Neste último, vale ressaltar também uma correção para raças com aptidão leiteira ou dupla aptidão, sendo a exigência para manutenção destas 20% superior

ao valor básico de 77 kcal/kg PCVZ^{0,75}. O gênero também parece exercer influência nos requisitos energéticos para manutenção, uma vez que três dos principais sistemas chamam a atenção para este fator. Segundo o AFRC (1993), CSIRO (2007) e NRC (2000) existe, para touros, um multiplicador de 1,15 (15% a mais na exigência de energia para manutenção).

A atividade física realizada pelo animal exerce um papel fundamental na determinação das exigências para manutenção. Para garantir o atendimento das exigências nutricionais, é proposta pelo AFRC (1993) uma margem de segurança de 5% para gado de corte e 10% para gado de leite. Esta margem de segurança relaciona-se a um aumento no fornecimento da energia metabolizável, a fim de garantir que haja uma diminuição dos animais subalimentados (por exemplo, o aumento de 10% no fornecimento de energia metabolizável na dieta de vacas leiteiras diminui em 30% o número de animais subalimentados).

O CNCPS (Fox et al., 2004), CSIRO (2007) e NRC (2000) – este último baseando-se na equação proposta pelo CSIRO (1990) – incluem como atividade as horas em que os animais permanecem em pé, o número de mudanças de posição e componentes relacionados à distância e topografia percorrida pelo animal.

Já o NRC (2001) assume que as para animais mantidos em sistema de confinamento, uma adição de 10% à exigência de energia para manutenção seria suficiente para prever o acréscimo relativo à atividade deste sistema de criação, enquanto que em condições de pastejo deve-se considerar 0,45 kcal/ kg PV^{0,75}/ km caminhado, acrescido de 1,2kcal/ kg PV^{0,75} para atividade de pastejo.

As atividades relacionadas ao pastejo certamente acabam por acarretar maior exigência energética para manutenção em função da maior distância percorrida diariamente até a ordenha, do trajeto percorrido durante as atividades relacionadas ao pastejo (que tende a ser realizada em áreas de maior inclinação, quando comparadas à inclinação de instalações do tipo *free-stall*) e maior tempo dedicado ao ato de se alimentar.

Por estas razões, os animais em pastejo podem requerer de 10 a 20% mais energia para atender a manutenção e a quantidade de energia necessária para desenvolver as atividades relacionadas ao pastejo, cujo valor pode atingir níveis de até 75% de acréscimo no requisito de energia para manutenção em áreas montanhosas com grandes distâncias até a aguada (McDowell, 1985).

O efeito da temperatura tem sido muito estudado, por ser de mais fácil controle em laboratórios. Em um intervalo de temperatura, chamado de ambiente termoneutro, não há alteração dos requisitos de energia para manutenção. Abaixo da temperatura crítica inferior, entretanto, o animal deverá aumentar a produção metabólica de calor para manter a temperatura corporal constante. Por outro lado, acima da temperatura crítica superior, o animal deverá dissipar mais calor para que sua temperatura corporal não se eleve muito. A temperatura crítica não é constante entre os animais e pode ser influenciada por outras variáveis (Church, 1988).

Tabela 3. Requerimentos básicos e correções aplicadas para estimar energia metabolizável e líquida para manutenção em diferentes sistemas de alimentação utilizados para bovinos

Sistemas	AFRC	CNCPS	CSIRO	NRC, 2001	NRC, 2000
Requerimentos básicos					
EL (kcal / dia) ¹	126,6 x (PV/1,08) ^{0,67}	72,8 x PCVZ ^{0,75}	72,6 - 81,9 x PV ^{0,75 (2)}	80,0 x PV ^{0,75}	77,0 x PCVZ ^{0,75}
Unidade de referência	EM	EM	EM	EL	EL
Correções					
Raça	Não	Sim ³	B. indicus: 0,86	Não	B. indicus: 0,90
Gênero	Sim ⁴	Não	Sim ⁴	Não	Sim
Idade	Não	Não	1,0 - 0,84 (0 - 6 Anos)	Não	Não
Atividade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Nutrição Prévia	Não ⁵	Não ⁵	Não	Não	Sim
Estresse pelo frio	Não	Sim	Sim	Não ⁵	Sim
Temperatura	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Umidade	Não	Sim	Sim	Não	Não
Vento	Não	Não	Não	Não	Sim
Chuva	Não	Não	Sim	Não	Não
Lama	Não	Sim	Não	Não	Sim
Aclimação	Não	Sim	Sim	Não	Sim
Espessura pelagem	Não	Sim	Não	Não	Sim
ECC	Não	Sim	Não	Não	Sim

Idade	Não	Sim	Não	Não	Sim
Estresse por calor	Não	Sim	Não	Não	Não
Custo excreção ureia	Não	Sim	Não	Não	Não
Produção	Não ⁷	Não ⁸	Sim ⁹	Não	Sim

Fonte: adaptado de Cannas et al. (2010).¹Sem a inclusão de atividades voluntárias PV = peso vivo; PCVZ = peso de corpo vazio (0,96 corpo “cheio”). ²Varição relacionada à idade do animal, sendo o intervalo em questão referente à vacas de 2 (maior valor) a 6 anos de idade (menor valor). ³Multiplicadores específicos utilizados para diversas raças não-leiteiras. ⁴15% de acréscimo para machos. ⁵Considerando apenas novilhas. ⁶Baseado no índice de temperatura efetiva do mês. ⁷Fatores de correção são incluídos na exigência total para considerar o efeito do nível de alimentação sobre a digestibilidade. ⁸Valores são maiores para todas as raças leiteiras. ⁹Um valor de 0,09 na ingestão de energia metabolizável é adicionado à manutenção.

O efeito da idade sobre a ELM é levado em consideração pelo CSIRO (2007), sendo a exigência de energia para manutenção maior em animais mais novos, em função das maiores taxas metabólicas destes. Freetly et al. (1995) citados por Cannas et al. (2010), criticam tal consideração em relação à idade cronológica uma vez que as exigências energéticas estariam mais associadas à idade fisiológica (grau de maturidade) do que a idade cronológica propriamente dita.

A influência do plano nutricional prévio foi corroborada por alguns trabalhos. Freetly et al. (2006) observaram que ao restringir a alimentação de vacas adultas, houve uma depressão aguda na produção de calor (mensurada por respirometria) destes animais nos primeiros setes dias de restrição, sendo que a diminuição na produção de calor se estendeu de maneira mais sutil (crônica) até 90 dias após a restrição alimentar.

Maiores taxas de ganho estão associadas à maior exigência de energia para manutenção, o que provavelmente está associado ao aumento da massa de órgãos com alta atividade metabólica, como intestino, coração, fígado e rins (Koong et al., 1985). Muito embora os órgãos viscerais correspondam a uma baixa proporção do peso vivo do animal (11 a 12%, incluindo gordura visceral e, 5 a 6% sem a mesma), demandam cerca de 40 a 50% da demanda energética de ruminantes em manutenção (Huntington e Reynolds, 1987). De fato, Birkelo et al. (1991), trabalhando com câmaras respirométricas, encontrou um valor de produção de calor em jejum 7,3% maior para animais alimentados *ad libitum* em relação a animais recebendo alimentação restrita.

A nutrição prévia do animal pode ser associada ao escore de condição corporal (ECC), que por sua vez é também um fator responsável pelas variações na exigência para manutenção. Maior ingestão de matéria seca estaria relacionada à maior ECC e assim, para animais em crescimento, uma melhor condição corporal está positivamente correlacionada à energia líquida para manutenção (Sniffen et al., 1992a). Entretanto cabe ressaltar que para animais com ECC extremos, tais fatos podem não ser verdadeiros (pois em relação ao peso vivo, quanto maior o ECC, menor é o consumo de matéria seca).

Diferentes ECC podem ser interpretados como indicadores de diferenças na composição corporal entre animais, o que também é um importante fator a ser considerado nas determinações de exigências nutricionais de energia. A deposição de gordura possui melhor eficiência energética (60 a 80%) em comparação à deposição de proteína (10 a 40% para

ruminantes), sendo a menor eficiência de deposição proteica em função dos custos energéticos associados ao *turnover* proteico (Ferrell e Jenkins, 1985). A gordura possui particularidades em relação ao seu local de deposição. A gordura visceral parece possuir maior atividade metabólica que a gordura subcutânea, acarretando maior exigência de manutenção para animais com maior depósito de gordura interna. Solis et al. (1988), trabalhando com vacas Aberdeen Angus, Brahman, Hereford, Holandesa e Jersey, concluíram que a distribuição das reservas de gordura entre os vários tecidos de depósito tem substancial impacto sobre as exigências de energia para manutenção nos bovinos, observando-se menor exigência em vacas Brahman. Tal resultado foi atribuído, em parte, à menor deposição de gordura interna e menor atividade metabólica dos órgãos internos destes animais. Raças europeias em relação às indianas, assim como as raças de aptidão leiteira em relação às de corte, possuem maior proporção de gordura nos depósitos viscerais, que são metabolicamente mais ativos que os depósitos periféricos, conduzindo à maior exigência de energia para manutenção (Thompson et al., 1983).

As interações entre a exigência de energia para manutenção e o conteúdo de proteína corporal também possuem algumas particularidades. A massa magra ou proteica do organismo animal possui alta correlação com os requerimentos de energia para manutenção (Ferrell e Jenkins, 1984). Muito embora a musculatura esquelética seja o principal local de deposição de proteína, a produção de calor possui maior associação com a proteína presente nos órgãos viscerais pelo fato de que estes são responsáveis pela maior parte da energia gasta no metabolismo basal (Ferrell e Jenkins, 1985). Assim, os requerimentos de energia para manutenção são pouco afetados pela massa muscular e muito afetados pelas diferenças existentes no tamanho dos órgãos internos do animal. Um exemplo que caracteriza este fato, é um trabalho de Vermorel et al., (1976), citado por Ferrell e Jenkins (1985), no qual não houve diferença nos valores de energia para manutenção entre touros Charoleses com musculatura normal ou dupla.

Diversos trabalhos comparando animais com diferentes potenciais produtivos (tanto para taxa de crescimento ou produção de leite) indicam haver uma correlação positiva entre estes e os requerimentos de manutenção. Ao avaliar a exigência de energia para manutenção em diferentes cruzamentos entre raças selecionadas para corte e leite, com diferentes potenciais para produção de leite, Ferrell e Jenkins (1984) observaram uma tendência de maiores valores de exigência de energia para vacas com maior potencial leiteiro (cruzamentos de Jersey e Simental). Uma versão mais antiga do sistema CNCPS (Sniffen et al., 1992a) menciona que

animais em lactação chegam a exigir até 20% a mais de energia para manutenção em relação a animais semelhantes não lactantes. Já em relação ao tipo de produto ao qual o animal é destinado (leite ou carne), sabe-se que animais leiteiros possuem maior requisito para manutenção em função do maior tamanho de seus órgãos internos. O nível de produção, que é considerado pelo sistema CSIRO (2007), é proporcional à ingestão de energia metabolizável, que por sua vez, é também proporcional à exigência de energia para manutenção.

De maneira geral, pode-se observar que muitos são os fatores responsáveis por variações nas exigências de manutenção de bovinos, entretanto, todos, de alguma forma, estão interligados e fazem com que a determinação de exigências nutricionais de energia e em especial, a energia para manutenção, seja um campo promissor na pesquisa de animais em condições nacionais.

1.6. Eficiência na utilização da energia: relação entre energia metabolizável e energia líquida para manutenção

A partir da partição de energia no animal, podemos obter valores que indicam qual a eficiência do animal em utilizar a energia para a manutenção e/ou produção. Os termos que possibilitam tal avaliação são conhecidos como metabolizabilidade (q) e eficiência de utilização (k). O AFRC (1993) define “ q ” (*the quality factor*) como a proporção de energia metabolizável contida na energia bruta ingerida e, a constante “ k ”, como o aproveitamento da energia metabolizável em relação à quantidade de energia líquida retida (no corpo, no caso da manutenção ou ganho de peso e no leite). Quando o animal é alimentado em nível de manutenção é adicionado à tais constantes a letra “ m ” (q_m e k_m).

O k_m foi definido por Blaxter e Wainman (1961), citados por Ferrell e Oltjen (2008), como o *slope* da regressão linear entre retenção negativa de energia isto é, a perda de energia, e a energia metabolizável ingerida. Já a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho (k_g), segundo o mesmo autor, foi definido como o *slope* da regressão linear entre a energia retida positiva e ingestão de energia metabolizável. A figura 2 ilustra as determinações de k_m e K_g .

Ao se avaliar as exigências nutricionais através da técnica respirométrica, as eficiências de retenção da energia metabolizável são calculadas em função da relação entre a energia retida, isto é, energia líquida, e a energia metabolizável – $k_m = 1 - (PC_{\text{alimentado}} - PC_{\text{jejum}}) / EMI$, na qual EMI corresponde a energia metabolizável ingerida (Bikerlo et al., 1991).

A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção é maior do que aquela direcionada para os processos produtivos (Tolkamp e Kyryazakis, 2009). As diversas funções corporais de animais mamíferos de uma mesma espécie são mais eficientes na retenção da energia metabolizável para manutenção, seguida das funções de lactação, ganho de peso e reprodução.

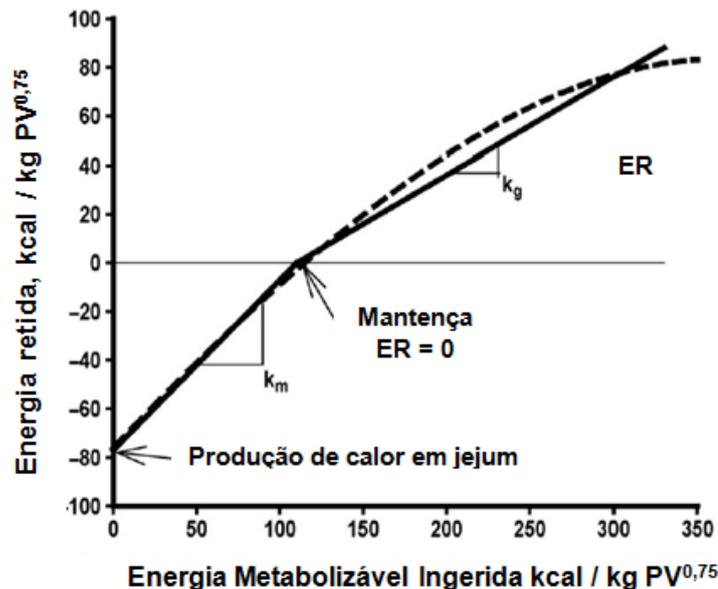


Figura 2. Representação da relação entre energia retida (ER) e energia metabolizável (EM). A linha tracejada mostra a relação quadrática entre ER e EM, que é derivada da relação entre o log da produção de calor e EM ingerida de Garret (1980). As linhas cheias mostram as aproximações lineares (Adaptado de Ferrell e Oltjen, 2008).

Já ao se compararem diferentes espécies, o ruminante é conhecido como o detentor da menor eficiência líquida na utilização da energia (Reid et al., 1980), o que torna este campo de pesquisa promissor na identificação de componentes do manejo dos sistemas de produção que tenham maior impacto na eficiência nutricional destes animais.

É importante determinar tais eficiências na utilização da energia, pois diversos são os fatores que podem influenciá-las. A variável “q”, por exemplo, sofre variações em função dos níveis de consumo, havendo maiores perdas fecais quanto maior for o consumo, devido a uma maior taxa de passagem e escape de material potencialmente digestível. A energia digestível pode diminuir de 2,1 a 6,2% na medida em que se aumenta o consumo de energia em relação à manutenção (Solis et al., 1988). As perdas de energia na urina tendem a ser constantes, assim

como as perdas em função da produção de metano, que variam em torno de 5 a 12% na urina e 3 a 5% para o metano (Van Soest, 1994).

A tabela 4 demonstra diferentes valores para o k_m de diferentes comitês utilizados na nutrição de ruminantes.

Tabela 4. Valores e equações propostos por diferentes comitês para a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m)

Comitê	K_m
AFRC (1993) ¹	$K_m = (0,35 * q_m) + 0,503$
NRC (2000)	$K_m = E_{Lm} / EM$
NRC (2001) ²	$K_m = K_L = 0,644$
CNCPS (Fox et al., 2004)	$K_m = K_L = 0,64$
CSIRO (2007) ³	$K_m = (0,02 * M / D) + 0,5$
Valadares Filho et al. (2010) ⁴	$K_m = 0,513 + (0,173 * K_g) + (a * GPCVZ)$

¹ $q_m = EB / EM$; ² $K_L =$ eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação; ³ $M/d =$ energia metabolizável / kg MS da dieta; ⁴ $a=0,100$ para animais Nelore e $0,073$ para animais cruzados *B. indicus* x *B. taurus*

O sistema britânico (AFRC, 1993) adota uma equação linear para o cálculo do K_m , que envolve a metabolizabilidade da dieta ($q_m = EM / EB$). A utilização da mesma variável é também utilizada para o cálculo das eficiências de utilização da energia metabolizável para lactação e ganho de peso. Ao contrário de sua versão anterior, publicada em 1990, os autores não recomendam a utilização de equações para correção do K_m de acordo com a dieta.

O NRC (2000), ao mencionar os cálculos referentes à eficiência de utilização da energia metabolizável, cita o trabalho de Garret (1980), que estabelece a relação entre a energia metabolizável e energia líquida, sendo as variações para K_m em função da variação proposta para os valores de E_{Lm} (por exemplo, ao se considerar que o sistema propõe que zebuínos possui 10% menos para energia líquida de manutenção). Neste sistema não é mencionado um valor específico para K_m , a não ser no capítulo referente à gestação, no qual é assumido um K_m de 0,576 em animais consumindo uma dieta com contendo 2,0 Mcal/kg de energia metabolizável.

Em relação ao comitê americano destinado a animais leiteiros (NRC, 2001), adota os valores de K_m propostos pelo trabalho de Moe e Tyrrel (1972), no qual não foram encontradas grandes diferenças entre as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção (0,62) e lactação (0,64), sendo o valor de 0,64 o adotado por este sistema.

A versão mais recente do CNCPS (Fox et al., 2004) considera que a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção seria de 0,64.

A equação proposta pelo CSIRO (2007) segue a linha proposta pelo AFRC (1993). A relação “M/D” representa simplesmente a quantidade de energia metabolizável por quilograma de matéria seca da dieta. O comitê propõe equações relativamente confiáveis ($R^2 > 0,93$) correlacionando a digestibilidade da matéria orgânica com os valores de M/D. Outra forma proposta para estimar a M/D é a de que a energia metabolizável da dieta corresponderia, de maneira geral, a 81% da energia digestível da mesma, podendo esta proporção chegar a 85% em dietas ricas em grãos.

A equação adotada por Valadares Filho et al. (2010) segue o modelo sugerido por Marcondes (2010), no qual se buscou identificar interações entre os valores de K_m e diversas variáveis. Encontrou-se que o grupo genético exerceu influência sobre o cálculo e por isso há correções para *B. indicus* e *B. taurus*, refletidos pelo multiplicador “a” da equação (0,100 para zebuínos e 0,073 para animais cruzados taurinos x zebuínos). Em sua versão anterior, Valadares Filho et al. (2006) propõem os seguintes valores para K_m : 0,66 para machos inteiros; 0,64 para machos castrados e 0,64 para fêmeas, sendo todos os animais utilizados pertencentes a raça Nelore.

Assim como uma diversidade de fatores afeta as exigências nutricionais de energia para manutenção, o mesmo ocorre para a determinação da eficiência de utilização da energia metabolizável (isto é, sua conversão em energia líquida). Fatores como nível de ingestão, função fisiológica, balanço de nutrientes, composição da dieta, condições ambientais, atividade física, sexo, arquitetura gastrointestinal e natureza dos produtos da fermentação podem afetar a eficiência na utilização da energia metabolizável (Tedeschi et al., 2010).

Garret (1980) cita que uma gama de fatores como idade, sexo, raça, composição corporal e plano nutricional anterior acabam por afetar os valores de K_m em função da influência exercida por estes fatores na produção de calor em jejum (energia líquida para manutenção) dos

animais. Buscando explicar tal fato, o autor sugere que diferenças no *turnover* proteico nas diferentes situações podem explicar tal variabilidade encontrada para a produção de calor em jejum e conseqüentemente, na eficiência de utilização da energia metabolizável.

Em relação ao plano nutricional, Birkelo et al. (1991) encontraram valores de k_m significativamente menores para animais que estavam recebendo dieta *ad libitum* em relação aos animais que recebiam dieta restrita (0,77 e 0,73, respectivamente). O autor sugere que tal observação pode ter ocorrido em função de diferentes taxas para os processos metabólicos como *turnover* proteico, bomba de Na e K, entre outros, em função do nível de alimentação (isto é, o fato de o metabolismo ser menos ativo em animais recebendo alimentação restrita).

A composição do ganho também interfere nos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável. Os maiores valores de eficiência estão relacionados à maior deposição de energia na forma de gordura em relação à deposição proteica. O mesmo fato também explica a influência que a classe sexual exerce sobre a eficiência na utilização da energia metabolizável, uma vez que as fêmeas, por possuírem maior deposição corporal de gordura em relação aos machos, possuem maior eficiência no acúmulo de energia corporal (Reid et al., 1980).

Baldwin e Sainz (1995) citam que, dependendo do valor energético do alimento e/ou da dieta, os valores para K_m podem variar de 0,65 a 0,85. Sendo assim, tipo de dieta também parece afetar a eficiência na utilização da energia. Reid et al. (1980) mencionam que a eficiência é tão maior quanto maior for a qualidade da dieta, isto é, dietas com maior teor de grãos, em função da maior digestibilidade e metabolizabilidade, apresentam maior conversão da energia metabolizável em energia líquida. Além disso, o mesmo autor menciona que dietas contendo óleo aumentam a eficiência energética, pela incorporação direta dos ácidos graxos nas moléculas de triacilgliceróis, evitando o processo de síntese *de novo*, que requer energia na forma de NADPH. Tolkamp e Kyriazakis (2009) estão de acordo com as observações de Reid et al. (1980), que correlacionam positivamente a qualidade da dieta com sua eficiência de utilização em condições de manutenção, entretanto, propõem um novo modelo para a avaliação da partição energética no qual há a utilização de uma constante “k” única de 0,6 ao referir-se às correções na eficiência de utilização da energia por outros modelos. Para eles, a eficiência de utilização da energia metabolizável possui valor fixo, pois animais em condições reais de produção, de certa forma, consomem a dieta à vontade, independente da qualidade do alimento, o que torna a variação desta eficiência irrisória.

Alguns estudos mostram que diferentes perfis de ácidos orgânicos voláteis da fermentação ruminal tem impacto na eficiência de utilização da energia metabolizável tanto para manutenção, quanto para ganho. O ácido acético seria o precursor energético utilizado com menor eficiência pelo ruminante, enquanto que o ácido propiônico seria o maior, sendo todos, entretanto, inferiores à glicose em termos de eficiência (Reid et al., 1980; Tedeschi et al., 2010). Entretanto, tais particularidades parecem ser mais importantes quando se avalia a eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho, sendo menos importantes na avaliação desta variável para manutenção.

Visto a carência de dados de exigência de energia para animais zebuínos e seus cruzamentos para exploração leiteira e a gama de fatores que podem influenciar as exigências nutricionais de energia para manutenção, o presente estudo buscou comparar a exigência de energia para manutenção e a partição energética de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir, utilizando a tecnologia de respirometria calorimétrica, disponível na Escola de Veterinária da UFMG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. *The nutrient requirements of ruminant livestock*, London: The Gresham Press, 1980. 351p.

BALDWIN, R.L.; SAINZ, R.D. Energy partitioning and modeling in animal nutrition. *Annual Reviews Nutrition*, v. 15, p. 191 – 211, 1995.

BIRKELO, C.P.; JOHNSON, D.E.; PHETTEPLACE, H.P. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. *Journal of Animal Science*, v. 69, n. 3, p. 1214 – 1222, 1991.

BIRKETT, S.; LANGE, K. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *British Journal of Nutrition*, v. 86, p. 647–659, 2001.

BORGES, A.L.C.C. *Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzerá e Holandesa*. 2000. 90p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proc 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ. N° 11. p. 441 – 443, 1965.

C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.

CANNAS, A.; ATZORI, A.S.; TEIXEIRA, I.A. M. A. et al. The energetic cost of maintenance in ruminants: from classical to new concepts and predictions systems. In: CROVETTO, G.M. (Ed.) *Energy and protein metabolism and nutrition*. 3. ed. Itália: Wageningen Academic Publishers, 2010. p. 531-542.

CHIZZOTTI, M.L.; TEDESCHI, L.O.; VALADARES FILHO, S.C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, v. 86, n. 7, p. 1588 – 1597, 2008.

CHURCH, D. C. *The ruminant animal - Digestive physiology and nutrition*. Englewood: Prentice Hall, 1988, 564p.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, 2004.

FERREL, C.F.; OLTJEN, J. W. ASAS Centennial Paper: Net energy systems for beef cattle - Concepts, application, and future models. *Journal of Animal Science*, v. 86, n. 10, p. 2779 – 2794, 2008.

FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. *Journal of Animal Science*, v. 58, n. 1, p. 234 – 243, 1984.

FERRELL, C.L.; T. G. JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, v. 61, n. 3, p. 725 – 741, 1985.

FERRELL, C.L.; T. G. JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, v. 61, n. 3, p. 725 – 741, 1985.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, v. 112, p. 29 –78, 2004.

FREITAS, J.A., QUEIROZ, A.C., DUTRA, A.R., et al. Composição corporal e exigências de energia de manutenção em bovinos Nelore, puros mestiços, em confinamento . *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n. 3, p. 878 – 885, 2006

GARRETT, W.N. Factors Influencing Energetic Efficiency of Beef Production. *Journal of Animal Science*, v. 51, n. 6, p. 1434 – 1440, 1980.

HUNTINGTON, G.B.; CHRISTOPHER K., REYNOLDS, C.K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. *The Journal of Nutrition*, v. 117, p. 1167 – 1173, 1987.

JOHNSON, D.E., FERREL, C.L., JENKINS, T.G. The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going?. *Journal Animal Science*, v.81, p.E27 – E38, 2003.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 8, p.2483 – 2492, 1995.

KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428p.

KOONG, L.J., FERRELL, C.L., NIENABER, J.A Assessment of interrelationships among levels of intake and production, organ size and fasting heat production in growing animals. *Journal of Nutrition*, v.115, n.10, p.1383 – 1390, 1985.

LIGHTON, J.R.B. *Measuring Metabolic Rates: a manual for scientists*. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2008. 201p.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 27, n. 3, p.793-806, 1968.

MCDOWELL, L. R. *Nutritioning of Grazing Ruminants in Warm climates*, Orlando: Academic Press, 1985. 443p.

MCLEAN, J.A.; TOBIN, G. *Animal and human calorimetry*. 1 ed. New York: Cambridge University Press, 1987. 338p.

MILLIGAN, L.P., SUMMERS, M. The biological basis of maintenance and its relevance to assessing response to nutrients. *Proceedings of the Nutrition Society*. v. 45, p. 185 – 193, 1986.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL *The effect of environment on nutrient requirements of domestic animals*. Washington, D.C.: National Academic Press, 1981. 151p.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000. 242p.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 6 ed. Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 1984.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.

PAULINO, P.V.R., COSTA, M.A.L., VALADARES FILHO, S.C. et al. Exigências Nutricionais de Zebuínos. *Energia. Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, p. 781 – 791, 2004.

REID, J. T., WHITE, O. D., ANRIQUE, R. et al. Nutritional Energetics of Livestock: some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal Animal Science*, v. 51, p. 1393 – 1415, 1980.

RESENDE, K. T., TEIXEIRA, I. A. M. A., FERNANDES, M. H. R. Metabolismo de energia. In: Berchielli, T. T., Pires, A. V., Oliveira, S. G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP, 2011. C.11, p.323 – 344.

SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos*. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.

SILVA, F.F.; VALADARES FILHO, S.C.; ÍTAVO, L.C.V.; et al. Exigências líquidas e dietéticas de energia, proteína e macroelementos minerais de bovinos de corte do Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.776 – 792, 2002.

SILVA, R.R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. 2011. 59p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola De Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; RUSSELL, J.B et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *Journal of Animal Science*, v. 70, n. 11, p. 3578 – 3596, 1992a.

SOLIS, J.C; BYERS, F.M.; SCHELLING, G.T. et al. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. *Journal Animal Science*, v. 66, n. 3, p.764-773, 1988.

TEDESCHI, L.O., BOIN, C.D., FOX, D.G. et al. Energy requirements for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal Animal Science*, v. 80, p. 1671 – 1682, 2002.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; CARSTENS, G.E.; et al. The partial efficiency of use of metabolisable energy for growth in ruminants. In: CROVETTO, G.M. (Ed.) *Energy and protein metabolism and nutrition*. 3. ed. Itália: Wageningen Academic Publishers, 2010. p. 531-542.

THOMPSON, W. R.; MEISKE, J. C.; GOODRICH, R. D.; RUST, J. R.; BYERS, F. M. Influence of body composition on energy requirement of beef cows during winter. *Journal Animal Science*, v.56, n.5, p.1241 – 1252, 1983.

TOLKAMP, B.J.; KYRIAZAKIS, I. Toward a new practical energy evaluation system for dairy cows. *The Animal Consortium*, v. 3, n. 2, p. 307-314, 2008.

VALADARES FILHO, S.C., MARCONDES, M.I., CHIZZOTTI, M.L. et al. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados: BR-CORTE*. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 193p.

VALADARES FILHO, S.C., PAULINO, P.V.R., MAGALHÃES, K.A. *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos: BR-CORTE*. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 141p.

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

WILLIAMS, C.B., JENKINS, T.B. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. *Journal Animal Science*, v. 81, p. 1371 – 1381, 2003.

CAPÍTULO II – PARTIÇÃO DA ENERGIA E EXIGÊNCIA DE ENERGIA LÍQUIDA PARA MANTENÇA DE NOVILHAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR

2.1. Introdução

Embora em situações práticas, a manutenção possa ser considerada uma condição apenas “hipotética” do animal, a determinação da exigência de energia para manutenção em relação às exigências de energia para produção é apropriada e considerada útil. Cerca de 70% da energia metabolizável é deslocada para as funções associadas à manutenção e, em touros reprodutores, essa proporção pode alcançar até 90% dos requerimentos energéticos (NRC, 2000).

A despeito da crescente pressão de seleção que a bovinocultura tem sofrido historicamente, os valores de exigência para manutenção aparenta não ter sofrido grandes modificações nos últimos 100 anos (Johnson et al., 2003), o que torna a investigação em relação aos requerimentos de energia para bovinos um campo promissor na pesquisa da nutrição de ruminantes, especialmente no que concerne à condições tropicais.

As raças zebuínas e seus cruzamentos são largamente utilizados em condições tropicais para a produção de carne e/ou leite em função de diversas características adaptativas, mais desenvolvidas nestes animais, quando comparados a animais taurinos. No Brasil, grande parte da formulação de dietas para bovinos segue a linha proposta pelo “National Research Council” (NRC, 2000; 2001), que apresenta dados referentes a animais *Bos taurus taurus*, sendo as necessidades energéticas para *Bos taurus indicus* como sendo 10% a menos de energia para manutenção destes animais. Entretanto, tal correção vai contra os achados de Tedeschi (2002) e Chizzotti (2008), que não encontraram tal redução nos valor de energia para manutenção para animais zebuínos da raça Nelore. Em relação à pesquisa nacional de exigências nutricionais de fêmeas bovinas, principalmente àquelas utilizadas na exploração leiteira, os dados são ainda escassos, havendo necessidades de maior número de pesquisas para esta categoria animal.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar os dados referentes à partição da energia, exigências de energia para manutenção e sua eficiência de utilização em novilhas (peso vivo médio de 450 kg) das raças Gir e F1 Holandês x Gir.

2.2. Materiais e Métodos

2.2.1. Local de execução e duração do período experimental

O experimento foi conduzido nas dependências do departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte (MG), no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal – LAMCA, no período de 17 de novembro de 2010 a 17 de maio de 2011 totalizando 180 dias de duração. Destes 180 dias, apenas 62 foram destinados à coleta de dados, em função de problemas técnicos ocorridos.

2.2.2. Período Pré-Experimental

Os animais utilizados neste experimento já estavam adaptados às instalações experimentais, uma vez que foram utilizados para pesquisas anteriores nas mesmas instalações. Dessa forma, o período pré-experimental teve como principal objetivo a adaptação à dieta experimental para observações e ajustes no consumo diário e controle da evolução do peso vivo até que o consumo fosse estabilizado, de forma a manter os animais próximos ao equilíbrio de energia, ou seja, com mínimo ganho de peso.

Em experimento anterior os animais recebiam dieta para proporcionar ganho de peso e por isso houve um período de adaptação à dieta restrita do experimento em questão, com duração de 53 dias. A adaptação teve como objetivo a adequação do metabolismo dos animais ao novo plano alimentar.

2.2.3. Animais Utilizados e Instalações Experimentais

Foram utilizadas 12 novilhas não gestantes, sendo seis da raça Gir e seis da raça F1 Holandês x Gir, com potencial leiteiro, oriundas da fazenda Experimental de Felixlândia (MG) da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Durante o período de coleta, o peso vivo inicial médio dos animais foi 449,2kg e o peso vivo médio final correspondeu a 461kg.

Os animais foram mantidos em regime de confinamento, alojados em galpão de alvenaria, cuja cobertura ultrapassava os cochos em 2,5m. Os cochos eram do tipo *tie-stall*, isto é, cada animal esteve restrito a um cocho e um bebedouro individuais durante todo o experimento. Para proporcionar maior conforto e evitar a formação de escaras de decúbito, cada baia foi equipada com estrados de borracha VEDOVATI® (dimensões 1,10; 0,90 e 0,1 m, respectivamente, para comprimento, largura e espessura).

A limpeza das instalações era realizada duas vezes por dia, havendo uma lavagem completa pela manhã e apenas remoção das fezes na parte da tarde. A posição na qual a cobertura foi construída permitia a incidência de radiação solar suficiente para que os animais fossem expostos a ela diariamente.

2.2.4. Dieta experimental e seu fornecimento

A dieta foi formulada inicialmente utilizando-se as exigências de manutenção sugeridas pelo NRC (2001), sendo composta por feno de Tifton -85 (*Cynodon spp.*) e suplementação mineral (produto comercial). O suplemento mineral foi fornecido em quantidade fixa (50g/dia), pela manhã, distribuído sobre o feno, a fim de garantir sua ingestão. Na primeira semana da adaptação, houve ajustes para o consumo de matéria seca de todos os animais em função da quantidade de sobras e, nas semanas subsequentes, também em função da pesagem dos animais. O objetivo da dieta experimental foi proporcionar aos animais um ganho de peso restrito (sendo obtido valor para ganho médio diário de 193g/dia), e assim, tentar reproduzir uma situação mais próxima possível de retenção e/ou perda de energia igual à zero. A dieta era fornecida duas vezes por dia, às 9h e às 17h. A composição do feno utilizado encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5. Composição bromatológica do feno utilizado na alimentação dos animais, expressa em porcentagem da matéria seca (%)

Nutriente ⁽¹⁾	Percentual (%)
MS	88,35
PB ⁽²⁾	7,61
FDN ⁽²⁾	65,22
FDA ⁽²⁾	30,33
MM ⁽²⁾	5,19

⁽¹⁾MS – matéria seca; PB – proteína bruta; FDN – fibra insolúvel em detergente neutro; FDA – fibra insolúvel em detergente ácido; MM – matéria mineral; CNF – carboidratos não-fibrosos; ⁽²⁾expressos em porcentagem da matéria seca.

Na tabela 6 está demonstrada a composição do suplemento mineral comercial utilizado na dieta dos animais.

Tabela 6. Composição do suplemento mineral utilizado na dieta experimental

Macrominerais	Níveis de garantia (g/kg de produto)
Cálcio	130
Fósforo	90
Potássio	80
Enxofre	25
Magnésio	20
Sódio	80
Microminerais	Níveis de garantia (mg/kg de produto)
Cobalto	110
Cobre	2.200
Iodo	120
Manganês	2.800
Selênio	60
Zinco	8.600
Vitaminas	Níveis de garantia (UI/kg de produto)
A	375.000
D3	100.000
E (mg)	2.000

No período de adaptação foram feitas pesagens diárias do alimento oferecido e das sobras, bem como a pesagem quinzenal dos animais. Quando foi detectada uma estabilidade no consumo, bem como mínima variação do peso vivo dos animais, pôde-se então dar início ao ensaio de digestibilidade aparente.

2.2.5. Ensaio de Digestibilidade Aparente e Coleta de Urina

O ensaio de digestibilidade aparente teve cinco dias de duração, sendo realizado do dia 15 ao dia 20 de janeiro de 2011. A dieta era fornecida nos mesmos horários do período de adaptação (9h e 17h) e amostrada diariamente entre as pesagens da dieta a ser fornecida no dia, totalizando cerca de 400g de amostra para processamento e análises. A figura 3 mostra a disposição de parte dos animais durante o período de coleta total.



Figura 3. Instalação e disposição dos animais para a realização do ensaio de digestibilidade aparente (Fonte: arquivo pessoal).

As sobras, em função da alimentação restrita, nem sempre estavam presentes no cocho dos animais. Quando havia sobras no cocho, estas eram pesadas e amostradas por animal, todo dia pela manhã. A quantidade de sobra amostrada foi cerca de 200g, quando possível.

A produção fecal dos animais foi avaliada através de coleta total. Para que a coleta fosse criteriosa, realizavam-se turnos para que durante as 24h do dia houvesse a presença de pessoas para coletar o material fecal o mais rapidamente possível, a fim de se evitarem contaminações. Uma caixa plástica, contendo identificação do animal, foi utilizada para recolher as fezes de forma individual, sendo colocada a cerca de 1,5m do animal, conforme pode ser visto na figura 3. O material fecal coletado era pesado duas vezes ao dia, antes de cada arraçoamento. A amostragem do material fecal foi feita por animal e ocorreu nos momentos em que era realizada a pesagem, após homogeneização do conteúdo da bandeja. Foram amostradas cerca de 500g de fezes por animal.

Todas as amostras coletadas durante o ensaio de digestibilidade aparente foram armazenadas em sacolas plásticas resistentes, devidamente identificadas e congeladas em câmara fria para posterior análise laboratorial.

Após a realização dos ensaios de consumo e digestibilidade aparente, foi realizada a coleta de urina dos animais. Foi coletada uma amostra de urina quatro horas após a alimentação dos

animais (Valadares et al., 1999) . Durante a coleta, alguns animais apresentavam micção espontânea, enquanto que para outros foi necessária a estimulação na área vulvar (Rosenberger, 1993). A coleta total foi desconsiderada em função dos riscos de provocar infecções no trato urinário pela constante presença da sonda durante o período de coleta. Ao se fazer uma única coleta de urina com posterior análise do teor de creatinina, foi possível calcular o volume urinário excretado diariamente pelos animais (Rennó et al., 2000; Oliveira et al., 2001; Barbosa et al., 2006), através da seguinte relação:

$$\text{Volume urina} = \frac{\text{Peso Vivo (kg)} * \text{Excreção média diária de creatinina (mg/kg PV)}}{\text{Concentração de creatinina na urina (mg/L)}}$$

As excreções médias diária adotadas neste experimento foram similares às descritas por Rennó et al. (2008), sendo de 28,72 mg/kg para animais F1 Holandês x Gir e de 27,04 mg/kg para animais Zebu.

As amostras de urina foram armazenadas em potes plásticos vedados, em duas condições distintas: uma alíquota da amostra foi colocada na proporção de 10:1 (sendo 9 partes de ácido e 1 parte de urina) em ácido sulfúrico a 40% para posterior análise dos teores de creatinina, enquanto que outra foi armazenada *in natura* para avaliação dos teores de nitrogênio e energia bruta. Ambas foram congeladas em câmara fria para posteriores análises.

2.2.6. Mensurações na Câmara Respirométrica

Após a realização do ensaio de digestibilidade aparente e coleta de urina, tiveram início as mensurações realizadas na câmara respirométrica.

2.2.6.1. Descrição do sistema de respirometria em circuito aberto

O sistema adotado para mensurações em câmara respirométrica foi o de circuito aberto e foi descrito por Rodríguez et al. (2007), que validaram sua utilização para pequenos ruminantes.

Neste sistema, o ar presente no interior da câmara é continuamente renovado pela entrada constante de ar atmosférico. A renovação do ar no interior da câmara é possível em função da pressão negativa criada internamente pela ação de uma bomba que promove a sucção o ar interno, permitindo assim a entrada de ar externo. Como consequência, há renovação da atmosfera interna da câmara e o ar contido em seu interior pode ser destinado para amostragem e posterior avaliação pelos analisadores de gás. O sistema interno de pressão negativa garante segurança na aquisição dos dados, pois impede que haja vazamento do ar

presente no interior da câmara, o que poderia constituir uma fonte de erros na análise do gás amostrado.

A figura 4 demonstra um exemplo de respirometria com circuito aberto. O ar entra na câmara pela ação de uma bomba, havendo regulação de sua temperatura e circulação. O fluxo com o qual esta bomba faz a renovação de ar é controlado por um fluxômetro de massa (o modelo utilizado neste experimento foi SABLE Flow-kit 500H). O fluxo adotado neste experimento foi entre 0,5 e 1 litro/ kg de peso vivo do animal/ minuto.

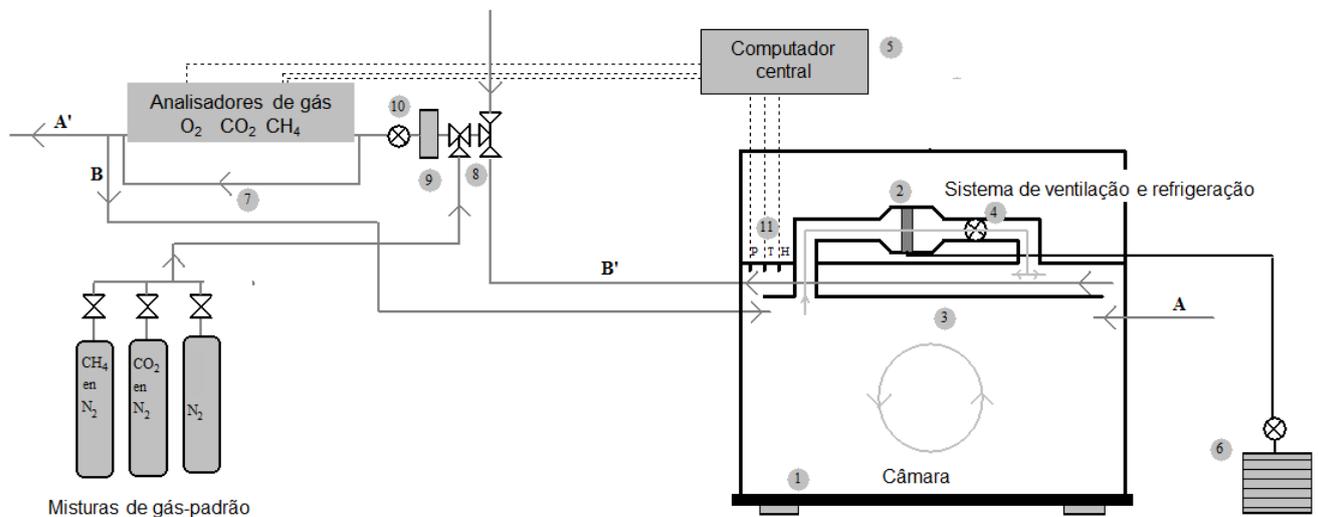


Figura 4. Diagrama simplificado do equipamento de respirometria. (1) plataforma na qual se encontra o animal; (2) radiador; (3) teto falso (4) turbina; (5) computador para aquisição de dados; (6) refrigerador de ar; (7) circuito *by-pass*; (8) solenoide (9) controlador de fluxo de gás (10) bomba hermética; (11) sensores temperatura e umidade e pressão. A-A', estão operando em circuito aberto; B-B', em circuito fechado.

O ar que deixa a câmara pela ação da bomba de sucção é conduzido por uma tubulação até uma área exterior ao laboratório, havendo concomitantemente uma amostragem do mesmo pela bomba hermética (Figura 4) que é destinada ao sistema exemplificado na figura para avaliação pelos analisadores de gás. Estes se encontram em sistema *by pass*, isto é, todos estão interconectados, permitindo a passagem de uma mesma amostra por todos os analisadores. Os analisadores de gás utilizados neste experimento são oriundos da empresa SABLE SYSTEMS®, sendo os seguintes modelos utilizados: analisador de oxigênio TA-1B O₂ Analyzer; analisador de dióxido de carbono CA-2A CO₂ Analyzer e analisador de metano MA-1 CH₄ Analyzer.

As leituras dos gases pelos analisadores ocorrem em ciclos. No início de cada ciclo, o circuito é deslocado automaticamente pelo equipamento para uma tubulação responsável pela amostragem de ar atmosférico

, que está conectada com uma área externa ao laboratório, e uma amostra deste ar é coletada. A amostra do ar externo (atmosférico) é denominada “linha base” e circula por todo o circuito até que seja feita a análise do material gasoso. A seguir, o sistema é deslocado para um circuito fechado de amostragem (Figura 4 – BB’) e ocorre a amostragem do ar do interior da câmara e sua análise pelo sistema pelos analisadores. No caso dos equipamentos utilizados, cada ciclo tinha duração de 5 minutos (isto é, tanto o ar externo ou linha base, como a amostra de gás da câmara, passavam continuamente pelo sistema durante cinco minutos), sendo que a leitura para o envio de dados para o sistema só ocorria nos últimos 30 segundos (os primeiros 4’30’’ tinham a função de garantir que não houvesse resíduos de outras amostras de na tubulação do sistema). De maneira bem simplificada, o consumo de oxigênio e a produção de metano e dióxido de carbono pelo animal são calculados pela diferença entre as concentrações médias destes gases no ar externo e no ar que deixa a câmara. Descrições mais detalhadas do sistema e seu funcionamento foram feitas por Silva (2011).

Como o material analisado é de natureza gasosa, é de suma importância o controle de temperatura, pressão e umidade do sistema, uma vez que estes fatores são responsáveis por alterações nos volumes de cada gás avaliado em relação às CNTP (condições normais de temperatura e pressão).

Antes de se iniciarem as mensurações na câmara, é necessário que esta tenha seus fatores de correção determinados. O fator de correção é a correlação entre a leitura da concentração que os analisadores fazem e a concentração real deste gás, que foram determinados como sendo de 1,0001 para o oxigênio, 0,8972 para o dióxido de carbono e 1,0755 para o gás metano. Recentemente, a metodologia para sua determinação foi descrita por Silva (2011).

4.2.6.1. **Rotina na utilização da respirometria calorimétrica**

O tipo de analisadores utilizados neste experimento exigia uma calibração diária dos mesmos, a fim de garantir a confiabilidade da leitura. O tempo despendido nessa atividade variou de uma a quatro horas por dia.

Cilindros contendo gases de concentração conhecida são acoplados ao sistema por tubulações conectadas aos analisadores. A concentração dos gases utilizados é determinada pelo equipamento, isto é, cada equipamento tem um intervalo de leitura diferente. No processo de calibração era aberta primeiramente a válvula do cilindro de nitrogênio. Embora este gás não seja avaliado pelos analisadores descritos, sua função era garantir (além da “limpeza” da tubulação do sistema) que os analisadores fizessem para ele (após cinco minutos passando pelo sistema) leitura equivalente à zero, pois os outros gases utilizados eram diluídos em nitrogênio. Em seguida, o cilindro contendo CO₂ a 5% era acoplado ao sistema e este gás passava pelo sistema também cumprindo um ciclo de cinco minutos. O mesmo acontecia com o cilindro contendo CH₄ a 1%. O analisador de O₂ era calibrado utilizando-se como referência o próprio ar externo, que possui a concentração deste gás conhecida, de 20,946%.

Ao final de cada ciclo, a leitura feita pelo respectivo analisador de cada gás deveria mostrar a leitura da concentração de cada um dos gases, como o valor mais próximo possível da concentração indicada nos cilindros. No caso do CO₂ a concentração lida pelo equipamento deveria oscilar entre 4,990 e 5,007 e para o CH₄ o intervalo permitido era de 0,997 a 1,003. No caso do N₂, todos os aparelhos deviam apresentar valores bastante próximos de zero, com margem de pelo menos duas casas decimais, podendo haver variação somente na terceira casa. Para o O₂, a leitura indicada pelo seu analisador deveria estar entre 20,9450 e 20,9510.

A calibração consiste em ajustar a leitura do analisador ao final de cada ciclo de 5 minutos, para os intervalos de concentração permitidos para cada gás. O equipamento só pode ser considerado calibrado até que, após três rodadas (cada rodada corresponde aos quatro ciclos de cinco minutos necessários para todos os gases – N₂, CO₂, CH₄ e O₂), os analisadores de cada gás tenham realizado suas respectivas leituras, sem a necessidade de ajuste do equipamento.

Feita a calibração, a mensuração se iniciava. O fluxo do fluxômetro de massa era ajustado de acordo com o peso vivo do animal, assim como se assegurava que os sistemas de circulação e refrigeração do ar estivessem operando normalmente, o que garantia para o animal mais conforto.

4.2.6.2. Mensurações na câmara com animais alimentados

Numa primeira etapa, as novilhas passaram pela câmara recebendo a mesma dieta que foi fornecida no ensaio de digestibilidade (feno pertencente à mesma partida, isto é, com origem

e qualidade similar ao do ensaio de digestibilidade, em quantidade idêntica à fornecida no mesmo).

Após a calibração dos analisadores e conferência do fluxo de ar, o animal era conduzido do curral (localizado próximo à sala de Calorimetria Respirométrica do Laboratório LAMCA) até a câmara, sendo contido em seu interior (figura 5).



Figura 5. (a) Novilha F1 Holandês x Gir e (b) novilha Gir no interior da câmara respirométrica do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da UFMG (Fonte: arquivo pessoal).

A alimentação era fornecida somente quando os equipamentos encontravam-se aptos para iniciar a leitura. O animal só era alimentado segundos antes do início da leitura, para que dados de produção de gás (como consequência, a produção de calor) associados à alimentação não fossem perdidos. A câmara era então fechada e assim era iniciada a leitura, que prosseguia até o dia seguinte (totalizando, em média, 20h de leitura), conforme descrito no item anterior.

Após o encerramento da mensuração, o animal era retirado da câmara, que era submetida à limpeza, para propiciar o melhor ambiente possível ao próximo animal. As sobras de alimentos eram retiradas e pesadas ao final de cada leitura. O conhecimento do consumo de matéria seca dentro na câmara permite calcular o incremento calórico, necessário para os cálculos da partição de energia, assim como melhor avaliação dos dados de produção de metano. É fundamental que, para a realização de mensurações na câmara respirométrica, os animais mantenham o consumo observado no ensaio de digestibilidade aparente, como foi o caso neste experimento. Aqueles animais que, por algum motivo, apresentaram consumo da

dieta muito diferente do esperado (e tinham tal diferença refletida nos dados de produção de calor, coeficiente respiratório e consumo e produção dos gases O₂, CO₂ e CH₄) eram submetidos a uma nova mensuração, até que o consumo obtido fosse similar ao do ensaio de digestibilidade aparente.

4.2.6.3. Mensurações na câmara com animais em jejum

A próxima etapa realizada foi a passagem dos animais em jejum alimentar na câmara respirométrica. Para esta mensuração, os animais eram colocados na câmara com 48h de jejum alimentar, sendo retirados no dia seguinte, totalizando aproximadamente 72h sem o consumo de alimento. Para que as leituras em jejum pudessem ser feitas diariamente, foi feito um escalonamento para que todos os dias houvesse um animal disponível para este tipo de mensuração. O fornecimento de água para os animais em jejum foi ininterrupto e, sempre que possível estes foram mantidos mais afastados do resto do grupo evitando assim, agitação no momento em que os outros recebiam alimento.

A mensuração do calor em jejum na câmara respirométrica tem papel fundamental na metodologia deste trabalho, pois corresponde à exigência de energia líquida dos animais avaliados. Além disso, sua avaliação é necessária para o cálculo do balanço energético.

4.3. Análises Laboratoriais

Todas as análises bromatológicas descritas a seguir foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG.

O material coletado (alimento oferecido, sobras e fezes do ensaio de digestibilidade aparente, e do alimento oferecido e sobras do período de mensuração na câmara respirométrica) foi submetido à secagem em estufa ventilada a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ para a determinação do teor de matéria pré-seca e, uma vez realizada a pré-secagem, foi realizada a moagem em moinho estacionário “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 5 mm.

A seguir, foi feita uma amostra composta representativa de todo o período do ensaio de digestibilidade aparente, totalizando uma amostra da dieta oferecida e uma amostra para cada animal referente a sobras e fezes. Para as fezes foram feitas amostras “compostas” para cada animal, da seguinte forma: foram realizados os cálculos para determinação da excreção total de fezes com base na matéria pré-seca e, em seguida, foi determinada a proporção das

amostras de cada dia para cada animal, para formar a amostra composta de fezes para todo o período. Para as sobras também foi feita uma amostra composta para cada animal com base na matéria pré-seca, sendo calculada a quantidade de sobras total para o período de amostragem e, posteriormente, determinada a composição da amostra composta, ou seja, a quantidade de sobras de cada dia para a obtenção da amostra composta, de forma que esta última representasse qualitativamente todas as sobras coletadas no período. No caso do alimento oferecido, foram amostradas diariamente quantidades iguais deste material. No final da compostagem, foi obtida uma amostra para cada animal, representativa de todo o período de coleta. As amostras coletadas da dieta oferecida e sobras no período de mensuração dentro da câmara respirométrica eram individuais, isto é, cada animal possuía sua respectiva amostra do dia em que passou pela câmara.

Todo o material foi moído em moinho “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 1 mm, sendo as amostras estocadas em frascos plásticos com tampa, com a identificação de cada amostra por animal. Foram avaliados os teores de matéria seca (MS) 105°C do material oferecido, sobras e fezes do período da digestibilidade aparente e do alimento oferecido e sobras resultantes da passagem do animal em câmara respirométrica (Silva e Queiroz, 2002).

Os teores de proteína bruta do alimento oferecido e de nitrogênio urinário das amostras de urina foram determinados pelo método de Kjeldahl, utilizando-se aparelhagem da marca BÜCHI para destilação e titulação. (Silva e Queiroz, 2002).

A energia bruta foi determinada nas amostras da dieta oferecida, sobras e fezes do ensaio de digestibilidade aparente, e das amostras de alimento oferecido e sobras do período de mensurações em câmara respirométrica, pela utilização de calorímetro adiabático modelo PAAR-1281. Para que a combustão da urina fosse possível, procedeu-se a secagem da mesma. Para isto, 10 ml da mesma foram colocados em recipiente plástico cortado em altura suficiente para alojar o material. Este recipiente com a urina foi colocado em estufa ventilada a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ por cerca de 12h, ou por tempo suficiente para a evaporação do conteúdo de água da amostra. Para a análise na bomba calorimétrica, o recipiente com o resíduo sólido da amostra de urina foi colocado no aparelho, sendo a energia da urina obtida pela diferença entre o valor de energia do recipiente com o resíduo e a média do valor de energia liberado na queima de três recipientes vazios.

A fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e as cinzas foram determinadas pela metodologia proposta por Van Soest et al. (1991). As análises de FDN foram realizadas no aparelho Fiber Analyzer ANKON®, utilizando-se saquinhos 5x5cm, feitos a partir de TNT (tecido não tecido) com porosidade de 100 micras.

Os valores de digestibilidade aparente foram determinados em percentual de desaparecimento, considerando-se a quantidade consumida e a quantidade recuperada nas fezes de cada componente nutricional.

As análises de concentração de creatinina na urina foram realizadas no Laboratório de Patologia Clínica da Escola de Veterinária da UFMG. Utilizou-se o equipamento COBAS®.

4.4. Fracionamento energético, exigência de energia líquida e eficiência de utilização de energia.

Conforme já descrito, a energia bruta ingerida pelo animal foi determinada através da combustão completa da amostra da dieta oferecida e das sobras em bomba calorimétrica adiabática. Seguindo-se o mesmo procedimento, foi realizada a combustão das amostras de fezes, o que permitiu o cálculo da energia digestível disponível para o animal.

Para o cálculo da energia metabolizável, foram consideradas as perdas de energia associadas à urina e ao gás metano. A perda de energia urinária foi possível pela combustão das amostras utilizando-se o calorímetro adiabático. A quantificação da energia perdida na forma de metano foi feita pela passagem dos animais alimentados na câmara respirométrica. Para cada litro de metano, foi atribuído um valor correspondente a 9,47 kcal (Chwalibog, 2004).

Para a obtenção da energia líquida da dieta, é necessária a mensuração do incremento calórico da dieta. Este parâmetro corresponde à diferença entre a produção de calor (PC) do animal alimentado e em jejum ($IC = PC_{\text{alimentado}} - PC_{\text{jejum}}$). A produção de calor, por sua vez, é obtida através da utilização dos volumes (em litros) de oxigênio consumido e dióxido de carbono e metano produzidos pela técnica de respirometria, associados à quantidade de nitrogênio urinário excretado (Nu, expresso em gramas por dia), conforme a equação de Brouwer (1965), descrita a seguir:

$$PC = (3,866 \times O_2) + (1,200 \times CO_2) - (0,518 \times CH_4) - (1,431 \times Nu)$$

Os animais eram submetidos ao jejum alimentar por um período de 48h, quando então eram colocados na câmara respirométrica de onde eram retirados na manhã seguinte, permanecendo nesta por 20h.

Ao término de cada mensuração foram realizados os cálculos para produção de calor diária segundo a equação descrita acima, cujo valor obtido corresponde à produção de calor diária do animal em Kcal. O valor obtido equivale à exigência de energia líquida para manutenção do animal. Para o cálculo da produção de calor em função do peso metabólico, foi utilizado o valor do peso do respectivo animal submetido ao jejum de 48 horas.

A metabolizabilidade (q) da dieta foi calculada por meio da relação entre a energia metabolizável e a energia bruta ingerida (AFRC, 1993), enquanto a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k) correspondeu à relação entre a energia líquida e a energia metabolizável.

4.5. Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cada animal representando uma parcela experimental. Foram utilizados dois tratamentos com seis repetições, totalizando 10 graus de liberdade.

Item	GL
Animais	12
Tratamentos	1
Erro	1
Total	10

O modelo estatístico foi: $Y_{ij} = M + G_i + e_{ij}$, no qual: M = média geral; G_i = efeito de genótipos e e_{ij} = erro aleatório associado às observações.

Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o pacote estatístico SAEG e as médias comparadas pelo teste de F de Fisher ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

5. Resultados e discussão

3.1. Consumo e digestibilidade aparente

A tabela 7 mostra o consumo diário de matéria seca, matéria orgânica e de fibra insolúvel em detergente neutro, expresso em kg por dia, em gramas MS por kg de peso metabólico e em porcentagem do PV, e a digestibilidade aparente da MS e da MO da dieta à base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*) fornecida às novilhas Gir e F1 Holandês x Gir.

Tabela 7. Consumos diários de matéria seca (CMS), matéria orgânica (CMO) e fibra insolúvel em detergente neutro (CFDN) expressos em quilogramas por dia (Kg/dia), em gramas por quilograma de peso vivo metabólico (g/kg PV^{0,75}) e em porcentagem do peso vivo (%PV) e digestibilidade aparente da MS, MO e FDN expressas em porcentagem.

Item	Grupo genético		CV (%)
	Gir	F1 HxG	
Matéria Seca (MS)			
CMS (kg/dia)	6,15 ^a	7,76 ^b	7,29
CMS (g/PV ^{0,75})	66,47 ^a	75,75 ^b	7,06
CMS (%PV)	1,43 ^a	1,81 ^b	6,19
Digestibilidade aparente da MS (%)	61,18 ^a	61,88 ^a	6,98
Matéria Orgânica (MO)			
CMO (kg/dia)	5,81 ^a	7,31 ^b	6,63
CMO (g/PV ^{0,75})	62,88 ^a	71,43 ^b	6,52
Digestibilidade aparente da MO (%)	63,78 ^a	64,12 ^a	6,04
Fibra Insolúvel Em Detergente Neutro (FDN)			
CFDN (kg/dia)	4,55 ^a	5,73 ^b	6,62
CFDN (g/PV ^{0,75})	49,23 ^a	55,99 ^b	6,48
Digestibilidade aparente (%)	65,61 ^a	64,4 ^a	5,35

Valores seguidos por letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Fisher (P<0,05).
coeficiente de variação (%).

CV =

Deve-se ressaltar que a discussão do consumo diário possui importância limitada neste trabalho, uma vez que a dieta oferecida era restrita com o objetivo de permitir apenas ganho limitado de peso (não ultrapando 300g/dia) ou manutenção do peso dos animais experimentais. Entretanto, é importante verificar na tabela 7 que os valores obtidos de consumo de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO) e fibra insolúvel em detergente neutro

(FDN) foram significativamente ($P < 0,05$) superiores para os animais mestiços F1 HxG, o que significa maior ingestão de MS, MO e FDN para manutenção do peso.

Quando estes dados foram expressos por unidade de peso metabólico, o mesmo foi verificado, indicando que o peso vivo ou tamanho do animal não foi o fator determinante do maior consumo nas novilhas mestiças. As novilhas Gir apresentaram menor consumo de MS, com $66,47 \text{ g/kg PV}^{0,75}$ vs. $75,75 \text{ g/kg PV}^{0,75}$ para as novilhas F1. Avaliando o consumo de novilhos Nelore, com 165 kg de peso vivo médio, em dietas contendo somente feno de Tifton-85 (*C. dactylon*), Ítavo et al., (2002a) encontraram o valor de $80,40 \text{ g/kg PV}^{0,75}$ para o consumo *ad libitum* de MS. Este valor é superior ao observado nas novilhas Gir, uma vez que as mesmas estavam em plano de alimentação restrito.

Avaliando dietas com 20% de concentrado e 80% de feno de Tifton-85 (*C. dactylon*), Ítavo et al. (2002b) encontraram consumo de FDN por quilograma de peso metabólico de $71,86 \text{ g/kg PV}^{0,75}$. Em outro estudo avaliando consumo de dietas baseadas no mesmo volumoso, porém com 40% de concentrado na dieta, Ataíde Jr. et al. (2001) encontraram $44 \text{ g FDN/kg PV}^{0,75}$. Os valores descritos no presente trabalho encontram-se intermediários aos valores citados. A dieta fornecida aos animais era restrita e sua comparação com os valores da literatura possui certa limitação em função da restrição alimentar à qual foram submetidas as novilhas do presente trabalho.

Embora em muitas situações maiores níveis de consumo estejam associados a menores valores de digestibilidade, neste experimento a diferença de consumo entre os grupos genéticos não foi suficiente para acarretar diferença significativa na digestibilidade aparente dos componentes avaliados. Segundo o (NRC, 2001), dietas com digestibilidade da MS acima de 60%, quando consumidas em níveis acima da manutenção, podem ter seu aproveitamento pelo trato digestivo reduzido. O mesmo não foi observado neste experimento, provavelmente porque em ambos os tratamentos a dieta era oferecida em níveis próximos à manutenção, e as digestibilidades médias da MS, MO e FDN eram, respectivamente, 61,50%, 63,95% e 65,00%. Estes últimos valores encontram-se próximos à digestibilidade aparente sugerida por Valadares Filho et al. (2010b), que menciona para as respectivas variáveis, valores de 62,96%, 64,69% 63,98% (estes autores, entretanto não especificam o tipo de dieta e o tipo de animais utilizados na obtenção destes dados).

5.2. Balanço energético e eficiência de utilização da energia

Na tabela 8 constam os dados referentes ao balanço energético diário das novilhas Gir e F1 Holandês x Gir, recebendo alimentação próxima ao nível de manutenção com dieta a base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*).

Tabela 8. Fracionamento energético diário (Mcal/dia) de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir alimentadas próximo ao nível de manutenção

Item	Grupo genético		CV (%)
	Gir	F1 HxG	
Energia Bruta consumida (Mcal/dia)	27,29 ^a	34,25 ^b	6,83
Energia Bruta Fecal (Mcal/dia)	10,73 ^a	13,12 ^b	10,01
% da energia bruta ingerida	39,3 ^a	38,3 ^a	11,74
Energia Digestível (Mcal/dia)	16,56 ^a	21,12 ^b	11,84
% da energia bruta consumida	60,5 ^a	61,6 ^a	7,14
Energia Bruta Urinária (Mcal/dia)	1,68 ^a	1,88 ^a	26,02
% da energia bruta consumida	6,15 ^a	5,50 ^a	30,22
Energia Bruta do Metano (Mcal/dia)	1,42 ^a	2,27 ^b	23,76
% da energia bruta consumida	5,22 ^a	6,64 ^a	11,60
Energia metabolizável (Mcal/dia)	13,48 ^a	17,01 ^b	14,37
q (% da energia bruta consumida)	0,49 ^a	0,49 ^a	10,58
(EM / ED)	0,81 ^a	0,80 ^a	4,49
Incremento Calórico (Mcal/dia)	4,74 ^a	6,22 ^b	16,28
% EB consumida	17,38 ^a	17,97 ^a	16,47
Kcal / kg de MS ingerida	773,42 ^a	805,99 ^a	16,27
Energia líquida (Mcal/dia)	8,74 ^a	10,79 ^a	23,79
k (EL / EM)	0,64 ^a	0,63 ^a	12,02
Produção de calor em jejum (Mcal/dia)	6,87 ^a	9,28 ^b	15,17
Balanço energético (Mcal/dia)	1,87 ^a	1,51 ^a	158,06

Valores seguidos por letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Fisher ($P < 0,05$). K= eficiência de utilização da energia metabolizável em relação à energia líquida (EL/EM); q = proporção de energia metabolizável contida na energia bruta do alimento (EM/EB, conforme AFRC,1993); CV = coeficiente de variação.

A título de enriquecimento da discussão, a tabela 9 demonstra a partição energética em três situações distintas, com o objetivo de comparar um animal bovino bem alimentado (avaliado por técnica respirométrica no início do século XX pelo pesquisador Oskar Kellner) e animais contemporâneos, cujos dados foram extrapolados através do NRC (1996), com base em dados oriundos de abate comparativo.

Tabela 9. Partição da energia dietética de um novilho de engorda proposta por Kellner (1909) e de um novilho contemporâneo normalmente empregado em sistemas de confinamento atuais (dados extrapolados do NRC, 1996)

Item	"Boi bem alimentado" de Kellner (Mcal/dia)	%EB ingerida	Novilho moderno confinado, 600kg (Mcal/dia)	% EB ingerida	Vaca de corte confinada (%)
EB consumida	52,9	100	43,0	100	100
Energia fecal	15,9	30,0	6,5	15,0	39,6
Energia urinária	1,7	3,0	1,7	4,0	4,9
Gases de fermentação	3,4	6,0	1,1	3,0	5,4
Calor do metabolismo	6,3	12,0	8,9	21,0	8,0
Incremento calórico	17,3	33,0	17,2	40,0	36,3
Energia retida	8,3	16,0	7,6	18	5,8

Fonte: adaptada de Johnson et al. (2003)

Assim como ocorreu com o consumo de matéria seca (6,15kg para Gir vs. 7,46 para as novilhas F1), a ingestão de energia bruta foi significativamente superior para as novilhas F1 HxG.

De modo semelhante, a energia bruta fecal diária nas novilhas F1 HxG foi maior em relação às novilhas Gir. Entretanto, a participação das fezes na perda energética foi igual entre os grupos genéticos, provavelmente em função da ausência de diferença na digestibilidade aparente entre os tratamentos (tabela 7). O valor médio de 38,8% corresponde à proporção de energia bruta que foi perdida nas fezes para ambos os grupos genéticos avaliados, e está bem próximo do valor sugerido por Johnson et al. (2003) na tabela 9 para vacas de corte confinadas e para o animal estudado por Kellner, no início do século 20. A superioridade deste valor em relação ao valor proposto para o novilho moderno que consta na tabela 9 se explica pelo fato de que o mesmo corresponde a um animal confinado recebendo dieta com

alta proporção de grãos, isto é, com digestibilidade muito superior à da dieta do presente experimento.

As perdas energéticas pelas fezes são refletidas na energia digestível. A energia digestível ingerida pelas novilhas F1 HxG foi significativamente maior que para as novilhas Gir. Entretanto, não foi detectada diferença na proporção de energia digestível em relação à energia bruta consumida entre os diferentes grupos genéticos, sendo o valor médio encontrado para esta variável de 61,05%. As perdas energéticas nas fezes podem corresponder a 65% ou mais da energia bruta consumida para dietas compostas por forragens de qualidade inferior à de forrageiras temperadas bem manejadas, como é o caso deste experimento (cuja dieta foi composta por forrageira tropical). Para dietas contendo grandes quantidades de grãos processados, a proporção de energia fecal em relação à energia bruta pode corresponder a menos de 20% (CSIRO, 2007), como ilustrado no exemplo da tabela 9 para novilhos modernos confinados.

Para o cálculo da energia metabolizável, as perdas de energia pelo animal na forma de urina e metano devem ser consideradas. As perdas relativas à urina não diferiram entre os grupos genéticos tanto em Mcal por dia (média de 1,78Mcal/dia), quanto em percentual da energia bruta ingerida (média de 5,83% da EB). As perdas energéticas pela urina estão acima dos valores propostos por Van Soest (1994), segundo o qual as perdas na energia digestível associadas à urina geralmente estão em torno de 3 a 5%, valores estes similares aos encontrados na tabela 9. Maiores perdas de energia na urina podem ser justificadas pela maior excreção de compostos nitrogenados não específicos, como aminoácidos e creatinina, cujo conteúdo energético corresponde a 33,46 Kcal/g de N e 13,38 Kcal/g de N, respectivamente. A ureia, que corresponde normalmente de 80 a 90% da quantidade total de nitrogênio da urina, possui um valor energético de 5,37 Kcal/g de N (Birkett e Lange, 2001).

As produções de metano acompanharam o comportamento observado para a ingestão de matéria seca, sendo superior nas novilhas F1 HxG quando comparadas às Gir, sem, no entanto, haver diferença na proporção de metano em relação à energia bruta ingerida. O valor médio da produção de metano expresso em função da energia bruta ingerida foi de 5,93%, estando próximo do valor de 6% proposto por Johnson e Johnson (1995) e dentro do limite de 5 a 12% sugerido por Van Soest (1994). As perdas na forma de metano podem variar em função do nível de ingestão, sendo cerca de 8% da energia bruta ingerida em nível de manutenção e decrescendo para cerca de 6% com aumento no nível da ingestão (Resende et al.,

2011). A influência do nível de alimentação na produção de metano pode ser comprovada na tabela 9, na qual a produção de metano em altos níveis de alimentação (com dietas ricas em grãos para terminação de novilhos em confinamento) correspondeu a apenas 3% da energia bruta ingerida, enquanto que para vacas de corte e animais mais antigos, a energia perdida na forma de metano variou de 5,4 a 6%.

A energia metabolizável ingerida por dia foi superior nos animais mestiços (17,01 Mcal/dia) em relação aos zebuínos (13,48 Mcal/dia), provavelmente em função da maior ingestão de matéria seca pelos animais F1 HxG. A ingestão de energia metabolizável em ambos os tratamentos foi superior à descrita por Silva et al. (2002a) para a manutenção de animais Nelore, machos, não castrados, que é de 11,97 Mcal/dia. Além de prováveis diferenças relacionadas ao sexo e aptidão produtiva, tal diferença se deve provavelmente ao fato de que a dieta fornecida para as novilhas tinha como objetivo proporcionar aos animais ganhos de peso restrito não estando, portanto, fornecendo a energia metabolizável somente para manutenção.

O percentual de energia metabolizável em relação à energia bruta ingerida (ou q_m), que corresponde à metabolizabilidade da dieta, foi similar entre os grupos genéticos avaliados, sendo este valor correspondente a 0,49. Para novilhas das raças Friesian e Holandesa recebendo dietas com concentração de energia metabolizável equivalente a 2,4 Mcal/kg, o AFRC (1993) adota um q_m de 0,53. Na medida em que a densidade energética da dieta aumenta, ocorre um aumento nos valores de q_m , chegando a 0,64 para dietas contendo 2,9 Mcal de EM/kg. Para gado de corte, o q_m se comporta da mesma forma, atingindo valores de 0,69 para dietas nas quais a energia metabolizável é de 3,1 Mcal/kg. Reid et al. (1980) citam que a metabolizabilidade da dieta tem seu valor estabelecido em função da qualidade da dieta e do balanço energético ao qual o animal está submetido, isto é, um animal recebendo dieta de maior qualidade e submetido a um plano de alimentação que permita ganho de peso terá seu valor de “q” maior quando comparado a um animal recebendo dieta de pior qualidade e submetido à perda de peso. Assim, o “q” da dieta consumida pelas novilhas deste experimento está de acordo com esses autores, uma vez que os animais estavam submetidos a um plano de alimentação próximo da manutenção e recebiam dieta com energia metabolizável menor que 2,4 Mcal/kg (tabela 10 – EM da dieta = 2,18 Mcal/kg). Para animais em ganho (como no caso dos animais citados pelo AFRC, 1993), o q_m tende a ser maior do que para animais próximos da manutenção (Reid et al., 1980).

A relação entre energia metabolizável e energia digestível foi estatisticamente semelhante entre as duas raças avaliadas, com valor médio de $EM/ED = 0,805$. A literatura cita que esta relação é alta, sendo a correspondência entre energia metabolizável e energia digestível equivalente a 82% (ARC, 1980; Resende et al., 2011). De fato, as perdas associadas ao metano e à urina avaliadas neste estudo estão em torno de 20%. O NRC (2000) adota um valor de 0,8 para a razão entre a energia metabolizável e a digestível e ainda chama a atenção para o fato de que este valor pode variar consideravelmente em função do nível de consumo, idade do animal e tipo de alimento. Confirmando tal hipótese, o AFRC (1993) cita que a relação entre EM/ED pode variar de 0,80 a 0,86. Para forragens tropicais, que tipicamente apresentam menor disponibilidade de energia para o animal, a relação EM/ED estaria mais próxima de 0,81, enquanto que valores maiores como 0,85 seriam mais característicos de cereais e grãos (CSIRO, 2007). A similaridade entre os dados obtidos e a literatura tem considerável importância, uma vez que este é o primeiro trabalho com animais zebuínos e seus cruzamentos, utilizando a técnica respirométrica, que apresenta tais dados.

O incremento calórico pode representar de 20 a 30% da energia bruta ingerida para animais em manutenção, 30% para animais em lactação e até 42% para animais em engorda (Van Soest, 1994). Tanto os valores obtidos para as novilhas Gir (21,4%) quanto o valor para as novilhas F1 HxG (28,2%) estão de acordo com os intervalos propostos por este autor para animais em manutenção. Os dados de Johnson et al. (2003), presentes na tabela 9, comprovam a influência do plano de alimentação no incremento calórico, uma vez que os animais apresentados nesta tabela representam animais alimentados para ganho de peso, que tiveram a razão entre o incremento calórico e energia bruta ingerida variando de 30 a 40%.

A ingestão de energia líquida (Mcal/dia) não diferiu estatisticamente entre as raças avaliadas, apresentando um valor médio de 9,77 Mcal/dia. A comparação entre os valores de energia líquida para ganho expressa em Mcal/dia nos diferentes trabalhos consultados deve ser feita com cautela. Isto porque as condições experimentais, o tipo de dieta, o tipo de animal, dentre outros fatores, podem interferir na ingestão total de energia líquida pelo animal. Por exemplo, o NRC (2001) determina que para novilhas na mesma categoria de peso (450 kg), a ingestão diária de energia líquida para manutenção é de 7,62 Mcal/dia, porém estes mesmos animais são descritos como estando no terço final da gestação, o que certamente influencia a exigência de energia líquida para manutenção, em função do desenvolvimento fetal. Para novilhos de raça europeia em crescimento, o NRC (2000) sugere que a exigência de energia líquida para

manutenção de novilhos de 400 kg de peso vivo seria de 7,92 Mcal/dia e que para 500 kg de peso vivo seria de 9,36 Mcal/dia e assim, por interpolação, a exigência de um novilho com peso vivo de 450kg seria de 8,64 Mcal/dia. Os animais do presente trabalho não estavam em gestação, como seria desejável num sistema de produção, pois os objetivos do projeto eram determinar as exigências de manutenção de diferentes grupos genéticos em idade adulta e, posteriormente, num projeto futuro, associar as exigências de manutenção e gestação.

O valor superior para ingestão de energia líquida descrito no presente experimento pode ser devido ao fato de que as novilhas não se encontravam estritamente em manutenção. Os experimentos para determinação das exigências de energia para manutenção com a utilização da técnica respirométrica requerem o estudo da produção de calor do animal alimentado em níveis próximos à manutenção, com posterior submissão do ao jejum alimentar.

A eficiência de utilização da energia metabolizável para energia líquida para manutenção corresponde ao valor designado como “k” na tabela 8. A eficiência de utilização da energia para manutenção tem sido relatada com valores sempre próximos a 0,60 e, por isso, Tolkamp e Kyryazakis (2009) propõem que este valor seja fixo ao se avaliar a eficiência de utilização da energia metabolizável para líquida, no caso da manutenção. O NRC (2001) e o CNCPS (Fox et al., 2004) adotam o valor de 0,64, enquanto o NRC (2000) menciona que, para dietas com teor energético inferior a 2,0 Mcal de EM/kg, o k_m corresponde a 0,576. Vêras et al. (2001) que trabalhou com dietas com teor de energia metabolizável variando de 2,11 a 2,59 Mcal/kg encontrou k_m semelhante (0,56) para animais Nelore não castrados

Trabalhos nacionais (utilizando animais zebuínos e seus cruzamentos) tem sugerido valores semelhantes para o k_m de 0,63 a 0,65 (Silva et al., 2002a; Silva et al., 2002b) e também mais elevados, como os apontados por Valadares Filho et al. (2010) e Chizzotti et al., (2008) de 0,67 e Veloso et al. (2002) de 0,68. É importante ressaltar que esses trabalhos nacionais utilizaram a técnica de abate comparativo, sendo que não há literatura disponível para animais de genética, idade e peso semelhantes aos dos animais deste experimento, utilizando-se câmara respirométrica.

Neste trabalho, a eficiência de utilização da energia para manutenção foi calculada pela razão entre a energia líquida e a energia metabolizável ingeridas. Muito embora os valores de energia líquida e energia metabolizável não correspondam necessariamente aos requerimentos energéticos para retenção de energia igual à zero – isto é, manutenção – os animais do presente

experimento foram mantidos em níveis de ganho de peso próximos ao equilíbrio de energia, ou seja, o consumo de energia metabolizável era próximo ao necessário para a manutenção do peso vivo. Isto foi obtido no experimento pelo monitoramento da ingestão de matéria seca e de alterações do peso vivo. Sendo assim, pode-se considerar que o “k” calculado representa o k_m . Além disso, a produção de calor em jejum, que corresponde à energia líquida para manutenção, responde por mais de 80% da energia líquida ingerida pelas novilhas deste trabalho (82,9% para as novilhas Gir e 90,5% para as novilhas F1 HxG – sem haver diferença estatística entre estes valores), o que corrobora a extrapolação do “k” calculado para este trabalho como correspondente ao k_m .

A produção de calor em jejum foi diferente entre os tratamentos, sendo superior para novilhas F1 HxG em relação às novilhas Gir (9,28 vs. 6,87 Mcal/dia, respectivamente), provavelmente em função do maior peso vivo destes animais em relação às novilhas Gir. Da mesma forma que a ingestão de energia líquida, uma melhor discussão será feita na abordagem da produção de calor em jejum avaliada em função da unidade de tamanho metabólico ($PV^{0,75}$), no item 3.4. Apesar de os animais mestiços deste trabalho terem apresentado maior produção de calor em jejum que os animais zebuínos, ao se avaliar tal produção de calor em função do peso vivo metabólico, tem-se uma igualdade estatística dos valores entre os grupos genéticos avaliados (como posteriormente é demonstrado na tabela 11).

O balanço energético obtido demonstrou não ter havido diferença na energia disponível para ganho entre os dois grupos genéticos avaliados, com valor médio de 1,69 Mcal/dia, mostrando que a partição energética foi semelhante entre os tratamentos. Este valor pode ser considerado como a energia líquida para ganho e, segundo NRC (2000), NRC (2001) e Valadares Filho et al. (2010), permite ganho de peso equivalente a cerca de 200g/dia, validando a proposta inicial da dieta oferecida no presente trabalho, que foi o de proporcionar ganho de peso vivo leve para os animais experimentais (que obtiveram ganho médio diário de 193g/dia).

3.3. Densidade energética da dieta

Na tabela 10 verifica-se a densidade energética da dieta experimental, expressa em diferentes formas.

Tabela 10. Energia bruta, digestível, metabolizável e líquida, expressas em Mcal/kg da dieta experimental, à base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*)

Item	Grupo Genético		CV (%)
	Gir	F1 HxG	
Energia Bruta (Mcal/kg)	4,44 ^a	4,42 ^a	0,36
Energia Digestível (Mcal/kg)	2,69 ^a	2,72 ^a	6,92
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	2,18 ^a	2,19 ^a	10,37
Energia líquida (Mcal/kg)	1,41 ^a	1,38 ^a	20,24

Valores seguidos por letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Fisher ($P < 0,05$). CV = coeficiente de variação (%).

Não foram encontradas diferenças significativas para a avaliação da densidade energética da dieta, expressa de diferentes formas. Em relação aos coeficientes de variação, observa-se que os menores valores estão associados à avaliação da densidade energética expressa em energia bruta (Mcal/kg), com uma tendência de aumento da variação na medida em que o fracionamento energético torna-se mais refinado. Isso já era esperado, uma vez que o teor de energia bruta da dieta refere-se ao calor de combustão da mesma, sendo dependente de sua composição química e não de sua qualidade da mesma. O valor médio encontrado na combustão de amostras da dieta (energia bruta, EB) foi 4,43Mcal/kg de MS, o que está de acordo com o valor para combustão de carboidratos, que é de 4,2Mcal/kg (Ferrell, 1993). O feno de *Cynodon spp.* possui cerca de 80% de carboidratos totais (Valadares Filho et al., 2010), o que explica o baixo coeficiente de variação desta variável. O CSIRO (2007) e o AFRC (1993) adotam valores de 4,4 e 4,5 Mcal/kg, respectivamente, para expressar os valores de energia bruta de alimentos para ruminantes. O valor de energia bruta de uma dieta tende a aumentar, conforme há um aumento em seus teores de proteína e principalmente de gordura, pois estas substâncias possuem respectivamente 5,6 e 9,4 Mcal/kg (Maynard et al., 1979, citados por NRC, 2001). A tendência de diminuição do valor de energia bruta da dieta aumenta na medida em que se aumenta o teor de cinzas da mesma, afinal tais substâncias não são passíveis de oxidação completa em bomba calorimétrica adiabática, assim como não o são no organismo animal.

A energia bruta, embora possa fornecer alguma informação sobre o potencial da dieta e/ou alimento em fornecer energia, não apresenta nenhum significado biológico concreto. Isso se justifica em função de diferentes taxas e extensões da digestão, do rendimento energético dos

compostos oriundos, das diferentes eficiências na utilização da energia para manutenção ou síntese de produtos e das diferentes taxas metabólicas, que estão associadas com diferentes níveis de alimentação (Ferrell, 1993).

A energia digestível (ED) apresentou um valor médio de 2,7Mcal/kg para ambos os grupos genéticos avaliados, denotando perda semelhante da energia bruta do alimento nas fezes, que pode ser comprovada pelo balanço energético, no qual cerca de 40% da energia bruta ingerida foram perdidos no material fecal (como mostra a tabela 8). Ao contrário da energia bruta, a energia digestível já apresenta alguma informação mais concreta em relação ao valor nutritivo da dieta, pois fornece informações a respeito da digestibilidade aparente da dieta consumida. A própria energia digestível pode também ser chamada de “*energia digestível aparente*” pelo fato de não levar em conta a excreção nas fezes de substâncias oriundas do organismo animal, como células de descamação da parede do trato gastrointestinal e resíduos de secreções (Resende et al., 2011). O valor encontrado possui grande semelhança com o valor de energia digestível para o feno de Tifton-85 proposto pelo NRC (2001) para animais alimentados em nível da manutenção, que é de 2,5 Mcal/kg de MS.

A conversão da energia digestível em NDT (nutrientes digestíveis totais) pode ser feita através da divisão da energia digestível por 4,409, pois em teoria, um quilograma de NDT corresponde a 4,409 Mcal de ED (NRC, 2001; NRC, 2000) para animais alimentados em nível de manutenção.

A próxima etapa do fracionamento da energia da dieta seria a expressão em energia metabolizável (EM), que foi de 2,18 Mcal/kg de MS, o que indicou uma perda energética de 0,52 Mcal/kg relativa à produção urinária e metano. Em um trabalho avaliando diferentes dietas para novilhos na fase de recria e engorda, Backes et al. (2005) encontraram 2,29 Mcal de EM/Kg MS (0,11Mcal a mais do que o encontrado no presente trabalho) para o feno de Tifton-85. Este valor ligeiramente superior, provavelmente se deve à da dieta contendo concentrado do estudo de Backes et al. (2005), que pode ter permitido um melhor aproveitamento da fração volumosa da dieta em função do maior suprimento energético para a microbiota rumenal, bem como do maior percentual de proteína bruta encontrado no feno (11,32 vs. 7,61 no presente trabalho). O NRC (2001) sugere, para animais com nível de ingestão de três vezes a manutenção, um valor de energia metabolizável para o feno de Tifton-85 de 1,86 Mcal/kg de MS. A taxa de passagem pode explicar a diferença entre o valor encontrado neste trabalho e o proposto pelo comitê americano para vacas de leite da raça

Holandesa em lactação, uma vez que o aumento do consumo está relacionado a aumento nas taxas de passagem da digesta, acarretando assim, menor tempo de permanência do alimento do trato gastrointestinal e como consequência, menor digestibilidade.

A energia líquida (EL) obtida para a dieta experimental teve valor médio de 1,39 Mcal/kg de MS. Para Van Soest (1994), a avaliação dos alimentos pelo sistema de energia líquida é mais vantajosa para ruminantes, pois a produção de calor tende a ser alta e possuir grande variação. De fato, observa-se que os para os valores de EL foram encontrados os maiores coeficientes de variação. Para a energia líquida do feno de Tifton-85, o NRC (2001) atribui o valor de 1,12 Mcal/kg para animais alimentados em níveis três vezes superiores à manutenção que, como foi mencionado anteriormente, pode afetar a taxa de passagem, acarretando menor aproveitamento da dieta pelo animal. Utilizando diferentes níveis de inclusão de concentrado (25 a 75%) em um experimento com o objetivo de determinar as eficiências de utilização de energia pela técnica de abates comparativos, Veloso et al. (2002) calcularam a concentração de energia líquida para manutenção das dietas dividindo o valor encontrado para produção de calor em jejum pelo consumo de matéria seca para manter o equilíbrio de energia. Dentre as dietas descritas por estes autores, a que possuía menor nível de concentrado e, portanto, se assemelhava mais ao experimento em questão, continha 1,31 Mcal/kg de MS.

3.4. Exigências de energia para manutenção

Na tabela 11 é possível verificar a exigência de energia líquida e energia metabolizável para manutenção de novilhas Gir e F1 HXG, determinadas por respirometria calorimétrica.

Tabela 11. Exigências de energia líquida e energia metabolizável para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir recebendo alimentação restrita com dieta a base de feno de Tifton-85 (*Cynodon spp.*)

Item	Grupo Genético		CV (%)
	GIR	F1 HxG	
EL _m (kcal/PV ^{0,75})	76,83 ^a	92,02 ^a	14,76
EM _m (kcal/PV ^{0,75})	120,05 ^a	146,06 ^b	14,57

Valores seguidos por letras diferentes na coluna diferem pelo teste de Fisher (P<0,05). EL_m= energia líquida para manutenção expressa em quilocalorias por quilograma de peso vivo metabólico (Kcal/PV^{0,75}), correspondente a produção de calor de animal em jejum por 72h; EM_m= energia metabolizável para

manutenção expressa em quilocalorias por quilograma de peso vivo metabólico ($\text{Kcal/PV}^{0,75}$), calculada a partir de “k” presente na tabela 8. CV = coeficiente de variação (%).

Os valores encontrados para exigência de energia líquida para manutenção das novilhas Gir ($76,83 \text{ kcal/PV}^{0,75}$) e para as novilhas F1 HxG ($92,02 \text{ kcal/PV}^{0,75}$) não diferiram estatisticamente entre si. O valor médio para esta variável foi de $84,43 \text{ kcal/PV}^{0,75}$.

Lofgreen e Garret (1965), ao validarem a técnica do abate comparativo, afirmaram que uma boa estimativa da produção de calor do metabolismo basal seria em torno de $70 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$. Neste mesmo estudo, obtiveram valor semelhante, de $75 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$ para animais em manutenção, sendo a atividade realizada pelo animal o fator responsável pela diferença entre estes dois valores mencionados por eles. Mais tarde, os mesmos autores (Lofgreen e Garret, 1968) encontraram $77 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$ como valor de energia líquida para manutenção. Ambos os valores determinados por eles aproximam-se mais do valor de energia líquida para manutenção obtida para as novilhas Gir (muito embora o valor encontrado para as novilhas F1 HxG não tenha diferido estatisticamente).

O NRC (2000) adota o valor para energia líquida de manutenção obtido no estudo desenvolvido por Lofgreen e Garret (1968) de $77 \text{ kcal/PCVZ}^{0,75}$ pela metodologia de abate comparativo. Para este comitê, o peso de corpo vazio corresponde a 85,1% do peso vivo em jejum, podendo esta relação variar de 85 a 95%. Assumindo a relação entre PCVZ/PV em jejum como 0,85, o valor de $77 \text{ kcal/PCVZ}^{0,75}$ passaria para $65 \text{ kcal/PV}^{0,75}$ e, ao considerar a inferioridade de 10% deste valor para zebuínos, tem-se a exigência de $58,5 \text{ kcal/PCVZ}^{0,75}$ para este tipo de animal. O CNCPS (Fox et al., 2004) também adota o valor proposto pelo NRC (2000), desconsiderando a diferença de 10% para animais *Bos indicus*. Os valores mencionados encontram-se abaixo do valor de energia líquida para manutenção determinados neste experimento por respirometria calorimétrica.

Cabe ressaltar que há diferenças na relação entre peso vivo e peso de corpo vazio para entre taurinos, mestiços e zebuínos, entretanto a carência de dados sobre este tipo de animal (especificamente fêmeas zebuínas e seus cruzamentos) limita uma discussão mais aprofundada sobre o assunto. Apenas um único trabalho foi realizado com fêmeas no Brasil (Borges, 2000), estabeleceu equações que para fêmeas taurinas (Holandesas) e zebuínas (Guzerá), porém tratavam-se de animais com idade, peso vivo e submetidos a dietas distintas em relação ao presente trabalho.

No caso do AFRC (1993), a exigência de energia líquida para manutenção foi calculada para animais com peso vivo de 450kg pela seguinte fórmula:

$$\text{PC em jejum (Mcal/dia)} = \{C1 * [0,53 * (PV/1,08)^{0,67}]\} / 4,184$$

Considerando-se as circunstâncias nas quais o presente experimento foi desenvolvido, o multiplicador “C1” não seria considerado (pois os animais não se tratam de touros, cujo “C1” equivale a 1,15) e o peso vivo (PV) empregado na fórmula corresponde ao peso vivo médio das novilhas deste experimento, de 450kg. Assim, a exigência de energia líquida para manutenção corresponderia a 7,2 Mcal/dia e, em termos de peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$), a exigência seria 73,8 kcal/kg $PV^{0,75}$.

O NRC (2001), ao citar os valores de energia líquida para manutenção, adota as normas ditadas pelo NRC (2000) com algumas correções propostas pelo mesmo, e estabelece que o requerimento de energia para manutenção para animais com potencial leiteiro é de 80 kcal/ $PV^{0,75}$, valor este que se encontra bem próximo ao valor encontrado no presente trabalho.

Para gado de corte, Valadares Filho et al. (2010) sugerem que, para animais confinados, a energia líquida para manutenção seria de 74,2 kcal/ kg $PCZV^{0,75}$. Em condições de confinamento, os mesmos autores afirmam que o peso de corpo vazio corresponde a 89,5% do peso vivo em jejum. Sendo assim, ao extrapolarmos tais dados para a determinação da energia líquida para manutenção, o valor sugerido por eles seria de 66,41 kcal/kg de $PV^{0,75}$.

O valor de energia líquida para manutenção sugerido por Chizzotti et al. (2008), que avaliaram 389 animais da raça Nelore e seus cruzamentos com raças taurinas, foi 74,2 kcal/ kg $PCZV^{0,75}$. Os autores realizaram uma meta-análise, sugerindo que a relação entre peso de corpo vazio (PCVZ) e peso vivo em jejum (PVJ) seria expressa pela equação $PCVZ = -15,6 + 0,928 * PVJ$. Dessa forma, a relação entre o peso de corpo vazio e o peso vivo em jejum (considerando-se que $PVJ = 450\text{kg}$) seria de 89,3%, sendo muito semelhante ao que mencionou Valadares Filho et al. (2010). Assim, a exigência de energia líquida para manutenção recomendada por Chizzotti et al. (2008) seria de 67 kcal/kg $PV^{0,75}$ para seus animais.

Trabalhando com novilhos europeus (Hereford), Bikerlo et al. (1991) observaram que a produção de calor em jejum para estes animais, quando recebendo alimentação restrita (133 kcal/kg de $PV^{0,75}$ /dia), foi influenciada pela estação do ano, sendo significativamente maior

no verão, com temperatura média de 20,9°C, (90,4 kcal/kg de $PV^{0,75}$) e menor no outono, com temperatura média de 5,0°C (81,1 kcal/kg de $PV^{0,75}$).

O cálculo de energia metabolizável para manutenção foi feito pela correspondência entre a energia líquida e a energia metabolizável, ou “k”, apresentado na tabela 8. Os valores encontrados diferiram estatisticamente, sendo 17,8% superior para os animais mestiços F1 HxG (146,06 kcal/kg de $PV^{0,75}$) em relação aos animais zebuínos Gir (120,05 kcal/kg de $PV^{0,75}$). Este achado segue a linha sugerida pelo NRC (2000) de que animais zebuínos possuem menor exigência de energia quando comparados a animais taurinos. De maneira geral, a literatura apresenta maiores variações para a exigência de energia metabolizável para manutenção em comparação à energia líquida para manutenção, provavelmente pelo fato de que a produção de calor pode apresentar grande variação (Van Soest, 1994), refletindo este comportamento na exigência de energia metabolizável para manutenção.

Em um trabalho que investigou a influência do potencial produtivo na exigência de energia metabolizável para manutenção em vacas vazias e adultas (5 a 6 anos de idade), Ferrell e Jenkins (1985) encontraram maiores exigências para animais pertencentes aos cruzamentos com a raça Jersey e Simental, sendo 165 kcal/kg de $PV^{0,75}$, enquanto que animais da raça Angus e Charolais obtiveram os menores valores (141 e 149 kcal/kg de $PV^{0,75}$, respectivamente).

Moe (1980) menciona trabalhos da década de 60 com animais leiteiros, como os de Coopock et al. (1964), que encontraram 131 kcal EMm/kg de $PV^{0,75}$ e o de Van Es e Nijkamp (1969), que encontraram valores de 96 a 111 kcal EMm/kg de $PV^{0,75}$.

Solis et al. (1988) trabalharam com animais de diferentes raças, normalmente especializados para diferentes funções produtivas (Angus, Brahman, Hereford, Holandês, Jersey e seus cruzamentos) e encontraram um valor médio para a exigência de energia metabolizável para manutenção de 101,9 kcal/kg de $PV^{0,75}$, sendo que raças com aptidão para produção de carne (Angus, Brahman e Hereford) apresentaram menor exigência que os animais com aptidão leiteira (Holandês e Jersey). A raça Jersey mereceu destaque, pois obteve o maior requerimento de energia metabolizável para manutenção, que foi equivalente a 140,4 kcal/kg de $PV^{0,75}$ (a raça Holandesa obteve valor significativamente inferior, de 115,7 kcal/kg de $PV^{0,75}$).

Bikerlo et al. (1991), utilizando a técnica respirométrica, encontraram para novilhos Hereford influência da estação do ano e do nível de alimentação na exigência de energia metabolizável

para manutenção. Os animais em alimentação restrita (com ingestão de 133 kcal/kg de $PV^{0,75}$) – cuja condição de alimentação se assemelha à este experimento – obtiveram valores em torno de 110,5 kcal/kg de $PV^{0,75}$ para exigência de energia metabolizável para manutenção.

Em trabalhos nacionais, utilizando a técnica de abate comparativo, com animais zebuínos, foram encontrados os seguintes valores para energia metabolizável para manutenção: 112,89 kcal/kg de $PCVZ^{0,75}$ para novilhos F1 Limousin x Nelore (Velooso et al., 2002), 131,92 kcal/kg de $PCVZ^{0,75}$ para novilhos da raça Nelore não castrados (Silva et al., 2002a).

Muito embora não tenham sido encontrados trabalhos específicos para novilhas F1 HxG e Gir para uma comparação mais efetiva dos resultados encontrados, estes possuem alguma similaridade com a literatura consultada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Novilhas leiteiras Gir e F1 Holandês x Gir não possuem diferenças para exigência de energia líquida para manutenção, sendo a eficiência de utilização da energia para manutenção também semelhante entre estes dois grupos genéticos.

O estudo de exigências nutricionais no Brasil carece de dados em relação a fêmeas bovinas com aptidão leiteira, sendo necessárias mais pesquisas a respeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. *The nutrient requirements of ruminant livestock*, London: The Gresham Press, 1980. 351p.

ATAÍDE JÚNIOR, R.J.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Consumo, digestibilidade e desempenho de novilhos alimentados com rações à base de feno de capim tifton-85, em diferentes idades de rebrota. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 1, p.215-221, 2001.

BACKES, A.A.; PAULINO, M.F.; ALVES, D.D. et al. Composição corporal e exigências energéticas e protéicas de bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em regime de recria e engorda. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.1, p.257 – 267, 2005.

BARBOSA, A.M.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Efeito do período de coleta de urina, dos níveis de concentrado e de fontes protéicas sobre a excreção de creatinina, de uréia e de derivados de purina e a produção microbiana em bovinos Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.870 – 877, 2006.

BIRKELO, C.P.; JOHNSON, D.E.; PHETTEPLACE, H.P. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. *Journal of Animal Science*, v. 69, n. 3, p. 1214 – 1222, 1991.

BIRKETT, S.; LANGE, K. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *British Journal of Nutrition*, v. 86, p. 647–659, 2001.

BORGES, A.L.C.C. *Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzerá e Holandesa*. 2000. 90p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proc 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ. N° 11. p. 441 – 443, 1965.

C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.

CHIZZOTTI, M.L.; TEDESCHI, L.O.; VALADARES FILHO, S.C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nelore cattle. *Animal Science*, v. 86, n. 7, p. 1588 – 1597, 2008.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, 2004.

FERRELL, C.L. Energy Metabolism. In: CHURCH, D.C. *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Illinois: Waveland press, 1993. C. 13, p. 250 – 267.

FERRELL, C.L.; T. G. JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, v. 61, n. 3, p. 725 – 741, 1985.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, v. 112, p. 29 –78, 2004

ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. Níveis de concentrado e proteína bruta na dieta de bovinos nelore nas fases de recria e terminação: consumo e digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.1033-1041, 2002a.

ÍTAVO, C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. Consumo, degradabilidade ruminal e digestibilidade aparente de fenos de gramíneas do gênero *cynodon* e rações concentradas utilizando indicadores internos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.1024-1032, 2002b.

JOHNSON, D.E., FERREL, C.L., JENKINS, T.G. The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going?. *Journal Animal Science*, v.81, p.E27 – E38, 2003.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 8, p.2483-2492, 1995.

LOFGREEN, G.P. A comparative slaughter technique for determining net energy values with beef cattle. In: BLASTER, K.L. *Energy metabolism*. Londre: Academic Press, 1965. p. 309-317.

LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 27, n. 3, p.793-806, 1968.

MOE, P.W. Energy metabolism of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 64, n. 6, p. 1120 – 1139, 1981.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000. 242p.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.

OLIVEIRA, A.S.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Produção de proteína microbiana e estimativas das excreções de derivados de purinas e de uréia em vacas lactantes alimentadas com rações isoprotéicas contendo diferentes níveis de compostos nitrogenados não-protéicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 5, p. 1621 – 1629, 2001.

REID, J. T., WHITE, O. D., ANRIQUE, R. et al. Nutritional Energetics of Livestock: some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal Animal Science*, v. 51, p. 1393 – 1415, 1980.

RENNÓ, L.N.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. et al. Níveis de uréia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos: parâmetros ruminais, uréia plasmática e excreções de uréia e creatinina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.3, p.556 – 562, 2008.

RENNÓ, L.N.; VALADARES, R.F.D.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Concentração plasmática de uréia e excreções de uréia e creatinina em novilhos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 4, p. 1235 – 1243, 2000.

RESENDE, K. T., TEIXEIRA, I. A. M. A., FERNANDES, M. H. R. Metabolismo de energia. In: Berchielli, T. T., Pires, A. V., Oliveira, S. G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP, 2011. C.11, p.323 – 344.

RODRÍGUEZ, 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.

ROSENBERGER, G. Sistema Urinário. In: Rosenberger, G. *Exame clínico dos bovinos*. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993. C. 8, p. 229 – 240.

SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.

SILVA, F.F.; VALADARES FILHO, S.C.; ÍTAVO, L.C.V.; et al. Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e ganho de peso e exigências de energia metabolizável e de nutrientes digestíveis totais de bovinos nelore não-castrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.514-521, 2002a.

SILVA, F.F.; VALADARES FILHO, S.C.; ÍTAVO, L.C.V.; et al. Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e ganho de peso e exigências de energia metabolizável e de nutrientes digestíveis totais de bovinos nelore não-castrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.514-521, 2002b.

SILVA, R.R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. 2011. 59p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola De Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II Carbohydrate and protein availability. *Journal Animal Science*, v. 70, n. 11, p. 764 – 773, 1992.

SOLIS, J.C; BYERS, F.M.; SCHELLING, G.T. et al. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. *Journal Animal Science*, v. 66, n. 3, p.764-773, 1988.

TEDESCHI, L.O., BOIN, C.D., FOX, D.G. et al. Energy requirements for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal Animal Science*, v. 80, p. 1671 – 1682, 2002.

TOLKAMP, B.J.; KYRIAZAKIS, I. Toward a new practical energy evaluation system for dairy cows. *The Animal Consortium*, v. 3, n. 2, p. 307-314, 2008.

VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. *Tabelas Brasileiras de composição de alimentos para bovinos*. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010b. 502p.

VALADARES FILHO, S.C., MARCONDES, M.I., CHIZZOTTI, M.L. et al. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados: BR-CORTE*. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 193p.

VALADARES, R.F.D., BRODERICK, G.A., VALADARES FILHO, S.C. et al. Effect of replacing alfalfa with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *Journal Dairy Science*, v.8, p. 2686 – 2696, 1999.

VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal. Dairy Science*, v.74, n.9, p.3583 – 3597, 1991

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

VELOSO, C.M.; VALADARES FILHO, S.C.; GESULADI JÚNIOR, A. et al. Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e ganho de peso e exigências de energia metabolizável e de nutrientes digestíveis totais de bovinos f1 limousin x nelore não-castrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.3, p.1286-1293, 2002.

VÉRAS, A.S.C.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C. et al. Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e ganho de peso e exigências de energia metabolizável e de nutrientes digestíveis totais de bovinos nelore, não-castrados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, n. 3, p. 904-910, 2001.