

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE VETERINÁRIA

ALEXANDRE LIMA FERREIRA

**EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA DE BOVINOS
MACHOS F1 HOLANDÊS X GIR DETERMINADAS PELAS
METODOLOGIAS DE ABATES COMPARATIVOS E
RESPIROMETRIA CALORIMÉTRICA**

**Belo Horizonte – Minas Gerais
Escola de Veterinária – UFMG
2014**

ALEXANDRE LIMA FERREIRA

**Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x
Gir determinadas pelas metodologias de abates comparativos e
respirometria calorimétrica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NUTRIÇÃO ANIMAL

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

**Belo Horizonte – Minas Gerais
Escola de Veterinária – UFMG
2014**

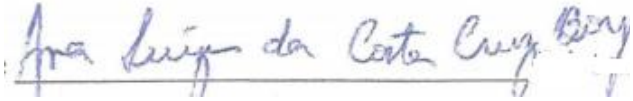
F383e Ferreira, Alexandre Lima, 1982-
Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x Gir determinada
pelas metodologias de abates comparativos e respirometria calorimétrica / Alexandre Lima
Ferreira. – 2014.
117 p. : il.

Orientadora: Ana Luiza da Costa Cruz Borges
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.
Inclui bibliografia

1. Bovino de corte – Alimentação e rações – Teses. 2. Milho como ração – Teses.
3. Dieta em veterinária – Teses. 4. Exigências nutricionais – Teses. I. Borges, Ana Luiza
da Costa Cruz. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título

CDD – 636.213 085

Tese defendida e aprovada no dia 27 de junho de 2014 pela comissão examinadora constituída por:



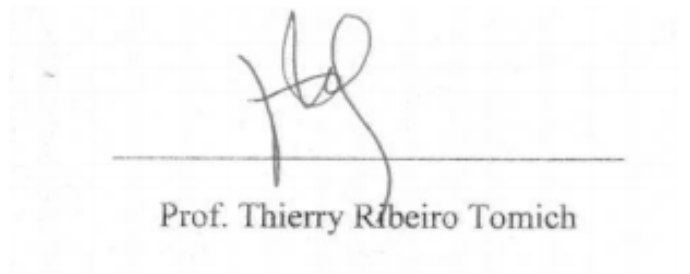
Profa. Ana Luiza da Costa Cruz Borges
(Presidente da banca)



Prof. Ricardo Reis e Silva



Dr. José Reinaldo Mendes Ruas



Prof. Thierry Ribeiro Tomich



Prof.ª Eloísa de Oliveira Simões Saliba



Prof. Dr. Décio Souza Graça (UFMG)



Mario Luiz Chizzotti

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Aldo Resende Ferreira e Vilma Lima Ferreira (*in memoriam*), por todo amor, carinho e incentivo diante de todas as adversidades da vida.

Aos meus irmãos, André Luís Lima Ferreira, Emmanuel Lima Ferreira e Fabrício Lima Ferreira, pela amizade e companheirismo.

À minha adorada esposa, Haline Gomes da Fonseca, pelo afeto, paciência e dedicação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, nosso Pai amorável e bom, por ter me dado o dom da vida e me proporcionado a realização de mais um sonho.

À toda minha família que sempre esteve ao meu lado, compartilhando tristezas e alegrias.

À minha orientadora Ana Luiza da Costa Cruz Borges, pela paciência, dedicação e aprendizado proporcionado.

Ao meu co-orientador Ricardo Reis e Silva, pelo incentivo e auxílio durante toda essa jornada.

Aos colegas de pós-graduação pela convivência e aprendizado.

Aos colegas e amigos do grupo NUTRIRUM, Helena, Marcelina, Paolo, Carol, Juliana, André, Raphael, Carlos, Patrícia, Cacadi, Rafael, Pedro, sem os quais a realização desse trabalho não seria possível.

Ao companheiro de experimento, Raphael Mourão pela convivência e auxílio.

Aos estagiários que me auxiliaram na execução do experimento.

Aos amigos André, Guilherme, Frederico e Pancoti, pelo incentivo e amizade.

Às amigas Anna Carolynne e Juliana pela presteza e dedicação.

Aos professores da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em especial ao Prof. Lúcio Carlos Gonçalves e Iran Borges, pelos ensinamentos e contribuição em minha formação acadêmica.

A todos meus orientadores durante a graduação e pós-graduação que fizeram parte da minha formação ética e profissional.

À Shirley Motta pela ajuda na escrita dos Abstracts.

À secretária Heloísa, pela paciência e dedicação.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Animal pelos ensinamentos, em especial a Toninho, Kelly e Marcos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO GERAL | 17 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 18 |
| | |
| CAPÍTULO I..... | 19 |
| REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| Energia..... | 19 |
| Unidades de energia..... | 20 |
| Partição da energia nos animais ruminantes..... | 20 |
| Conceito de manutenção e metabolismo basal | 23 |
| Relação entre a produção de calor e unidade de tamanho metabólico | 24 |
| Principais diferenças entre as metodologias de determinação das exigências nutricionais: Abate comparativo x Respirometria calorimétrica..... | 24 |
| Abate Comparativo | 24 |
| | |
| Calorimetria | 26 |
| | |
| <i>Aplicação do conceito de EL</i> | 28 |
| <i>Determinação da produção de calor, energia retida e exigências de manutenção</i> | 29 |
| <i>Eficiência de utilização da energia metabolizável</i> | 33 |
| Diferenças entre os principais sistemas de alimentação baseados em respirometria calorimétrica ou abate comparativo na determinação das exigências para manutenção | 35 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 39 |
| CAPÍTULO II..... | 43 |
| Consumo, digestibilidade, desempenho e balanço de nitrogênio em bovinos F1 Holandês x Gir em diferentes planos de alimentação..... | 43 |
| RESUMO..... | 43 |
| | |
| ABSTRACT..... | 44 |
| | |
| INTRODUÇÃO | 45 |
| | |
| MATERIAL E MÉTODOS | 46 |
| | |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 50 |
| | |
| CONCLUSÕES | 58 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| | |
| CAPÍTULO III | 63 |
| Partição energética, exigências nutricionais de energia e produção de metano em bovinos F1 Holandês x Gir, utilizando-se a técnica respirométrica | 63 |
| RESUMO..... | 63 |
| | |
| ABSTRACT..... | 65 |
| | |
| INTRODUÇÃO | 67 |
| | |
| MATERIAL E MÉTODOS | 68 |

| | |
|--|-----|
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 74 |
| CONCLUSÕES | 89 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 90 |
| CAPÍTULO IV | 95 |
| Exigências de energia líquida para manutenção de bovinos F1 Holandês x Gir determinadas pela metodologia de abates comparativo e calorimetria respirométrica .. | 95 |
| RESUMO..... | 95 |
| ABSTRACT..... | 96 |
| INTRODUÇÃO | 97 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 98 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 103 |
| CONCLUSÕES | 108 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 108 |

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Exigências de energia para manutenção de bovinos obtidas por meio da metodologia de calorimetria respirométrica..... | 27 |
| Tabela 2. Exigências de energia para bovinos obtidos em estudos de abate comparativo..... | 27 |
| Tabela 3. Eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para manutenção e ganho pela técnica de abate comparativo e calorimetria indireta..... | 29 |
| Tabela 4. Exigências de energia metabolizável e líquida para manutenção e correções aplicadas para estimá-las em diferentes sistemas de alimentação utilizados para bovinos..... | 33 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais..... | 42 |
| Tabela 2. Consumo de matéria seca (CMS), nutrientes e energia por bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais..... | 46 |
| Tabela 3. Digestibilidade (g/kg) da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), energia bruta (EB) e nutrientes em bovinos machos, inteiros, cruzados F1 Holandês x Gir sob diferentes planos nutricionais..... | 49 |
| Tabela 4. Desempenho e rendimento de carcaça quente (RCQ) de bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais..... | 51 |
| Tabela 5. Balanço aparente de nitrogênio (N) em bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais..... | 52 |

CAPÍTULO III

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais..... | 65 |
| Tabela 2. Consumo e desempenho de bovinos machos F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Tabela 3. Trocas gasosas, quociente respiratório e produção de calor em bovinos machos F1 Holandês x Gir em jejum e alimentados, sob diferentes planos nutricionais..... | 72 |
| Tabela 4. Balanço energético de bovinos machos F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais..... | 76 |
| Tabela 5. Concentração energética da dieta experimental para bovinos machos F1 Holandês x Gir..... | 77 |
| Tabela 6. Exigências de energia metabolizável (Mcal/dia) para manutenção e ganho de peso vivo em bovinos machos F1 Holandês x Gir..... | 81 |
| Tabela 7. Produção de metano por bovinos machos F1 Holandês x Gir alimentados com dieta à base de silagem de milho e concentrado..... | 83 |

CAPÍTULO IV

| | |
|---|-----|
| Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais..... | 94 |
| Tabela 2. Parâmetros da regressão do logaritmo da produção de calor ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ) em função do consumo de energia metabolizável ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ) de bovinos machos F1 Holandês x Gir obtidos pela técnica de abates comparativos..... | 100 |
| Tabela 3. Exigências de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) para manutenção em função do peso vivo (PV) de bovinos machos F1 Holandês x Gir..... | 101 |
| Tabela 4. Parâmetros da regressão do logaritmo da produção de calor ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PV) em função do consumo de energia metabolizável ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PV) de bovinos machos F1 Holandês x Gir obtidas pela técnica de abates comparativos e respirometria calorimétrica..... | 102 |

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Fluxo de energia.....16
- Figura 2.** Representação da relação entre energia retida (ER) e energia metabolizável (EM).....21
- Figura 3.** Efeito do método (abate comparativo vs calorimetria) na estimativa da eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para ganho (kg).....30

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Relação entre o consumo de nitrogênio (N) e a quantidade de N absorvida no intestino, em g/kg de matéria seca (MS) ingerida e em g/kg PV^{0,75}53

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Logaritmo da produção de calor (PC) em função do consumo de energia metabolizável (CEM) (Kcal/kg PV^{0,75}/dia) de bovinos machos F1 Holandês x Gir.....79
- Figura 2.** Energia retida (ER) (Mcal/kg PV^{0,75}/dia) em função do consumo de energia metabolizável (CEM) (Mcal/kg PV^{0,75}/dia) de bovinos machos F1 Holandês x Gir.....80
- Figura 3.** Relação entre o nível de ingestão acima das exigências manutenção e emissão de metano, expresso em percentagem do consumo de energia bruta (%CEB).....84

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------------|---|
| ATP..... | Trifosfato de adenosina |
| BE..... | Balanço energético |
| cal..... | Caloria |
| CCNF..... | Consumo de carboidratos não fibrosos |
| CE..... | Consumo de energia |
| CEB..... | Consumo de energia bruta |
| CED..... | Consumo de energia digestível |
| CEE..... | Consumo de extrato etéreo |
| CEM..... | Consumo de energia metabolizável |
| CEM..... | Consumo de energia metabolizável |
| CFDA..... | Consumo de fibra insolúvel em detergente ácido |
| CFDN..... | Consumo de fibra insolúvel em detergente neutro |
| CH ₄ | Metano |
| CHcel..... | Consumo de hemiceluloses |
| CMO..... | Consumo de matéria orgânica |
| CNDT..... | Consumo de nutrientes digestíveis totais |
| CNF..... | Carboidratos não fibrosos |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CPB..... | Consumo de proteína bruta |
| DAN..... | Digestibilidade aparente do nitrogênio |
| EA..... | Eficiência alimentar |

EB.....Energia bruta

E_{Con}.....Energia do concepto

ED.....Energia digestível

ED_{ap}.....Energia digestível aparente

ED_v.....Energia digestível verdadeira

EE.....Extrato etéreo

EF.....Energia fecal

EF_M.....Energia fecal metabólica

EG.....Energia dos gases

E_{Lac}.....Energia do leite

EL_g.....Energia líquida de ganho

EL_l.....Energia líquida de lactação

EL_m.....Energia líquida de manutença

EM.....Energia Metabolizável

EM_m.....Energia metabolizável para manutença

EM_v.....Energia metabolizável verdadeira

E_{Pel}.....Energia da lã ou pelo

EREnergia retida

E_{Tec}.....Energia tecidual

EU.....Energia urinária

EU_E.....Energia urinária endógena

FDA.....Fibra insolúvel em detergente ácido

FDNFibra insolúvel em detergente neutro

FDN_{dig}.....Fibra insolúvel em detergente neutro digerida

FDN_{ing}.....Fibra insolúvel em detergente neutro ingerida

GMD.....Ganho médio diário

GPV.....Ganho de peso vivo

Hcel.....Hemiceluloses

ICIncremento calórico

KcalQuilocaloria

k_g.....Eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho

kg.....Quilograma

K_mEficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção

LLitros

ln.....Logaritmo

McalMegacaloria

MJ.....Megajoule

MO.....Matéria orgânica

MO_{dig}.....Matéria orgânica digerida

MO_{ing}.....Matéria orgânica ingerida

MS_{dig}.....Matéria seca digerida

MS_{ing}.....Matéria seca ingerida

N₂Nitrogênio

NDTNutrientes digestíveis totais

NIDA.....Nitrogênio insolúvel em detergente ácido

NIDN.....Nitrogênio insolúvel em detergente neutro

Nm.....Newton metro

O₂Oxigênio

PBProteína bruta

PC_a.....Produção de calor alimentado

PC_{Ati}.....Produção de calor referente a atividade

PC_{Exc}.....Produção de calor referente a formação e excreção de resíduos

PC_{Ferm}.....Calor de fermentação

PC_j.....Produção de calor em jejum

PC_{Pro}.....Produção de calor da formação do produto

PC_{Ter}.....Produção de calor referente a termorregulação

PCVZPeso de corpo vazio

PIDA.....Proteína insolúvel em detergente ácido

PIDN.....Proteína insolúvel em detergente neutro

PV.....Peso vivo

PV^{0,75}Peso vivo metabólico

q.....Metabolizabilidade da dieta

QR_a.....Quociente respiratório em animais alimentados

QR_j.....Quociente respiratório em animais em jejum

R²Coeficiente de determinação

RCQ.....Rendimento de carcaça quente

RSE.....Erro padrão residual

W.....Watt

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, a utilização da calorimetria indireta para determinar as exigências nutricionais de animais ruminantes é ainda recente, sendo a técnica de abates comparativos a metodologia mais difundida e utilizada. O conhecimento das exigências nutricionais de bovinos em condições normais de criação, incluindo as características inerentes ao tipo racial, o ambiente e a dieta utilizada, pode levar a uma melhor eficiência alimentar, otimizando a utilização do alimento pelo animal e reduzindo os passivos ambientais, resultando em menor custo para produção de carne e leite.

A utilização de animais cruzados para produção de leite é prática bastante utilizada por produtores de leite regionais, estimando-se que cerca de 70% do rebanho leiteiro nacional consiste de animais mestiços. Dentre as raças mais utilizadas nesses cruzamentos estão as raças Holandês e Gir, utilizadas em cruzamentos com diversos graus de sangue.

Informações disponíveis sobre esses animais são escassas, visto que a Tabela Brasileira de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros ou Cruzadas (BR-CORTE) publicada por Valadares Filho et al. (2010), a qual representa um grande avanço científico na área de produção de bovinos em condições tropicais, não contempla animais leiteiros e seus cruzamentos, o que resulta em grande carência de conhecimentos sobre as exigências nutricionais desses animais.

Os dados gerados pela respirometria calorimétrica permitem o estudo refinado da partição energética, possibilitando determinar a eficiência de utilização da energia metabolizável para diferentes funções produtivas em distintas raças e seus cruzamentos, e em diferentes condições de alimentação. As informações geradas sobre a eficiência energética e produção de metano, aliadas aos dados de energia retida pelo animal e de energia líquida da dieta, contribuem para o refinamento do estudo das exigências nutricionais de animais zebuínos e seus cruzamentos em condições tropicais.

Neste sentido, justificam-se os esforços realizados para gerar informações sobre as exigências nutricionais em bovinos leiteiros no Brasil, permitindo no futuro próximo, pelo acúmulo das informações geradas, a elaboração de tabelas de exigências nutricionais mais apropriadas às condições brasileiras.

Deste modo, objetivou-se estudar o consumo, a digestibilidade, a produção de metano e o balanço energético e de nitrogênio, bem como determinar as exigências nutricionais

de energia pela metodologia de abates comparativos e respirometria calorimétrica, em bovinos machos inteiros F1 Holandês x Gir.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

Energia

A palavra energia tem origem grega e significa "em trabalho" (*en ergon*). O trabalho da célula é a sua contração em si, através do transporte ativo de moléculas ou íons e da síntese de macromoléculas a partir de moléculas menores. A fonte de energia para este trabalho é a energia química armazenada nos alimentos. A energia de ligação entre os átomos ou moléculas representa uma fonte potencial de energia que é liberada quando a ligação é quebrada. Quando os compostos químicos são transformados a partir de um alto nível de energia para um nível de energia mais baixo, parte desta pode então ser liberada para realização de trabalho útil (energia livre = ΔG°) de acordo com a seguinte equação: $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$, onde H° = entalpia (conteúdo de calor no sistema), T = temperatura absoluta, S° = entropia (grau de desorganização das moléculas) (Kleiber, 1972).

O entendimento dos princípios de processos bioenergéticos é fundamental na ciência da nutrição, uma vez que todos os processos que ocorrem no corpo do animal, quando o alimento é digerido e metabolizado, levam a alterações de energia.

A energia é utilizada para expressar o "valor de combustão" de alimentos que compreende os três principais grupos de nutrientes:

- Carboidratos
- Proteínas
- Lipídios

Isso permite determinar relações quantitativas entre o fornecimento de alimento e os efeitos nutricionais, como base para a predição do rendimento (produção). Hoje se sabe que existem muitos fatores que influenciam a utilização da energia pelo animal, mas, desde que o requisito por nutrientes específicos, tais como proteínas, vitaminas e minerais seja suprido, a exigência nutricional é uma questão de energia (Sundstol, 1993).

Unidades de energia

A unidade de energia empregada presentemente em muitos países é o joule (J), que tem substituído a caloria (cal) (CSIRO, 2007).

O joule compreende a quantidade de energia necessária para aplicar a força de 1 Newton pela distância de um metro. A força de 1 Newton é o produto da massa de um quilograma pela aceleração de um metro por segundo ao quadrado. Muitos dos requisitos de energia de animais são expressos em termos de energia por unidade de tempo (MJ/dia). Essa é uma expressão que possui a dimensão de força, e pode igualmente ser expressa em termos de watts (W). Um watt representa a energia a uma taxa de um joule por segundo ($1 \text{ W} = 1\text{J/s}$ ou 1 Nm/s). Apesar da maior familiaridade de muitos com o watt como uma unidade de força, os requisitos de energia por unidade de tempo tem sido expressos em termos de joules por unidade de tempo (ARC, 1980).

O joule se relaciona com a caloria pelas seguintes expressões:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J} \text{ e } 1 \text{ MJ} = 238,9 \text{ Kcal.}$$

A caloria é o calor necessário para aumentar a temperatura de 1 g de água de 16,5 a 17,5 °C. Na prática, a caloria é uma pequena quantidade de energia, assim, a quilocaloria (1 kcal = 1000 calorias) e a megacaloria (1 Mcal = 1000 kcal) são mais convenientes para utilização em conjunto com os padrões de alimentação animal (NRC, 1996).

O watt (W) é frequentemente utilizado em fisiologia ambiental para descrever o índice de perda ou ganho de calor por um animal ($1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$). A produção de calor, por exemplo, de um bovino de 300 kg em ambiente termicamente neutro e alimentado para a manutenção é de cerca de 0,45 kW (39 MJ/d) (CSIRO, 2007).

Partição da energia nos animais ruminantes

O fluxo de energia, como está demonstrado no NRC (1981), pode ser visualizado na figura 1.

Todos os sistemas de alimentação baseados em energia possuem seu ponto de partida na energia bruta, a qual representa a energia total do alimento fornecido ao animal, sendo esta a primeira mensuração na avaliação nutricional da troca energética.

A EB ou calor de combustão é a energia liberada como calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono (CO_2) e água (Kleiber, 1972).

A ingestão ou consumo de energia do alimento (CE) é a EB do alimento consumido. Uma porção substancial do CE é perdida pelo animal como energia fecal (EF) e a diferença (CE - EF) é denominada energia digestível aparente (ED_{ap}). Esta se distingue da energia digestível verdadeira (ED_v), que contabiliza a energia fecal metabólica (EF_M) e o calor produzido pela fermentação (PC_{Ferm}) (NRC, 1981).

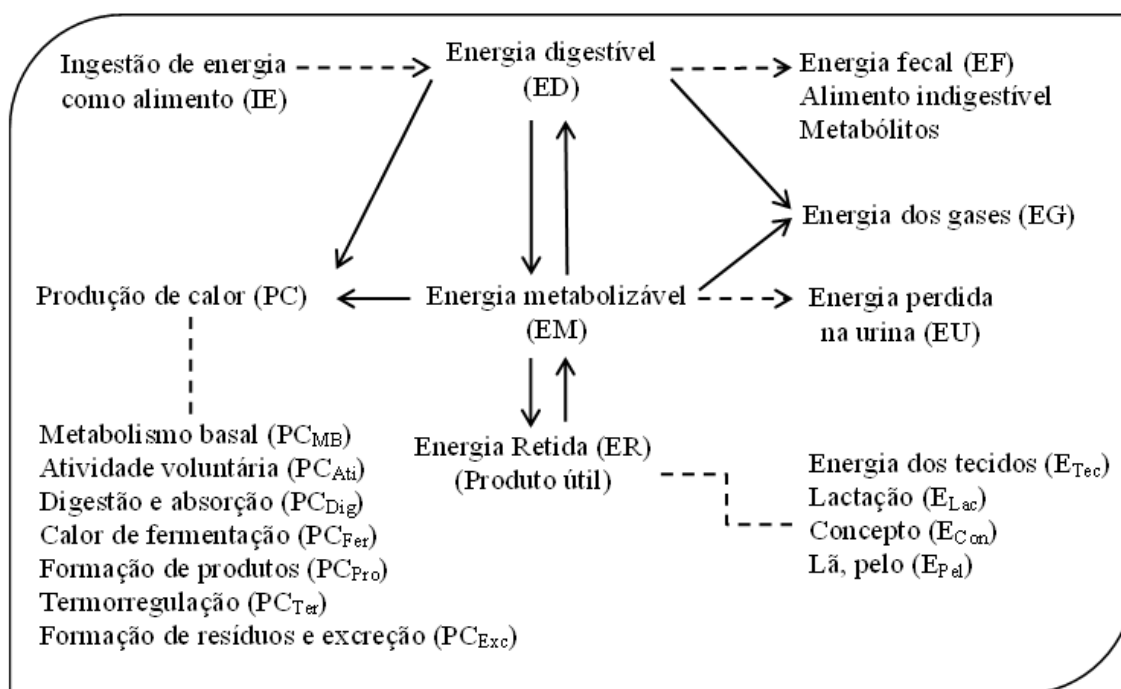


Figura 1. Fluxo de energia. Fonte: Adaptado do NRC (1981).

A ED possui certo valor para a avaliação de alimentos, porque reflete a digestibilidade da dieta e pode ser mensurada com relativa facilidade, no entanto, esta não considera diversas perdas importantes de energia associada à digestão e metabolismo dos alimentos. Deste modo, a ED tende a superestimar o valor de alimentos fibrosos, tais como fenos ou palhadas em relação aos alimentos com baixo teor de fibras e de maior digestibilidade, como os grãos. Os nutrientes digestíveis totais (NDT) são semelhantes a ED, incluindo adicionalmente uma correção para o extrato etéreo (EE) digestível. O NDT não tem quaisquer vantagens ou desvantagens em relação a ED como a unidade para descrever valores energéticos do alimento ou de expressar as necessidades energéticas do animal, podendo-se fazer a conversão direta pela equação: 1 kg NDT = 4,4 Mcal ED (NRC, 1996).

Uma grande dificuldade com o sistema NDT se deve ao fato dos valores de NDT obtidos para forragens e concentrados, quando administradas aos ruminantes, não serem

aditivos. O desempenho animal foi menor, quando o NDT foi oriundo da forragem do que quando oriundo de concentrados. Além disso, os valores relativos de NDT de forragens e concentrados não são constantes, mas diferem quando usados para diferentes funções nos animais (manutenção, crescimento, produção de leite, etc). Diferenças no valor nutricional verdadeiro entre forragens e concentrados são parcialmente devido à maior produção de metano (CH_4) durante a fermentação de forragens. Contribuintes adicionais para não aditividade de NDT de volumosos e concentrados são as diferenças de perdas de calor durante a fermentação, mudanças diferenciais na digestibilidade com alterações no nível de ingestão, e as diferenças nos produtos de fermentação e suas diferentes eficiências de utilização no animal. Todos estes tendem a variar em função da concentração energética da dieta e são geralmente refletidos na digestibilidade ou metabolizabilidade (q) da dieta (Ferrel e Oltjen, 2008).

Subtraindo-se do CE a energia perdida nas fezes, urina e gases, principalmente o gás metano, $(\text{CE} - \text{EF} - \text{EU} - \text{EG})$ resulta na energia metabolizável (EM), que é de certo modo uma medida líquida, visto que a energia da urina é em parte uma consequência do metabolismo. A energia metabolizável verdadeira (EM_V) é a energia realmente disponível para o metabolismo, a qual é obtida pela contabilização da perda de energia urinária endógena (EU_E) de origem não alimentar (NRC, 1981). A EM é um valor mais significativo que a ED para avaliação do valor energético e exigências nutricionais, pois considera as perdas energéticas urinárias e gasosas. Deste modo é uma estimativa da energia dietética disponível para o animal. Entretanto, a EM possui muitos dos mesmos problemas da ED. A energia perdida pela urina e gases são altamente previsíveis a partir da ED, com isso a ED e a EM são altamente correlacionadas. Para maioria das forragens e grãos de cereais, a relação entre EM e ED é de 0,82 (Ferrel, 1986).

A EM pode ser recuperada como produto útil tal como energia tecidual (E_{Tec}), energia do leite (E_{Lac}), energia do conceito (E_{Con}), energia da lã ou pelo (E_{Pel}), ou também, pode ser perdida como calor. A energia perdida na forma de calor (PC) pode ser o resultado de uma variedade de funções incluindo o metabolismo basal (PC_{MB}), atividade (PC_{Ati}), formação de produto (PC_{Pro}), termorregulação (PC_{Ter}) e formação e excreção de resíduos (PC_{Exc}). O aumento na produção de calor resultante do consumo de alimento é denominado de incremento calórico (IC) e inclui o calor de digestão e absorção (PC_{Dig}), calor de fermentação (PC_{Ferm}), PC_{Pro} e PC_{Exc} (NRC, 1981).

A soma de energia recuperada representa o “balanço energético”. Esta subdivisão exige a medição da PC ou energia retida (ER). Em animais em crescimento, a energia é retida

como E_{Tec} , enquanto que em vacas em lactação a energia da produção de leite (E_{Lac}) também deve ser mensurada. A energia líquida (EL) foi um termo aplicado ao balanço energético total em um determinado nível de ingestão de alimentos (Armsby, 1917), ou do consumo de energia metabolizável (CEM) subtraído a PC.

Conceito de manutenção e metabolismo basal

A mínima produção de calor obtida com o animal em jejum, mantido em ambiente termoneutro com um mínimo de atividade são descritas como metabolismo basal (Lawrence e Fowler, 1997). O metabolismo basal também é denominado metabolismo em jejum, metabolismo mínimo, metabolismo pós-absortivo ou taxa metabólica basal (Cannas et al., 2010).

Por convenção a exigência de energia líquida para manutenção tem sido utilizada como sinônimo do metabolismo basal (MB) (Webster, 1978; NRC, 1981). 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. Deste modo, a forma mais apropriada de se obter a energia líquida para manutenção seria através da relação $EL_m = MB * kb$, em que kb representa a eficiência de conversão das reservas corporais para energia útil na forma de ATP. Devido ao fato do kb possuir mínima variação, a energia necessária para o metabolismo basal e a produção de calor em jejum apresenta uma forte relação conceitual (Birkell e Lange, 2001).

A energia metabolizável para manutenção (EM_m) é definida como a taxa de produção de calor de um animal mantido em um ambiente termoneutro quando a taxa de consumo de energia metabolizável é exatamente o saldo da taxa de perda de calor (Lawrence e Fowler, 1997), logo a produção de calor correspondente a EM_m engloba a PC do animal alimentado, ou seja, considera o incremento calórico como uma forma de produção de calor, ao contrário da EL_m que é obtida com o animal em jejum, ou seja, sem contabilizar a produção de calor procedente do incremento calórico.

Assim, a EM_m é sempre superior a EL_m , pois o processo de ingerir, digerir e metabolizar o alimento requer energia e esta acaba sendo dissipada pelo animal como calor.

Os principais contribuintes para produção de calor em um animal alimentado podem estar relacionados ao processamento da dieta pelo animal, como o trabalho realizado

para mastigação do alimento, movimento do aparelho digestivo, calor de fermentação e o incremento calórico associado à transformação dos nutrientes, contribuindo para manter a temperatura corporal e outras atividades como o processo de circulação, respiração, locomoção e o custo energético para a renovação de tecidos (Lawrence e Fowler, 1997).

Relação entre a produção de calor e unidade de tamanho metabólico

Em 1839 Sarrus e Rameaux, na França, propuseram que havia uma relação entre a taxa metabólica dos animais (produção de calor por unidade de tempo), e a sua área de superfície (S). Corpos de dimensões semelhantes possuem áreas de superfície proporcionais aos quadrados das suas dimensões lineares e assim a potência de dois terços de seus volumes. A fim de estabelecer uma relação entre PC e S, várias fórmulas foram propostas para estimar a área de superfície a partir do peso vivo (PV) para a potência de 0,66 ou menor, visto que os animais não são esferas. Entretanto estas estimativas não foram consideradas confiáveis, uma vez que a medição da S é altamente incerta, e a relação com a PC não possui base teórica (Kleiber, 1972). Uma abordagem alternativa foi a utilização da análise de regressão para relacionar a taxa metabólica e peso vivo. A equação de regressão na forma

$$\ln PC = b_0 + b_1 (\ln PV)$$

resulta em um valor (b1) para o expoente PV que melhor relaciona as duas variáveis.

Para animais adultos de muitas espécies diferindo amplamente em relação ao PV, Kleiber (1972) estimou um valor de b1 como 0,75 ($PV^{0,75}$), que atualmente representa o "tamanho de corpo metabólico" ou unidade de tamanho metabólico (UTM), superando o valor de 0,73 ($PV^{0,73}$) proposto por Brody (1945).

Principais diferenças entre as metodologias de determinação das exigências nutricionais: Abate comparativo x Respirimetria calorimétrica

Abate Comparativo

Na técnica de abates comparativos, animais representativos de um grupo são abatidos no início de um experimento e a composição de seu corpo vazio, incluindo a carcaça, sangue, cabeça, couro, pés, cauda, vísceras e órgãos, mas excluindo o conteúdo do trato gastrointestinal e bexiga, é determinada. O peso de corpo vazio (PCVZ) dos animais é

determinado pelo somatório destes componentes. A composição inicial dos animais remanescentes é estimada por equações de regressão derivadas a partir dos resultados obtidos de abate que relacionam o peso da carcaça ao conteúdo corporal de energia, proteína e gordura, com o peso vivo em jejum (PV_j). Ao fim de um período de alimentação, geralmente de três meses ou mais, os animais ou uma amostra representativa destes são abatidos (Colbert e Ball, 2002).

A determinação dos conteúdos corporais de energia é realizada pelo produto dos conteúdos corporais de proteína e gordura nos órgãos, nas vísceras, no sangue, na carcaça e no couro pelos seus respectivos equivalentes calóricos. Os conteúdos líquidos de energia, gordura e proteína retidos no corpo dos animais são estimados por meio do ajuste de equações de regressão do conteúdo corporal de energia e proteína em função do PCVZ (Lofgreen e Garrett, 1968). A composição corporal é determinada e os valores são comparados com as correspondentes estimativas iniciais para obter os valores de ER.

Conforme o NRC (2000), a EM pode somente aparecer como PC ou ER, conforme a equação $CEM = PC + ER$. O valor energético do alimento para promover a retenção de energia é mensurado pela determinação da ER em dois ou mais níveis de ingestão de energia. A EL de um alimento ou dieta é classicamente ilustrada pela equação: $EL = \Delta ER / \Delta IE$. A determinação da EL por este método assume que a relação entre ER e ingestão de energia alimentar é linear. Entretanto a relação é curvilínea e demonstra efeito decrescente (Garret e Johnson, 1983).

A relação é convencionalmente aproximada por duas linhas retas. A interseção dessas duas linhas é o ponto em que $ER = 0$, o qual é definido como a manutenção (M). Reciprocamente, quando $ER = 0$, $EM = PC$. A relação entre ingestão de alimentos e a perda de tecido corporal (ER negativa) compreende uma parte da curva, e a relação entre ganho de tecido corporal (ER positiva) compreende a segunda parte da curva. A produção de calor no consumo zero, produção de calor em jejum (PC_j) é equivalente a exigência de EL para manutenção do animal. A energia líquida para manutenção, definida pela equação: $EL_m = PC_j / I_m$; onde I_m representa a ingestão de EM ao nível de manutenção, ou seja a quantidade de EM consumida quando a $ER = 0$. Similarmente, o valor de EM consumido para fornecer a retenção de energia representa a energia líquida de ganho (EL_g), e esta é determinada pela equação: $EL_g = ER / (I - I_m)$; onde $(I - I_m)$ representa a quantidade de EM em excesso aos requisitos de manutenção (Figura 2).

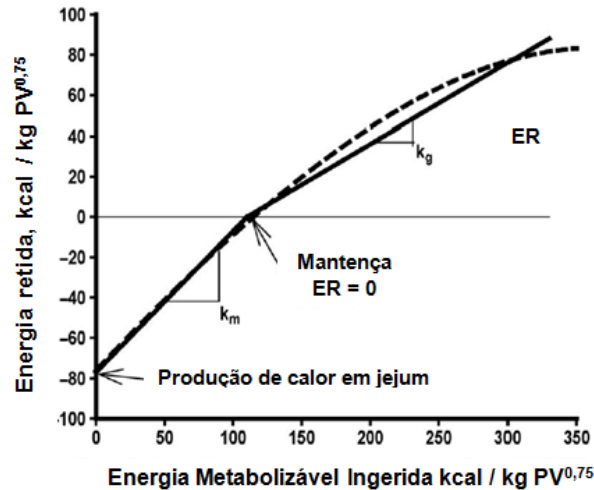


Figura 2. Representação da relação entre energia retida (ER) e energia metabolizável (EM). Fonte: Adaptado de Ferrell e Oltjen, 2008. PV = peso vivo (kg); k_m = eficiência da utilização da energia metabolizável para manutenção; k_g = eficiência da utilização da energia metabolizável para ganho.

Calorimetria

A produção de calor pode ser mensurada diretamente por meio de métodos físicos (calorimetria direta) ou pode ser inferida a partir de medições quantitativas de alguns dos subprodutos químicos do metabolismo (calorimetria indireta). Estes métodos de estimativa são possíveis por causa das restrições naturais impostas pela transformação de energia regida pelas leis da termodinâmica, a lei da conservação da energia, segundo a qual “A energia não pode ser criada ou destruída, apenas modificada em forma” e a lei de Hess, da soma constante de calor, que diz que o calor liberado por uma reação em cadeia é independente das vias químicas, e depende apenas dos produtos finais. Essas leis asseguram que o calor liberado no ciclo complexo de reações bioquímicas que ocorrem no corpo é exatamente o mesmo que é mensurado quando o alimento é convertido nos produtos finais pela combustão simples, em um calorímetro (Kleiber, 1972).

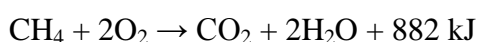
Na calorimetria direta, os calorímetros concebidos para medir a produção de calor de um animal se baseiam no mesmo princípio geral que a bomba calorimétrica, em que o calor libertado é utilizado para aumentar a temperatura de um meio circundante. O calorímetro de animais é uma câmara hermeticamente isolada, em que o oxigênio é fornecido por um fluxo de ar e a perda de calor a partir do animal pode ser medida diretamente. A calorimetria indireta é baseada na relação entre a quantidade de calor

produzido durante a oxidação de componentes alimentares ou corporais, em que a produção de calor é determinada pela quantidade de oxigênio consumida, dióxido de carbono e metano produzidos e nitrogênio excretado na urina. A equação geral, conforme Brouwer (1965) está descrita abaixo:

$$PC = 16,18 O_2 + 5,02 CO_2 - 2,17 CH_4 - 5,99 N$$

em que, PC é a produção de calor (MJ/dia), o O₂ é a taxa de consumo de oxigênio (L/dia), o CO₂ é a taxa de produção de dióxido de carbono (L/dia), CH₄ é a taxa de produção de gás metano (L/dia) e N é o nitrogênio excretado na urina (g/dia). A equação é baseada na combustão do carboidrato, proteína e gordura, tendo o dióxido de carbono, metano e ureia produzidos como produtos finais.

O gás metano produzido pela fermentação microbiana da matéria orgânica, principalmente no rúmen, e expelido através da boca em animais ruminantes, pode também ser determinado na calorimetria indireta. A combustão do metano pode ser representada como:



A energia dissipada na forma de calor é de 882/22,4 KJ/L, ou seja, 39,4 kJ/L de metano (McLean e Tobin, 1987).

Blaxter (1967) indicou que em trabalhos anteriores, Armsby (1917) relataram pouca diferença de precisão entre as duas técnicas, sendo que numerosos métodos de calorimetria direta e indireta têm sido utilizados para estudar os efeitos de variáveis dietéticas, ambientais e fisiológicas sobre o metabolismo da energia de muitas espécies animais. Estes dados foram utilizados para desenvolver padrões de alimentação para animais domésticos.

A calorimetria parte do princípio de que a produção de calor obtida durante o jejum é o total que o animal utiliza para manutenção (isto é, a EL_m). A produção de calor durante a alimentação restrita com a quantidade de energia nula para a produção (ER=0) é considerada como EM_m. Nas medições feitas em calorímetros (câmaras respirométricas), determina-se a EL_m como a soma da produção de calor em jejum e as perdas urinárias do animal em jejum.

As mensurações do metabolismo em jejum de bovinos foram utilizadas pelo ARC (1980) e AFRC (1993) para definir as exigências de energia para manutenção.

Os animais devem ser treinados e acostumados com o calorímetro, e mantidos em ambiente termoneutro. As medições são feitas geralmente durante o terceiro e quarto dia após a privação de alimentos, mas com o fornecimento de água. Quando da mensuração,

o quociente respiratório (QR) deverá estar reduzido para cerca de 0,70 e a produção de metano não deverá exceder o total de 2 l/dia. A alimentação dos animais durante as três semanas antes da medição foi padronizado para ser ao nível de manutenção, visto que a PC_j varia diretamente de acordo com o nível de alimentação do animal antes do jejum. Os valores de PC_j devem ser ajustados para as diferenças entre o PV_j do animal e seu PV quando está alimentado (CSIRO, 2007).

A EM_m é a soma dos gastos de energia, incluindo o metabolismo em jejum e custos de energia associados com ingestão, ruminação, digestão e absorção, como já discutido anteriormente, no entanto, não é prático se determinar a EM_m diretamente em calorímetros, porque é praticamente impossível oferecer uma dieta para animais a um nível de alimentação em que o balanço energético seja zero por um período de mais de três semanas antes e durante a avaliação da produção de calor no calorímetro. Deste modo, a EM_m geralmente é estimada a partir da produção de calor em jejum dividido pela eficiência de utilização da EM para manutenção (k_m) ou através da regressão do CEM em função da ER para determinado número de animais com diferentes ingestões de EM.

Aplicação do conceito de EL

Levando-se em consideração que o sistema ARC (1965, 1980) representa a base dos sistemas vigentes baseados em respirometria calorimétrica (CSIRO, 2007; AFRC,1993) e que o NRC fundamentado no “Sistema de Energia Líquida da Califórnia”, popularizado pelos estudos de abate comparativo de Lofgreen e Garret (1968) forma a base dos sistemas baseados em abate comparativo vigentes (NRC, 2000; CNCPS; BR-CORTE, 2010), torna-se necessário diferenciar como os conceitos de EL são aplicados nestes sistemas.

O ARC (1965, 1980) utiliza a EM como ponto de partida, mas ajusta os valores de EM para as diferentes qualidades da dieta, aplicando estimativas de eficiência de utilização da EM para diferentes funções fisiológicas (manutenção, crescimento, gestação, lactação, etc.), consistindo efetivamente em um sistema de EL. Os sistemas NRC para bovinos de corte (NRC, 1976, 1984, 1996, 2000) e bovinos de leite (NRC, 1989, 2001), são exemplos de sistemas que são baseados no conceito de EL e utilizam valores de EL para a manutenção, crescimento, gestação e lactação.

O sistema ARC (1965, 1980) é conceitualmente semelhante ao "Sistema de Energia Líquida da Califórnia" (CNES), mas diferiu em como esses conceitos foram aplicados a situações práticas e na metodologia utilizada para estimar ER. Atualmente, todos os

sistemas utilizam a EM como o ponto inicial para a estimativa do valor energético dos alimentos. Os sistemas baseados no CNES empregam valores de EL_m e energia líquida de ganho (EL_g) para cada alimento, sendo que alguns foram mensurados, mas a maioria foi calculada a partir da EM. Todos os sistemas possuem ajustes nos valores energéticos do alimento para o plano nutricional ou nível de alimentação. Os ajustes foram feitos por constantes ou equações em alguns sistemas, mas foram inerentes a outros. Por exemplo, o CNES determina a EL_g através da regressão da ER em função do CEM, com pelo menos dois níveis de ingestão. Deste modo, a correção para o nível de consumo fica embutido na estimativa da EL_g . O sistema do ARC, em contrapartida, emprega a utilização de uma equação para ajustar valores de EM para diversos níveis de ingestão. Ambos os sistemas utilizam a PC_j , mensurada ou estimada, como a base para calcular os requisitos de EL_m . Os requisitos de EM_m é definido como o CEM quando a $ER = 0$ ou a $PC = CEM$. A k_m é estimado pela relação PC_j/EM_m ou como o "slope" da regressão da ER em função CEM quando $ER \leq 0$. Todos os sistemas utilizam a ER como EL para uma função produtiva (produção de carne, leite).

Determinação da produção de calor, energia retida e exigências de manutenção

A estimativa das exigências para manutenção requer a mensuração da PC. Esta pode ser mensurada por métodos diretos como calorimetria direta ou indireta, ou por métodos indiretos que determinam a ER e estimam a PC pela relação EM - ER, como é feito nos estudos de abate comparativo ou de balanço de carbono e nitrogênio. A EM_m também pode ser estimada como o CEM necessário para manter a estase do peso corporal. Poucos estudos compararam as estimativas de exigências de energia para manutenção obtida pelas metodologias de respirometria calorimétrica e abate comparativo. Diferenças mínimas (<0,5%) foram observadas comparando as medições de calorimetria direta e indireta (Blaxter, 1989). A comparação da estimativa ER obtida através de estudos em calorimetria indireta ou de abates comparativo resultou em pequenas diferenças em monogástricos alimentados (Blaxter, 1989) ou em ruminantes alimentados (Steen et al., 1997). De forma geral, a ER é ligeiramente superestimada em estudos de respirometria calorimétrica e inversamente, a PC é subestimada na metodologia de abate comparativo.

As maiores diferenças, referente à exigência de manutenção, são observadas quando se compara as estimativas de exigência para manutenção obtidas através da determinação da PC_j aos valores obtidos por regressão em estudos de respirometria calorimétrica ou

quando comparados àqueles obtidos por metodologias indiretas (abates comparativo ou de balanço de carbono e nitrogênio) (Webster, 1978). Graham (1982) discutiu a variação nas exigências de manutenção e sugeriu que, devido às respostas em função das alterações na ingestão de alimentos serem bastante lentas, não há tempo suficiente para permitir sua completa expressão em estudos calorimétricos de curta duração, em que a quantidade de alimento fornecida aos animais muda a intervalos de aproximadamente três semanas. Consequentemente, quando os animais nestes estudos são alimentados em níveis de produção tenderão a utilizar uma pequena fração do consumo de EM para manutenção, e terá maior quantidade de EM disponível para a produção do que quando o mesmo nível de ingestão é mantido por períodos mais longos, como acontece com animais em estudos de abate comparativo. Isto ocorre provavelmente porque os animais em restrição alimentar (sempre não produtivos) diminuem a atividade de órgãos e vísceras e suas taxas metabólicas em comparação aos animais alimentados ao nível de produção (Webster, 1978).

Uma explicação plausível também pode ser relacionada à mudança de comportamento nos animais confinados nas câmaras respirométricas, uma vez que estes podem reduzir o consumo quando não estão familiarizados ao novo ambiente e a atividade devido à restrição do espaço.

Kiesling et al. (1973) fizeram uma comparação entre essas duas técnicas para estimar EL_g de dietas a base de sorgo grão moído ou reconstituído. Os valores de EL_g determinados por calorimetria respirométrica foram significativamente diferentes ($P < 0,001$) e maiores (aproximadamente 22%) do que os valores determinados pelo abate comparativo. Segundo esses autores, os valores mais elevados obtidos nas câmaras respirométricas pode em grande parte ser explicada pelo menor consumo de ração enquanto os animais permaneceram nas câmaras, o que corrobora com os trabalhos de Lofgreen et al. (1963) e Garrett et al. (1964). Os autores concluíram a partir da comparação das técnicas que a sensibilidade para medir a energia líquida das rações de alta energia em consumo máximo de alimentação é menor para calorimetria respirométrica devido à restrição no consumo provocada pelos animais que estão sendo contidos, os quais possuem pouca oportunidade para atividade. Este fato ocorre, principalmente quando os animais não estão adaptados aos procedimentos e às câmaras respirométricas, fato que ocasiona mudanças de comportamento quando estes animais são submetidos às avaliações respirométricas.

Segundo Thomson et al. (1979), a estimativa da EM_m obtida pelas duas diferentes técnicas são semelhantes, porque quando estimada pela metodologia de abate comparativo irá refletir o desempenho dos animais que são alimentados aproximadamente ao nível de manutenção em maior extensão do que o desempenho dos animais que estão alimentados *ad libitum*.

Steen et al. (1997), em estudo com ovinos, determinaram as exigências para manutenção (EM_m) por meio de regressão entre o CEM e ER, pelas técnicas de abates comparativos e calorimetria indireta e não observaram diferenças na EM_m obtida pelas respectivas técnicas (117 vs 112 Kcal/kg^{0,75}). Entretanto os valores encontrados foram 30% superiores àqueles preditos pelo ARC (1980) para os animais e dietas utilizados neste estudo. Segundo os autores, os elevados requisitos para manutenção obtidos, em comparação aos preditos pelo ARC (1980), se devem primeiramente ao fato dos animais utilizados no experimento terem se alimentado de silagem de gramíneas, havendo, deste modo, maior necessidade energética para manutenção quando comparado a outros tipos de dietas. Outra explicação sugerida pelos autores seria que os animais alimentados *ad libitum*, teriam maiores exigências energéticas quando comparados a animais em alimentação restrita quando mensurados a produção de calor em jejum, o qual é a base metodológica do ARC (1980).

Na tabela 1 são mostrados dados de compilações feitas por diferentes autores baseados em metodologias estatísticas (regressões) para estimarem as exigências de energia para manutenção em bovinos em diferentes fases produtivas utilizando estudos de calorimetria. Pode-se observar que os valores de EL_m variaram de um mínimo de 68 Kcal/PV^{0,75} para vacas secas a um valor máximo de 83 Kcal/PV^{0,75} para vacas em lactação. O valor médio obtido pelo conjunto das compilações resultou no valor médio de 76 Kcal/PV^{0,75}, sendo este inferior aos recomendações do AFRC (1993) e NRC (2001) para animais em crescimento. Entretanto os valores obtidos no estudo de Van ES e Niikamp (1967) são semelhantes aos recomendados pelo NRC (2001) para vacas em lactação. A EM_m apresentou um valor médio de 111 Kcal/PV^{0,75}.

Tabela 1. Exigências de energia para manutenção de bovinos obtidas por meio da metodologia de calorimetria respirométrica

| Fonte | Tipo animal | q | EM _m (Kcal/PV ^{0,75}) | EL _m (Kcal/PV ^{0,75}) |
|-------------------------|---------------------------|------|---|---|
| Breirem (1953) | Machos castrados e fêmeas | 0,50 | 111 | 75 |
| Van Es (1961) | Machos castrados e fêmeas | 0,50 | 112 | 76 |
| Van Es e Niikamp (1967) | Vacas secas | 0,54 | 106 | 73 |
| Van Es (1970) | Vacas em lactação | 0,59 | 117 | 83 |
| Moe et al (1970) | Vacas em lactação | 0,50 | 122 | 83 |
| | Vacas secas | 0,50 | 100 | 68 |
| Média | - | 0,52 | 111 | 76 |
| NRC (2001) | Animais em crescimento | - | - | 86 |
| AFRC (1993) | Machos castrados e fêmeas | - | - | 83,5 |

q = metabolizabilidade da dieta; EM_m = energia metabolizável para manutenção; EL_m = energia líquida para manutenção; PV = peso vivo (kg). Fonte: Adaptado do ARC (1980).

Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos por diferentes autores das exigências de energia para manutenção de bovinos, utilizando a metodologia de abate comparativo. Nota-se que os valores de EL_m variaram de 69,3 a 82,8 Kcal/PCV^{0,75}, com um valor médio de 76 Kcal/PCV^{0,75}, valor semelhante aos reportados pelo NRC (2000) e BR-CORTE (2010). Já a EM_m apresentou valor médio de 117 Kcal/PCVZ^{0,75}.

Tabela 2. Exigências de energia para bovinos obtidos em estudos de abate comparativo

| Autor | Tipo animal | EM _m (Kcal/PCVZ ^{0,75}) | EL _m (Kcal/PCVZ ^{0,75}) |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|
| Veras et al. (2001) | Machos inteiros | 147,8 | 82,8 |
| Tedeschi et al. (2002) | Machos castrados | 113,0 | 78,2 |
| Veloso et al. (2002) | Machos inteiros | 112,3 | 76,4 |
| Paulino et al. (2002) | Machos inteiros | 113,0 | 74,5 |
| Chizzotti et al. (2008) | Fêmeas | 108,0 | 75,4 |
| Chizzotti et al. (2008) | Machos inteiros e castrados | 116,0 | 76,3 |
| Moraes et al. (2009) | Machos inteiros | 108,8 | 69,3 |
| Média | - | 117,0 | 76,1 |
| NRC (2000) | Machos castrados e fêmeas | - | 77 |
| BR-CORTE (2010) | Machos* e fêmeas | - | 74 |

*Machos inteiros e castrados; EM_m = energia metabolizável para manutenção; EL_m = energia líquida para manutenção; PCVZ = peso de corpo vazio (kg)

Comparando os dados das tabelas 1 e 2, pode-se observar que os valores médios de EM_m referentes as duas metodologias, calorimetria e abate comparativo, apresentam valores próximos ($111 \text{ Kcal/PV}^{0,75}$ vs $117 \text{ Kcal/PCVZ}^{0,75}$) apesar das diferentes unidades utilizadas para expressar o peso dos animais (PV vs PCVZ), o que corrobora com o relato de Thomson et al. (1979), em que a estimativa da EM_m obtida pelas duas técnicas são semelhantes. Coincidentemente, os valores médios de EL_m obtidos pelas duas técnicas também foram semelhantes, uma vez que os dados de estudos respirométricos foram obtidos de forma semelhante ao abate comparativo, através da regressões em diferentes níveis de ingestão de energia.

Eficiência de utilização da energia metabolizável

Como foi mencionado anteriormente os sistemas diferem, principalmente, na forma como os conceitos básicos de EL foram aplicados e na metodologia utilizada para estimar a PC ou a ER. O sistema de abate comparativo foi baseado exclusivamente em estudos de longa duração e geralmente as estimativas de eficiência de utilização da EM resultam em valores mais baixos em comparação com os estudos de calorimetria.

Segundo Garrett e Jhonson (1983) os valores de eficiência de utilização da EM obtidos pela técnica de abate comparativo em bovinos, geralmente são menores do que os obtidos em mensurações de balanço energético em estudos de calorimetria para alimentos semelhantes. Consequentemente, o ganho energético dos animais obtidos pela técnica de abate para uma determinada ingestão de alimento é geralmente menor e as derivadas estimativas de exigências de EM para um determinado ganho de peso tendem a serem maiores que o ganho determinado em estudos de calorimetria. Na tabela 3 estão apresentados os valores obtidos de eficiência para manutenção e ganho (k_m e k_g) obtidos para uma mesma concentração de EM da dieta. Observa-se que os valores de k_m variaram de 0,66 a 0,74 quando obtidos por calorimetria e de 0,58 a 0,68 quando obtidos por abate comparativo. Já os valores de k_g variaram de 0,36 a 0,54 e de 0,30 a 0,46, para as técnicas de calorimetria e abate comparativo, respectivamente. Para um mesmo nível de ingestão os valores de k_m e de k_g obtidos por calorimetria foram superiores aqueles obtidos pelo abate comparativo.

Tabela 3. Eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para manutenção e ganho pela técnica de abate comparativo e calorimetria indireta

| Nível de alimentação | Técnica | Concentração de EM da dieta (Kcal/g) | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 3,0 |
| Manutenção | Calorimetria | 0,66 | 0,68 | 0,70 | 0,72 | 0,74 |
| | Abate Comparativo | 0,58 | 0,62 | 0,64 | 0,66 | 0,68 |
| Ganho | Calorimetria | 0,36 | 0,40 | 0,45 | 0,49 | 0,54 |
| | Abate Comparativo | 0,30 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,46 |

Fonte: Garrett e Jhonson (1983)

Corbertt e Ball (2002) fizeram uma simulação para os valores de eficiência estimados por calorimetria e abate comparativo, e observaram valores de k_g de 0,43 e 0,38 para as respectivas técnicas (Figura 3a). Segundo os autores o fato do desempenho dos animais, em estudos de abate comparativo, em um nível superior de alimentação implicar em um menor valor de k_g , não significa que os processos metabólicos em seus tecidos sejam menos eficientes. Ao contrário, isso implica que a proporção do CEM utilizados por esses animais para satisfazer os custos energéticos é maior do que o requisito de manutenção obtido quando a ER é aproximadamente zero, demonstrando que existe efeito do nível de alimentação sobre os requisitos de manutenção. Este fato pode ser visualizado na Figura 3b, em que os valores de k_g para calorimetria e abate comparativo apresentam-se paralelos indicando que as eficiências de utilização da EM são semelhantes entre as duas técnicas. Isto implica também que, se a PC_j dos animais alimentados for determinada sem um período intermediário de alimentação ao nível de manutenção, então este valor seria substancialmente maior do que quando obtido nas condições padrão de mensuração da PC_j (Figura 3b).

Existe vasta evidência de que a EM_m e a PC_j aumentam com a ingestão, e do contrário, de que ambas são reduzidas por subnutrição (CSIRO, 1990; Graham e Searle, 1979).

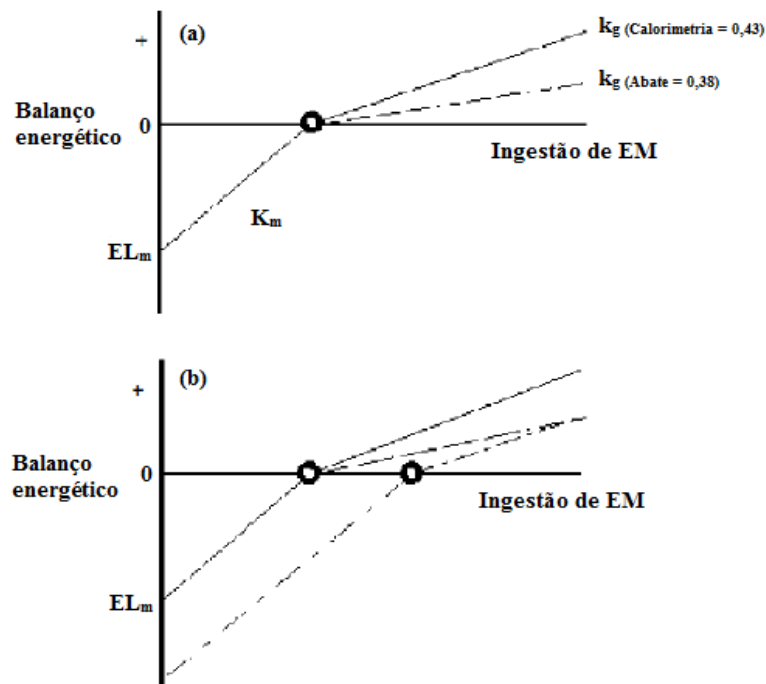


Figura 3. Efeito do método (abate comparativo vs calorimetria) na estimativa da eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) para ganho (k_g). EL_m = energia líquida de manutenção; k_m = eficiência da utilização da energia metabolizável para manutenção. Fonte: Adaptado de Corbertt e Ball (2002).

Diferenças entre os principais sistemas de alimentação baseados em respirometria calorimétrica ou abate comparativo na determinação das exigências para manutenção

A maneira pela qual os requisitos de energia para manutenção são descritos e contabilizados apresentam variações entre os sistemas de alimentação. Os principais ajustes recomendados para calcular as necessidades de energia para manutenção podem ser visualizados na Tabela 4.

O NRC (2001) utiliza uma única unidade de EL para todas as funções (manutenção, produção de leite, gestação, etc.), denominada de energia líquida de lactação (EL_l). Em contrapartida, o CNCPS e o NRC (2000) calcula os requisitos de EL para cada função. Estes requisitos são convertidos em EM utilizando a eficiência de conversão de EL para EM específicos para cada função. Por esta razão, os sistemas podem ser comparados utilizando-se apenas uma unidade comum, a EM. O sistema AFRC exige o cálculo da proporção de EM /EB, denominado de metabolizabilidade da dieta (q) e o

sistema CSIRO requer a concentração de EM da dieta, ambos calculados ao nível de alimentação em manutenção.

As necessidades energéticas para manutenção nos sistemas considerados são calculadas utilizando um requisito básico, que é então ajustado por vários fatores (Tabela 4). Exceto para o AFRC, todos os sistemas calculam as exigências para manutenção em função do $PV^{0,75}$ ou $PCVZ^{0,75}$. O AFRC utiliza $(PV/1,08)^{0,67}$ como base, onde 1,08 converte peso vivo (PV) para peso vivo em jejum (PV_j). Curiosamente, este sistema utiliza o fator de escala $PV^{0,75}$ para ovinos. Os dados dos sistemas AFRC e CSIRO foram originados de estudos de metabolismo em jejum realizados com vacas secas em vários laboratórios (ARC, 1980; CSIRO, 2007). Já os utilizados nos sistemas CNCPS e NRC (2000) são originários dos ensaios de abate comparativo de bovinos de corte obtidos por Lofgreen e Garrett (1968), enquanto que no NRC (2001) os dados provêm de estudos de balanço energético realizado em câmaras respirométricas em bovinos leiteiros, e foram realizados por Moe *et al.* (1972) e van Es (1978). Já o sistema BR-CORTE tem seu banco de dados baseado em quase sua totalidade, por estudos com animais zebuínos (principalmente animais da raça Nelore) e cruzados criados em condições tropicais, utilizando a metodologia de abate comparativo.

Os ajustes utilizados para estimar a EL_m e a EM_m variam entre os sistemas de alimentação (Tabela 4). O sistema CNCPS altera a concentração de EM dependendo da raça, obtendo valores específicos para 34 diferentes raças (Fox *et al.*, 2004). O CSIRO distingue apenas entre *Bos taurus indicus* e *Bos taurus taurus*, utilizando valores intermediários para o cruzamento entre estes dois tipos. O NRC (2000) faz correções em relação ao tipo racial, apenas adotando um valor 10% inferior para animais *Bos taurus indicus*, enquanto os outros sistemas não fazem correções para tipo racial.

As diferenciações com base no sexo estão incluídas nos sistemas de alimentação AFRC (1993) e CSIRO (2007), que sugerem aumentos nas exigências de manutenção de 15% para machos inteiros, como também é feito pelo NRC (2000).

O efeito da idade cronológica na exigência de manutenção é levado em consideração apenas pelo CSIRO, o que diminui os requisitos por kg de $PV^{0,75}$, quando os animais avançam a idade de 2 a 6 anos, baseado no fato de que a taxa metabólica diminui à medida que os animais aumentam a idade (CSIRO, 2007).

A maioria dos sistemas baseiam os custos de atividade sobre os requisitos inicialmente propostos pelo ARC (1980). O AFRC, CNCPS e CSIRO estimam o custo da atividade física como uma função das horas passadas em pé, número de mudanças de posição, e

dos componentes horizontal e vertical da distância percorrida pelos animais. O CSIRO acrescenta também os custos de alimentação e ruminação. O NRC (2000) inclui um custo fixo proporcional ao PV e ao custo de andar em áreas planas ou inclinadas.

O estresse pelo frio, geralmente, resulta em aumento nos requisitos de manutenção e no consumo de alimento. Nenhum ajuste para estresse pelo frio é considerado pelo AFRC. O sistema NRC (2001) adota um modelo de estresse pelo frio para novilhas, mas não para as vacas. O CSIRO e CNCPS adotam complexos modelos de estresse por frio (Tabela 4), os quais são responsáveis por fatores ambientais (temperatura, vento, chuva ou lama, noites frias e céu claro e perdas de calor por radiação), ingestão de energia, fatores do animal (PV, pelo, profundidade da pelagem, aclimação, etc). Apenas o modelo CNCPS faz ajustes para estresse pelo calor, com base no índice mensal atual de temperatura efetiva, que computa temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e horas de luz solar. O CNCPS também inclui o custo de produção de ureia a partir da amônia.

O sistema CSIRO para o efeito de produção, faz a correção através de um fator proporcional ao CEM (0,09CEM). Assim, com o aumento do nível de produção, com concomitante aumento no CEM, os requisitos para manutenção também aumentam. A razão é que um aumento no consumo de alimento associado com a produção de leite muda tanto pelo tamanho quanto pela taxa de metabolismo de órgãos e tecidos viscerais (CSIRO, 2007). Os CNCPS atual não aplica qualquer tipo de correção para produção em vacas leiteiras, seca ou lactantes (Fox et al., 2004). O AFRC aumenta as exigências de animais lactantes para explicar a redução na digestibilidade, que ocorre em níveis elevados de alimentação.

O efeito da produção na exigência de manutenção ainda é debatido. Vários estudos mostraram que com o aumento do nível de produção, isto é, do consumo de energia, o peso e a atividade dos órgãos viscerais aumentam dramaticamente (Ferrell et. al, 1986; Ortigues e Doreau, 1995). Por esta razão, a abordagem do CSIRO, com base num aumento contínuo nas exigências de manutenção com o aumento do CEM, parece ser apropriado.

O CNCPS faz uma correção para animais em crescimento, proporcionalmente à sua condição de escore corporal (CEC) (5% de aumento ou redução para cada aumento de CEC, na escala de 1 a 9, acima ou abaixo da CEC 5), para explicar seu plano anterior de nutrição.

Tabela 4. Exigências de energia metabolizável e líquida para manutenção e correções aplicadas para estimá-las em diferentes sistemas de alimentação utilizados para bovinos

| Metodologia | Respirometria Calorimétrica | | | Abates Comparativos | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| | AFRC (1993) | CSIRO (2007) | NRC (2001) | NRC (2000) | CNCPS | BR-Corte (2010) |
| Sistemas | AFRC (1993) | CSIRO (2007) | NRC (2001) | NRC (2000) | CNCPS | BR-Corte (2010) |
| Exigência de manutenção | 126,6 x (PV/1,08) ^{0,67} | PV ^{0,75 (1)} | 80 - 86 x PV ^{0,75} | 77,0 x PCVZ ^{0,75} | 77,0 x PCVZ ^{0,75} | 71,7 - 74,2 x PCVZ ^{0,75} |
| Unidade referência (kcal / dia) | EM | EM | EL ₁ | EL | EL | EL |
| Eficiência (EL/EM) | $k_m = 0,35q + 0,503$ | $k_m = 0,02 M/D + 0,5$ | $k_m = k_l = 0,64$ | $k_m = EL_m/EM_m$ | $k_m = EL_m/EM_m$ | $k_m = EL_m/EM_m$ |
| Correções recomendadas | | | | | | |
| Raça | Não | <i>B. taurus indicus</i> : 0,86 | Não | <i>B. taurus indicus</i> : 0,90 | Sim | Não |
| Gênero | Sim | Sim | Não | Não | Não | Sim |
| Idade | Não | 1,0 - 0,84 (0 - 6 Anos) | Não | Não | Não | Não |
| Atividade | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Não |
| Nutrição Prévia | Não ⁵ | Não | Não | Sim | Não | Não |
| Estresse pelo frio | Não | Sim | Não | Sim | Sim | Não |
| Temperatura | Não | Sim | Não | Sim | Sim | Não |
| Umidade | Não | Sim | Não | Não | Sim | Não |
| Vento | Não | Não | Não | Sim | Não | Não |
| Chuva | Não | Sim | Não | Não | Não | Não |
| Lama | Não | Não | Não | Sim | Sim | Não |
| Aclimação | Não | Sim | Não | Sim | Sim | Não |
| Espessura da pelagem | Não | Não | Não | Sim | Sim | Não |
| ECC | Não | Não | Não | Sim | Sim | Não |
| Idade | Não | Não | Não | Sim | Sim | Não |
| Estresse por calor | Não | Não | Não | Não | Sim | Não |
| Custo excreção ureia | Não | Não | Não | Não | Sim | Não |
| Produção | Não | Sim | Não | Sim | Não | Não |

Fonte: adaptado de Cannas et al. (2010). PV = peso vivo (kg); PCVZ = peso de corpo vazio (kg); EM = energia metabolizável; EL = energia líquida; EM_m = energia metabolizável para manutenção; EL_m = energia líquida para manutenção; k_m = eficiência da utilização da energia metabolizável para manutenção; ECC = escore da condição corporal.

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.

ARMSBY, H. P. *The Nutrition of Farm Animals*. 1. ed. New York: Macmillan, 1917. 743p.

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.

BLAXTER, K. *Energy Metabolism in Animals and Man*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 336p.

BLAXTER, K. *The energy metabolism of ruminants*. 2.ed. London: Hutchinson, 1967. 250p.

BRODY, S. *Bioenergetics and Growth*. Rheinhold: New York, 1945.

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.

C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Feeding standards for Australian livestock. Ruminants*. Australia: CSIRO Publications, 1996. 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. Italia: 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 Nellore cattle. *Animal Science*, v. 86, n. 7, p. 1588 – 1597, 2008.

- CORBETT, J.L.; BALL, A.J. (2002). *Nutrition for maintenance*. In: Sheep Nutrition. Ed: FREER, M.; DOVE, H. CAB International: Wallingford, 2002. 385p.
- 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.; KOONG, L. J.; NIENABER, L. A. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *Br. J. Nutr.*, v.56, p. 595 – 605, 1986.
- FOX, D. G.; SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; RUSSEL J. B.; VAN SOEST, P. J. 1992. A net carbohydrate system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Animal Science*, v. 70, p. 3578 – 3596, 1992.
- 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.
- GARRETT, W. N., LOFGREEN, G. P.; MEYER, J. H. A net energy comparison of barley and milo for fattening cattle. *J. Anim. Sci.*, v.23, p.470, 1964.
- GARRETT, W.N.; JOHNSON, D.E. Nutritional energetics of ruminants. *J. Animal Science*, v. 57, p. 478 - 497, 1983. (Supl. 2).
- GRAHAM, J. F. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, v.14, p.309–312, 1982.
- GRAHAM, N.; SEARLE, T. W. *Aust. J. Agric. Res.*, v.30, p.513–523, 1979.
- KIESLING, H. E.; MCCROSKEY, J. E.; WAGNER, D. G. A comparison of energetic efficiency of dry rolled and reconstituted rolled sorghum grain by steers using indirect calorimetry and the comparative slaughter technique. *J. Anim. Sci.*, v.37, p.790-795, 1973.
- KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428p.
- LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. *Growth of farm animals*. CAB International 1997, 321p.
- LOFGREEN, G. P.; BATH, D.L.; STRONG, H.T. Net energy of successive increments of feed above maintenance for beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.22, p.598, 1963.
- 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.
- 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.

MOE, P.W., FLATT, W.P; TYRREL, H.F. 1972. The net energy value of feeds for lactation. *J. Dairy Sci.*, v.55, 945-958.

MORAES, E.H.B.K.; PAULINO, M.F.; MORAES, K.A.K. Exigências de energia de bovinos de corte em pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n.5, p. 933 - 940, 2009.

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*. 5 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 1976.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 1989.

N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 1996. 242.

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, 1981.

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

ORTIGUES. I.; DOREAU, M. Responses of the splanchnic tissues of ruminants to changes in intake: absorption of digestion end products, tissue mass, metabolic activity and implications to whole animal energy metabolism. *Ann. Zootech.*, v. 44, p.321-346, 1995.

PAULINO, P.V.R.; COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C. Exigências nutricionais de zebuínos. I. Energia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 33, n.3, p. 781 - 791, 2002.

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, 1992.

STEEN, R.W.J.; DAWSON, L.E.R.; KIRKPATRICK, D.E.; JOHNSTON, S.D. Estimation of maintenance energy requirements and efficiency of utilization of metabolizable energy for growth in lambs by indirect calorimetry and comparative slaughter. In: McCracken, K., Unsworth, E.F.; A.R.G. Wylie (eds.), *Energy metabolism of farm animals*. Wallingford: CAB International, p.351-354. 1997.

- SUNDSTOL, F. Energy systems for ruminants. *Icel. Agr. Sci.*, v. 7, p. 11–19, 1993.
- TEDESCHI, L.O., BOIN, C.D., FOX, D.G. et al. Energy requirements for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal Animal Science*, v. 80, p. 1671 – 1682, 2002.
- THOMSON, D. J.; FENTON, J. S.; CAMMELL, S. B. *Br. J. Nutr.*, v.41, p. 223–229, 1979.
- 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.
- VAN ES, A.J.H. Feed evaluation for ruminants. I. The system in use from May 1977 onwards in the Netherlands. *Livestock Production Science*, v.5, p. 331 - 346, 1978.
- VELOSO, C.M.; VALADARES FILHO, S.C.; GESUALDI JUNIOR, A. Composição corporal e exigências energéticas e proteicas de bovinos F1 Limousin x Nelore, não castrados, alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n.3, p. 1273 - 1285, 2002.
- VÉRAS, A.S.C.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C. 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.
- WEBSTER, A.J.F. Energy metabolism and requirements. Digestive physiology and nutrition of ruminants. 2 ed. Corvallis: O&B Books, 1978. 229p.

CAPÍTULO II

Consumo, digestibilidade, desempenho e balanço de nitrogênio em bovinos F1 Holandês x Gir em diferentes planos de alimentação

RESUMO

Utilizaram-se 15 bovinos F1 Holandês x Gir, machos, não castrados, com peso vivo inicial médio de 302 kg. Os animais foram mantidos em galpão de confinamento tipo “tie stall”, e foram alimentados individualmente com dietas à base de silagem de milho e concentrado, na proporção volumoso:concentrado de 58:42, com base na matéria seca (MS). As dietas foram inicialmente formuladas para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto ganhos de peso, respectivamente. Foi realizado o controle do alimento fornecido para os tratamentos baixo e médio ganho. Para o tratamento alto ganho foi permitido 10 a 15% de sobras. Os animais foram pesados quinzenalmente para determinação do ganho de peso diário e da conversão alimentar. Simultaneamente, foram realizados ensaios de digestibilidade e metabolismo para determinação da digestibilidade dos nutrientes e do balanço de nitrogênio das dietas experimentais. Os tratamentos baixo e médio ganhos consumiram menores ($P<0,001$) quantidades de MS, nutrientes e energia. A digestibilidade aparente da MS, MO, EB, PB e CNF diferiu ($P<0,05$) em função do plano nutricional. O ganho médio diário (GMD) aumentou ($P<0,001$) em função dos níveis de alimentação. A eficiência alimentar (EA) foi semelhante entre os tratamentos médio e alto ganhos. O grupo alto ganho apresentou maior RCQ em relação ao grupo baixo ganho. A ingestão de N aumentou ($P<0,001$) com a ingestão de MS e levou a maiores ($P<0,001$) perdas de N nas fezes. A excreção urinária de N não diferiu ($P>0,05$) entre os tratamentos. A retenção de N aumentou ($P<0,001$) do tratamento baixo para o alto ganho.

Palavras-chave: rendimento carcaça, restrição alimentar, eficiência alimentar

Intake, digestibility, performance and nitrogen balance in Holstein x Gir crossbreed bulls on different planes of nutrition

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the intake, digestibility and nitrogen utilization. An experiment was carried out with fifteen Holstein x Gir crossbreed bulls, non-castrated, averaging 302 kg body weight. The animals were kept under Tie Stall system with drinker and fed individually twice a day. The diet was composed of corn silage and concentrate, at a 58:42 ratio. The diets in this study were formulated to make possible gains of 100, 500 and 900 g/day, corresponding to low, medium and high weight gains treatments, respectively. Feed intake control was provided for the low and medium gain treatment and to high level treatment was adjusted daily so that leftovers were kept around 10 to 15% of the total supplied. The animals were weighed every two weeks to determine average daily gain and feed efficiency. Simultaneously, digestibility and metabolism assays for determination of nutrient digestibility and nitrogen balance of diets were performed. Dry matter (DM), nutrients and energy intake were lower ($P < 0.001$) to low and medium treatments ($P < 0.001$). DM, organic matter (OM), gross energy (GE), crude protein (CP) and non-fibrous carbohydrates (NFC) digestibility differ ($P < 0.05$) according to the nutritional plan. The average daily gain (ADG) increased ($P < 0.001$) with feed levels. Feed efficiency (FE) was similar among medium and high gains treatments. The high gain group showed higher carcass yield compared to low growth group. The N intake increased ($P < 0.001$) with DM intake and had higher ($P < 0.001$) and resulted increase of N loss in feces. Urinary N excretion did not differ ($P > 0.05$) between treatments. The N retention increased ($P < 0.001$) below treatment for high gain.

Keywords: carcass yield, feed restriction, feed efficiency

Consumo, digestibilidade, desempenho e balanço de nitrogênio em bovinos F1 Holandês x Gir em diferentes planos de alimentação

INTRODUÇÃO

A bovinocultura nacional consiste principalmente na criação de animais a pasto, e para que estes animais possam desempenhar suas funções básicas e produtivas necessitam consumir quantidades suficientes de nutrientes. Segundo Detmann et al. (2001), a baixa produção dos bovinos nos trópicos se deve, principalmente, ao consumo deficiente de matéria seca digestível.

O consumo de alimentos é o principal processo relacionado com a produção animal e, associado à digestibilidade da dieta, determina a quantidade de nutrientes que pode ser utilizada para suprir diariamente as necessidades dos animais (NRC, 1984).

A ingestão de energia pode ser considerada o mais importante fator que afeta a taxa de crescimento em animais de corte. Alguns sistemas de alimentação, como o ARC (1980), preconizam que há um incremento na eficiência alimentar com o aumento da ingestão de alimento até o consumo *ad libitum*. Resultados contrastantes têm sido observados em experimentos em que a eficiência de ganho foi maximizada quando os animais foram alimentados em ingestões entre 70 e 90% do consumo *ad libitum* e foi reduzida em altos níveis de ingestão (Geay et al., 1976; Andersen e Ingvarsten, 1984; Moore et al., 1991). Efeitos da ingestão sobre a digestibilidade da MS e nutrientes da dieta foram reportados em diversos estudos envolvendo restrição alimentar (Doreau e Diawara, 2003; Long et al. 2004; Nkrumah et al. 2006; Clark et al. 2007), enquanto sua influência sobre o balanço de nitrogênio também foi relatada (Volden, 1999; Long et al., 2004).

Deste modo, realizou-se um experimento com o intuito de se determinar o efeito de diferentes planos de alimentação sobre o consumo e as digestibilidades da MS, nutrientes e energia da dieta, bem como avaliar o desempenho, rendimento de carcaça e balanço de nitrogênio em bovinos machos inteiros F1 Holandês x Gir em confinamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Local

O experimento foi realizado na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, entre fevereiro e junho de 2012. A cidade de Belo Horizonte está situada a 900 m acima do nível do mar, possui uma temperatura média de 23°C, variando entre 9 e 35°C, umidade relativa do ar de 65% e precipitação média anual de 1600 mm, com maior concentração de chuvas no período entre outubro e março. O clima é classificado como tropical de altitude (Cwa) conforme a classificação de Köppen descrita por Inzunza (2005).

Animais e instalações

Utilizaram-se 15 bovinos F1 Holandês x Gir, machos, não castrados, com peso vivo inicial médio de 302 ± 17 kg. Os animais foram mantidos em galpão de confinamento tipo “tie stall” com piso de concreto, o qual dispunha de tapetes de borracha de 1,0 m² (1,0 x 1,0 m) de área e perfurados com crivos de 1,0 cm de diâmetro. Cada animal dispunha de uma área livre de 3 m² (2,5 x 1,2 m), provida de cochos e bebedouros individuais. Todos os animais foram utilizados em experimento anterior e passaram por processo de doma racional, sendo, portanto, já acostumados ao manejo diário durante o experimento. Antes do início do experimento os animais foram vacinados e vermifugados (Levamisol + Ivermectina), tratados com ectoparasiticida (Fipronil) e receberam vitaminas A, D e E por via subcutânea.

Dietas e manejo alimentar

As dietas foram compostas de silagem de milho e concentrado à base de milho, farelo de soja, núcleo mineral, óxido de magnésio, flor de enxofre, calcário e ureia, fornecido na proporção volumoso:concentrado de 58:42, com base na matéria seca (MS). A composição química média das dietas experimentais encontra-se na Tabela 1. As dietas foram inicialmente formuladas de acordo com o NRC (2000) para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto (consumo *ad libitum*) ganho de peso, respectivamente. Para os tratamentos baixo e médio ganhos de peso a dieta utilizada foi a mesma, diferindo apenas na quantidade fornecida aos animais. As dietas foram fornecidas aos animais individualmente duas vezes ao dia em

quantidades iguais às 08:00 e 17:00 horas e os animais possuíam livre acesso à água durante todo o período experimental.

Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais

| Item | Tratamento | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho |
| Ingrediente | | g/kg | |
| Silagem de milho | 580,1 | 580,1 | 580,1 |
| Fubá de milho | 247,2 | 247,2 | 285,3 |
| Farelo de soja | 130,5 | 130,5 | 115,3 |
| Núcleo mineral ¹ | 28,7 | 28,7 | 12,6 |
| Ureia | 3,8 | 3,8 | 2,9 |
| Óxido de magnésio | 6,3 | 6,3 | 0,6 |
| Flor de enxofre | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| Calcário | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | | Composição | |
| | | g/kg | |
| MS | 507,9 | 507,9 | 506,2 |
| PB | 147,0 | 147,0 | 139,7 |
| EE | 24,9 | 24,9 | 24,0 |
| FDN | 367,5 | 367,5 | 370,8 |
| FDA | 192,3 | 192,3 | 192,4 |
| CNF | 390,7 | 390,7 | 414,2 |
| Hcel | 175,9 | 175,9 | 179,2 |
| PIDN | 19,1 | 19,1 | 18,5 |
| PIDA | 3,2 | 3,2 | 3,1 |
| | | Mcal/kg MS | |
| EB | 4,18 | 4,18 | 4,29 |
| EM ² | 2,72 | 2,56 | 2,53 |

¹Composição: Ca: 207 g/kg; P: 90 g/kg; Na: 50 g/kg; Mg: 18 g/kg; Co: 100 mg/kg; Cu: 750 mg/kg; Mn: 1200 mg/kg; Se: 30 mg/kg; Zn: 3000 mg/kg e I: 100 mg/kg.

²Determinada em ensaio de metabolismo.

Os animais do grupo alto ganho de peso receberam alimentação à vontade, permitindo sobras de 10 a 15%, enquanto os animais dos grupos baixo e médio ganhos receberam alimentação restrita em função do peso vivo (% PV) de acordo com os ganhos formulados e geralmente consumiam todo o alimento em um período de 20 a 40 minutos após o trato. Os animais passaram por um período de adaptação antes do início

do estudo, com duração de 65 dias, durante o qual foi permitido o consumo *ad libitum* de uma mesma dieta, com proporções volumoso:concentrado semelhantes à dieta experimental.

Determinação do consumo

As rações fornecidas e as sobras foram pesadas diariamente, sendo retiradas amostras de 300 a 400 g, as quais foram embaladas em sacos plásticos de 3 mm de espessura e congeladas em freezer à temperatura de -15°C, para posteriormente serem analisadas. O período de determinação do consumo correspondeu ao período experimental, que foi de 132 dias, não contabilizando o período de 65 dias adaptação.

Desempenho animal

Foi realizada a pesagem dos animais após jejum prévio de alimentos sólidos de 16 horas, para determinação do peso vivo médio (PV) inicial e final. As pesagens intermediárias foram feitas a cada 15 dias, para monitoramento e ajuste da quantidade fornecida aos animais em restrição (% PV), sendo realizadas às 07:00h, antes do arraçoamento da manhã. O ganho médio diário (GMD) foi determinado pela diferença do PV final e inicial dividido pelo número de dias do experimento. A eficiência alimentar foi calculada pela razão kg ganho de PV/kg MS consumida.

Ensaio de digestibilidade e balanço de nitrogênio

Durante o experimento foi realizado ensaio de digestibilidade para determinação da digestibilidade dos nutrientes e concentração de energia metabolizável (EM) da dieta (Mcal/kg MS). A EM das dietas foi determinada subtraindo-se as perdas energéticas das fezes, urina e metano da energia bruta (EB) consumida. A produção de metano foi determinada por calorimetria indireta em um período de 24 horas de mensuração, conforme Rodriguez et al. (2007).

O ensaio de digestibilidade consistiu de 10 dias de duração, sendo 5 dias de adaptação ao manejo experimental e 5 dias de coleta total de fezes. Amostras de alimentos oferecidos, sobras e fezes foram coletadas diariamente e congeladas a -15°C para posteriores análises. Durante o ensaio coletaram-se amostras tipo *spot* de urina, as quais foram obtidas 4 horas após a alimentação, durante micção espontânea. Uma alíquota de

60 mL de urina foi coletada para determinação das concentrações de creatinina, nitrogênio (N) urinário e EB.

O volume urinário foi estimado multiplicando-se o PV pela excreção diária de creatinina (mg/kg PV) e dividindo-se o produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina. Para obtenção da excreção diária de creatinina por kg de PV, adotou-se a média de 28,72 mg/kg PV, obtida por Rennó (2008) para os bovinos F1 Holandês x Gir.

Processamento das amostras e análises laboratoriais

As amostras de alimentos oferecidos, sobras e fezes foram descongeladas a temperatura ambiente e submetidas à pré-secagem a 55°C por 72 horas. Posteriormente foram moídas em moinho estacionário tipo Thomas-Willey, dotados de peneira com crivos de 5 mm, para confecção das amostras compostas. O período experimental foi dividido em 6 subperíodos, compostos de 22 dias cada, para os quais foram feitas as amostras compostas de alimentos oferecidos e sobras (por animal). As amostras de fezes formaram uma amostra composta por animal. Cada amostra composta foi novamente moída em moinho estacionário dotado de peneira com crivos de 1 mm, sendo armazenadas em frascos herméticos de polietileno para posteriores análises.

Determinou-se MS em estufa a 105°C (AOAC, 1980), matéria orgânica (MO) (AOAC, 1980), proteína bruta (PB) pelo método de combustão de Dumas em aparelho LECO FP - 428, energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial conforme Van Soest et al. (1991), em aparelho ANKOM²²⁰ com adição de 500 µL/g MS da enzima Termamyl 2X na determinação da FDN. A proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e detergente ácido (PIDA) foram obtidas pela multiplicação dos valores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e detergente ácido (NIDA) por 6,25. Os valores de hemiceluloses (Hcel) foram obtidos pela diferença entre os teores de FDN e FDA. Os carboidratos não fibrosos (CNF) foram calculados conforme a equação: $100 - [(\%PB - \%PB \text{ da ureia} + \% \text{ de ureia}) + \%FDN + \%EE + \% \text{ cinzas}]$ (Hall, 2000). Os nutrientes digestíveis totais foram (NDT) foram determinados pela relação: $1 \text{ kg NDT} = 4,409 \text{ Mcal de ED}$, em que ED representa a energia digestível. As amostras de urina foram analisadas para determinação dos valores de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (AOAC, 1995) e

EB, como descrito acima. As concentrações de creatinina para determinação do volume urinário foram determinadas em Laboratório especializado terceirizado utilizando-se *kits* comerciais (Labtest).

Procedimento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, constituindo 3 tratamentos (baixo, médio e alto ganhos de peso) e 5 repetições, com cada animal representando uma parcela experimental, conforme o modelo estatístico: $Y_{ij} = M + T_i + e_{ij}$, em que: M = média geral; T_i = efeito dos tratamentos e e_{ij} = erro aleatório associado às observações.

Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o programa SAS (versão 9.1.3), admitindo-se 5,0% como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Quando verificada diferença estatística entre os tratamentos foi utilizado o teste Tukey para comparações das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As dietas formuladas apresentaram composições químicas semelhantes quanto aos teores de MS, EE, FDN, FDA, Hcel, PIDN, PIDA e EB. Os teores de PB foram 5,2% maiores (147,0 vs 139,7 g/kg) e os valores de CNF foram 5,6% menores (390,7 vs 414,2 g/kg), para as dietas baixo e médio ganhos de peso, quando comparadas à dieta do grupo alto ganho. A concentração de EM da dieta foi maior ($P < 0,01$) para o grupo baixo ganho de peso (2,72 Mcal/kg MS) e semelhante ($P > 0,05$) entre os grupos médio e alto ganhos de peso (2,56 vs 2,53 Mcal/kg MS) (Tabela 1). Esta maior concentração de EM para o tratamento baixo ganho de peso é condizente com os resultados reportados por Moe et al. (1965), que relataram que à medida que a ingestão de MS aumenta acima das exigências de manutenção a concentração efetiva de EM da dieta decresce.

Na Tabela 2 estão apresentados os consumos médios de MS, nutrientes e energia para os grupos baixo, médio e alto ganhos de peso. De forma coerente, os animais mantidos com alimentação restrita consumiram menores ($P < 0,001$) quantidades de MS, nutrientes e energia. O consumo de MS (g/kg PV^{0,75}) foi 30,6% maior para o grupo médio ganho em relação ao baixo ganho, 28,9% maior para o alto ganho (*ad libitum*) em relação ao grupo médio ganho e 68,3% maior para o grupo alto ganho em comparação ao grupo

baixo ganho o que permitiu verificar o efeito dos planos nutricionais sobre as variáveis estudadas.

Tabela 2. Consumo de matéria seca (CMS), nutrientes e energia por bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais

| Item | Tratamento | | | EPM ¹ | Valor de P |
|-------------------|----------------------------|-------------|------------|------------------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| | kg/dia | | | | |
| CMS | 4,10a | 5,69b | 7,64c | 0,39 | <0,001 |
| CMO | 3,78a | 5,25b | 7,22c | 0,38 | <0,001 |
| CPB | 0,60a | 0,84b | 1,06c | 0,05 | <0,001 |
| CEE | 0,10a | 0,14b | 0,18c | 0,01 | <0,001 |
| CFDN | 1,50a | 2,09b | 2,78c | 0,14 | <0,001 |
| CFDA | 0,79a | 1,09b | 1,47c | 0,08 | <0,001 |
| CHcel | 0,72a | 1,00b | 1,32c | 0,07 | <0,001 |
| CCNF | 1,60a | 2,22b | 3,24c | 0,18 | <0,001 |
| CNDT ² | 2,89a | 3,88b | 5,07c | 0,24 | <0,001 |
| | Mcal/dia | | | | |
| CEB | 17,15a | 23,81b | 32,86c | 1,75 | <0,001 |
| CED | 12,76a | 17,09b | 22,36c | 1,07 | <0,001 |
| CEM | 11,16a | 14,55b | 19,30c | 0,92 | <0,001 |
| | g/kg PV ^{0,75} | | | | |
| CMS | 53,40a | 69,75b | 89,90c | 4,06 | <0,001 |
| CMO | 49,29a | 64,39b | 84,94c | 3,97 | <0,001 |
| CFDN | 19,60a | 25,63b | 32,73c | 1,46 | <0,001 |
| | Kcal/kg PV ^{0,75} | | | | |
| CEM | 145,36a | 178,40b | 227,03c | 9,15 | <0,001 |

¹Erro padrão da média, n = 15.

²Calculado pela relação: 1kg de NDT = 4,409 Mcal de ED.

CMO, consumo de matéria orgânica; CPB, consumo de proteína bruta; CEE, consumo de extrato etéreo; CFDN, consumo de fibra insolúvel em detergente neutro; CFDA, consumo de fibra insolúvel em detergente ácido; CHcel, consumo de hemiceluloses; CCNF, consumo de carboidratos não fibrosos; CNDT, consumo de nutrientes digestíveis totais; CEB, consumo de energia bruta; CED, consumo de energia digestível; CEM, consumo de energia metabolizável.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quando representados em porcentagem do PV, os consumos de MS verificados nesse estudo foram de 1,26; 1,61 e 2,05% do PV e os consumos de FDN de 0,46; 0,59 e

0,74% do PV para os grupos baixo, médio e alto ganho de peso, respectivamente. O consumo de PB (CPB) variou de 0,60 a 1,06 kg/dia do baixo para o alto plano nutricional. O CEM (kcal/kg PV^{0,75}) aumentou 56,1% do baixo para o alto ganho, enquanto que para o CNDT (kg/dia) esse aumento foi de 75,3%.

Diferenças significativas (P<0,01) foram encontradas para a digestibilidade aparente da MS, MO, EB, PB e CNF em função do plano nutricional. Não foram verificadas diferenças (P>0,05) para a digestibilidade das frações fibrosas FDN e FDA, no entanto, para a fração de hemiceluloses houve diferença (P = 0,04) entre os níveis de alimentação. As digestibilidades aparentes da MS, MO, EB, PB e CNF foram 5,9; 7,2; 8,3; 15,7 e 7,9% maiores para o tratamento baixo ganho em comparação ao grupo alto ganho, respectivamente. A digestibilidade aparente do EE não diferiu entre os grupos avaliados, apresentando valor médio de 815,69 g/kg. Para todas as variáveis avaliadas, os valores médios de digestibilidade do grupo médio ganho não diferiram dos grupos baixo e alto ganhos, apresentando valores intermediários entre os dois grupos (Tabela 3). O decréscimo na digestibilidade em função do aumento do nível de ingestão de MS é consistente com resultados de trabalhos anteriores em que diferentes planos de alimentação foram utilizados (Long et al., 2004; Nkrumah et al., 2006; Clark et al., 2007). A magnitude deste efeito sobre a digestibilidade é dependente do nível de alimentação empregado e do tipo de dieta utilizada. O efeito da ingestão de MS sobre a digestibilidade foi menor em dietas que possuem em sua composição apenas forragens em comparação com dietas mistas, compostas de forragens e concentrados (Chilliard et al., 1995; Doreau e Diawara, 2003). No NRC (2001) foram feitas correções para queda no valor do NDT da dieta à medida que o CMS aumenta acima da manutenção. Entretanto, a equação utilizada faz a correção no valor de NDT apenas para alimentos ou dietas com mais de 60% de NDT, o que corrobora os resultados dos autores aqui listados.

A ausência de efeito ou resultados em que a restrição ocasionou redução na digestibilidade foram mais frequentes quando se utilizou níveis de alimentação abaixo das exigências de manutenção (Gingins, et al., 1980, Ortigues et al., 1993; Grimaud et al., 1999; Grimaud e Doreau, 2003), o que não ocorreu neste estudo.

Long et al. (2004) encontraram diferenças para as digestibilidades da MS, MO e FDN em vacas secas submetidas aos níveis de alimentação correspondentes a 30, 60 e 90% do consumo *ad libitum* (27,03; 54,27 e 74,80 g MS/kg PV^{0,75}). Segundo os autores as digestibilidades da MS, MO e FDN reduziram (P<0,05) de 66,1 a 59,1%; 68,1 a 59,9%

e 62,1 a 54,3%, respectivamente, quando o nível de ingestão aumentou de 30 para 90% do consumo *ad libitum*. Pesquisas têm demonstrado que a depressão na digestibilidade da MO e frações fibrosas ocasionadas pelo aumento da ingestão em relação ao nível de manutenção não é linear, sendo que maiores reduções na digestibilidade ocorrem nos mais altos níveis de ingestão (Hogan e Weston, 1971; Robinson et al., 1985). Isso ocorre em função da maior taxa de passagem da digesta no rúmen (Chen et al., 1992), o que resulta em menor tempo disponível para digestão pela microbiota ruminal (Owens e Goetsch, 1986). Doreau e Diawara (2003) reportaram que a redução no nível de ingestão resultou em maior tempo de retenção das partículas no rúmen e no trato gastrointestinal total, além da redução do tamanho médio de partícula ruminal e retal. A ausência de diferença significativa na digestibilidade entre níveis médio e alto de ingestão (conforme os tratamentos médio e alto ganhos) obtida neste estudo pode ser explicada pela semelhança no tempo de retenção das partículas entre esses dois níveis de alimentação, como observado por Holden et al. (1994) para os níveis de consumo médio e alto. Comparando-se os planos nutricionais baixo e médio consumos (baixo e médio ganhos de peso, respectivamente), em que as digestibilidades da MS e nutrientes foram semelhantes, o tempo de retenção das partículas no rúmen e o enchimento ruminal parece não terem sido fatores limitantes da extensão da digestão ruminal para o grupo de baixo consumo. Sabe-se que em consumos muito baixos o menor enchimento ruminal e o maior conteúdo de líquidos no rúmen podem influenciar a motilidade ruminal e as interações entre microbiota ruminal e partículas (Cheng et al., 1998), o que levaria a uma redução na digestibilidade em restrições de maior magnitude como reportado por Grimaud et al. (1999). Evidentemente, entre os níveis de alimentação baixo ganho e alto ganho a alteração nessas características se expressou com maior extensão, visto a maior diferença na quantidade ingerida de MS e nutrientes o que afetou os valores de digestibilidade.

Conforme Galyean e Owens (1991) com a redução da ingestão, a taxa de passagem de sólidos e líquidos também estariam reduzidos e levaria a um maior tempo de retenção e maior digestibilidade das frações fibrosas. No entanto, não foram verificadas diferenças ($P > 0,05$) na digestibilidade das frações fibrosas, provavelmente, por se ter mantido ambiente ruminal adequado, uma vez que se utilizou a mesma proporção volumoso:concentrado e procurou-se disponibilizar adequadas concentrações de N e minerais para os animais.

A menor amplitude nos valores de digestibilidade da FDN (594,4 a 559,38 g/kg) e FDA (568,33 a 551,70 g/kg) entre os tratamentos baixo e alto ganho de peso, e a maior variação individual para os valores de digestibilidade dessas frações também concorreram para ausência de significância na comparação das médias entre os tratamentos.

Tabela 3. Digestibilidade (g/kg) da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), energia bruta (EB) e nutrientes em bovinos machos, inteiros, cruzados F1 Holandês x Gir sob diferentes planos nutricionais

| Item | Tratamento | | | EPM* | Valor de P | |
|------|-------------|-------------|------------|------|------------|--|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | | |
| | | g/kg MS | | | | |
| MS | 735,85a | 713,10ab | 695,02b | 6,28 | 0,001 | |
| MO | 759,37a | 733,45ab | 708,04b | 7,06 | 0,003 | |
| EB | 741,68a | 715,97ab | 684,99b | 7,64 | 0,002 | |
| PB | 740,72a | 703,90ab | 640,00b | 13,8 | 0,002 | |
| FDN | 594,40 | 581,31 | 559,38 | 7,84 | 0,189 | |
| FDA | 568,33 | 567,89 | 551,70 | 7,39 | >0,05 | |
| Hcel | 622,60a | 595,84ab | 569,03b | 9,10 | 0,041 | |
| EE | 810,19 | 815,19 | 821,69 | 9,29 | >0,05 | |
| CNF | 926,18a | 890,93ab | 858,31b | 9,60 | 0,004 | |

*Erro padrão da média, n = 15.

MO, matéria orgânica; EB, energia bruta; PB, proteína bruta; FDN, fibra insolúvel em detergente neutro; FDA, fibra insolúvel em detergente ácido; Hcel, hemiceluloses; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram encontradas diferenças ($P > 0,05$) para o peso vivo inicial (PV_i) entre os grupos experimentais, com valor médio de 302 kg. Para o peso vivo final (PV_f) essa diferença foi significativa ($P < 0,001$), como era esperado, sendo que os animais dos grupos médio e alto ganhos tiveram PV_f superiores aos animais do grupo baixo ganho. O ganho médio diário (GMD) aumentou ($P < 0,001$) em função dos níveis de alimentação e apresentou valores médios de 0,35; 0,81 e 1,10 kg/dia para os respectivos grupos baixo, médio e alto ganhos de peso. A eficiência alimentar (EA) foi semelhante entre os tratamentos médio e alto ganhos, apresentando valor 66,7% superior ($P < 0,001$) ao tratamento baixo ganho (0,15 vs 0,09 kg PV/kg MS ingerida). Houve diferença ($P =$

0,003) para o rendimento de carcaça quente (RCQ) entre os grupos avaliados. O grupo alto ganho apresentou maior RCQ em relação ao grupo baixo ganho (55,0 vs 57,64%), os quais não diferiram do grupo médio ganho (57,36%) (Tabela 4).

Steen (1995) avaliou o efeito da restrição alimentar em bovinos machos inteiros e castrados e em novilhas de três diferentes raças sobre o desempenho e rendimento de carcaça. Os grupos em restrição (80% do consumo *ad libitum*) tiveram os ganhos médios de PV, carcaça, carne magra e de gordura reduzidos em 28, 27, 22 e 37%, respectivamente. Entretanto, a restrição não influenciou ($P>0,05$) o rendimento de carcaça e peso final de abate dos grupos avaliados. Resultados semelhantes foram verificados neste estudo, quando se compararam os grupos médio e alto, os quais apresentaram diferenças nos ganhos diários de 35%, rendimentos de carcaça semelhantes e não diferiram quanto ao peso final de abate. Rendimentos de carcaça quente para animais F1 Holandês x Gir de 53,69% na fase de recria e de 54,72% na fase de terminação foram reportados por Alves et al. (2004). Estes valores são próximos aos obtidos neste estudo para os animais do grupo baixo ganho (55%).

Diferentemente de outros estudos em que a restrição de 10 a 30% do CMS aumentou a eficiência alimentar (Geay et al., 1976; Andersen e Ingvarsten, 1984; Moore et al., 1991), ou mesmo impôs uma redução na mesma (Keane e Drennan, 1980; Steen, 1995), neste estudo verificou-se diferença apenas para o grupo baixo ganho em relação aos demais tratamentos, o qual apresentou baixa eficiência alimentar (0,09 kg PV/kg MS ingerida), uma vez que a restrição imposta para este grupo foi de 46% do CMS (kg/dia). Old e Garrett (1987), utilizando bovinos machos inteiros e novilhas, entre 220 e 470 kg de PV, em restrição de 70 a 85% do consumo *ad libitum*, não obtiveram efeito do nível de alimentação na eficiência alimentar. Os estudos em que a moderada restrição (10 a 30% do CMS) levou a uma redução na eficiência alimentar podem resultar dos efeitos reportados por Wright e Russel (1991) em que os animais poderiam estar submetidos a dietas com altas proporções de forragem, com desempenhos moderados, antes dos tratamentos serem impostos. Isso levaria os animais alimentados *ad libitum* a um ganho compensatório durante o período avaliado, o que aumentaria sua eficiência alimentar. Este fato não ocorreu neste estudo, uma vez que os animais experimentais foram utilizados em experimento anterior (5 meses de duração) em que a relação volumoso:concentrado da dieta utilizada foi de 50:50, com alimentação à vontade. Além

disso, ressalta-se que ao início do experimento os animais eram uniformes quanto ao peso vivo e quanto à condição corporal.

Tabela 4. Desempenho e rendimento de carcaça quente (RCQ) de bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais

| Item | Tratamento | | | EPM* | Valor de P |
|-----------------------------------|-------------|-------------|------------|-------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| PV _i (kg) ¹ | 303 | 301 | 302 | 4,63 | >0,05 |
| PV _f (kg) ² | 349a | 407b | 447b | 12,49 | <0,001 |
| GMD (kg/dia) ³ | 0,35a | 0,81b | 1,10c | 0,08 | <0,001 |
| EA (kg PV/kg MS) ⁴ | 0,09a | 0,15b | 0,15b | 0,01 | <0,001 |
| RCQ (%) | 55,00a | 57,36ab | 57,64b | 0,49 | 0,003 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹PV_i, Peso vivo inicial; ²PV_f, Peso vivo final; ³GMD, Ganho médio diário; ⁴EA, Eficiência Alimentar: Kg de ganho de peso/kg de MS ingerida.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A ingestão de N aumentou (P<0,001) com a ingestão de MS e apresentou valores médios de 98,50; 138,92 e 172,68 g/dia para os tratamentos baixo, médio e alto ganhos. O aumento do CMS também levou a maiores (P<0,001) perdas de N nas fezes, com o tratamento alto ganho apresentando maior perda fecal de N (62,29 g/dia ou 0,74 g/kg PV^{0,75}), correspondendo a um valor 2,4 e 1,5 vezes maior que a perda fecal obtida para os tratamentos baixo e médio ganhos, respectivamente. A excreção urinária de N não diferiu (P>0,05) entre os tratamentos e apresentou valor médio de 41,42 g/dia (0,52 g/kg PV^{0,75}). A retenção de N aumentou (P<0,001) do tratamento baixo para o alto ganho, com valores médios variando de 0,46 a 0,84 g/kg PV^{0,75} para os respectivos tratamentos. Entretanto, a relação N retido/N ingerido não diferiu (P=0,279) em função dos diferentes planos nutricionais, obtendo-se valor médio de 0,38. Já a relação N retido/N absorvido aumentou (P=0,006) com o aumento do ganho de peso (Tabela 5).

O aumento linear da ingestão de N em função do aumento da IMS deve-se ao fato de que os animais dos diferentes grupos consumiram dietas semelhantes, mas em diferentes quantidades. A maior excreção de N nas fezes ocorreu em função da maior produção fecal para os tratamentos com maiores ingestões de MS, visto que não se verificou efeito do nível de ingestão na concentração de N nas fezes. Long et al. (2004) avaliaram o efeito da restrição alimentar em vacas secas sobre o balanço de N. Houve

aumento linear na excreção fecal de N (0,16 a 0,44 g/kg PV^{0,75}) quando o consumo aumentou de 30 para 90% do consumo *ad libitum*, sendo o mesmo comportamento observado para o balanço de N que aumentou de -0,10 para 0,28 g/kg PV^{0,75}.

Tabela 5. Balanço aparente de nitrogênio (N) em bovinos cruzados F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais

| Item | Unidade | Tratamento | | | EPM* | Valor P |
|----------------------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|------|---------|
| | | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| N ingerido | g/dia | 98,50a | 138,92b | 172,68c | 8,29 | <0,001 |
| | g/kg PV ^{0,75} | 1,33a | 1,75b | 2,06c | 0,08 | <0,001 |
| N excretado | | | | | | |
| Fezes | g/dia | 25,50a | 41,22b | 62,29c | 4,28 | <0,001 |
| | g/kg PV ^{0,75} | 0,34a | 0,52b | 0,74c | 0,05 | <0,001 |
| Urina | g/dia | 38,89 | 45,03 | 40,04 | 1,76 | 0,342 |
| | g/kg PV ^{0,75} | 0,52 | 0,57 | 0,48 | 0,02 | 0,232 |
| Total | g/dia | 64,40a | 86,24b | 102,33b | 4,92 | <0,001 |
| | g/kg PV ^{0,75} | 0,87a | 1,08ab | 1,22b | 0,05 | 0,004 |
| N retido | g/dia | 34,11a | 52,67b | 70,36c | 4,39 | <0,001 |
| | g/kg PV ^{0,75} | 0,46a | 0,66b | 0,84c | 0,05 | <0,001 |
| DAN (g/kg MS) ¹ | | 740,72a | 703,90ab | 640,00b | 13,8 | 0,002 |
| N retido/N ingerido | | 0,35 | 0,38 | 0,41 | 0,02 | 0,279 |
| N retido/N absorvido | | 0,47a | 0,54ab | 0,64b | 0,02 | 0,006 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹DAN = Digestibilidade aparente do N.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à excreção urinária de N, os autores não observaram diferenças entre os tratamentos, apresentando valor médio de 0,29 g/kg PV^{0,75}. Comportamento semelhante foi encontrado neste estudo em que a excreção urinária de N (g/dia ou g/kg PV^{0,75}) não diferiu (P>0,05) entre os grupos avaliados e o N retido (g/dia ou g/kg PV^{0,75}) aumentou do tratamento baixo para o alto ganho.

A maior digestibilidade aparente do N (DAN) observada para o tratamento baixo ganho em comparação alto ganho está de acordo com os resultados obtidos por Volden (1999),

o qual relatou maior DAN para vacas leiteiras em baixo consumo (~50% do consumo *ad libitum*) em comparação àquelas alimentadas à vontade.

A Figura 1 demonstra a relação entre o N ingerido e o N absorvido. Observa-se que com a elevação da ingestão de N houve aumento ($P < 0,001$) na absorção de N em $\text{g/kg PV}^{0,75}$. Relação inversa foi obtida quando se relacionou a absorção de N em g/kg MS em função da ingestão de N, a qual apresentou efeito linear decrescente ($P < 0,001$).

Alguns autores reportaram que o escape ruminal de N da dieta permanece constante com o aumento da ingestão de MS, enquanto que o escape ruminal de N bacteriano aumenta (Ulyatt et al., 1975; Robinson et al., 1985). O efeito decrescente observado para a absorção de N ($\text{g/kg PV}^{0,75}$) (Figura 1) pode ser atribuído ao maior escape ruminal de N bacteriano, acarretando maiores perdas de N nas fezes em função da maior produção fecal e reduzindo a DAN com o aumento da ingestão de N (aumento da IMS).

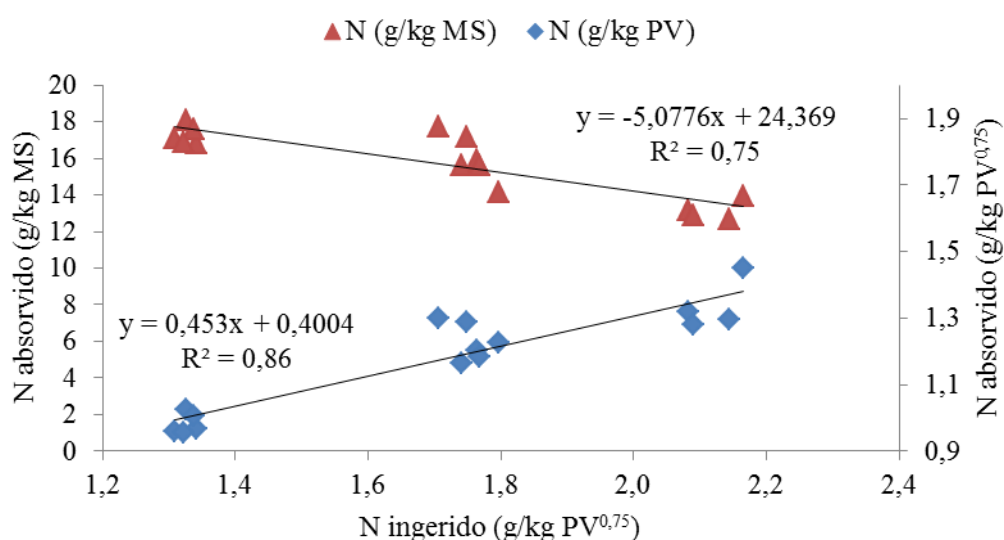


Figura 1. Relação entre o consumo de nitrogênio (N) e a quantidade de N absorvida no intestino, em g/kg de matéria seca (MS) ingerida e em $\text{g/kg PV}^{0,75}$.

CONCLUSÕES

Os diferentes planos nutricionais impostos influenciaram a digestibilidade aparente da MS, MO, EB, PB e CNF. O ganho médio diário aumentou em função dos níveis de

alimentação. A eficiência alimentar não diferiu entre os tratamentos médio ganho e alto ganho. O rendimento de carcaça quente diferiu entre os grupos avaliados. A retenção de N aumentou do tratamento baixo para o alto ganho, com valores médios de 0,46; 0,66 e 0,84 g/kg PV^{0,75} para os respectivos tratamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, D. D.; PAULINO, M. F.; BACKES, A. A.; VALADARES FILHO, S. C.; RENNÓ, L. N. Características de carcaça de bovinos zebu e cruzados holandês-zebu (F1), nas fases de recria e terminação. *R. Bras. Zootec.*, v. 33, n. 5, p. 1274-1284, 2004.

ANDERSEN, H. R.; INGVATTSEN, K. L. The influence of energy level, weight at slaughter and castration on growth and feed efficiency in cattle. *Livest. Prod. Sci.*, v. 11, p. 559-569, 1984.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 13th. Washington: AOAC, 1980, 1015p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 16th. Washington: AOAC, 1995, 2000p.

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). The nutrient requirements of ruminant livestock. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980, 351p.

CHEN, X. B.; CHEN, Y. K.; FRANKLIN, M. F.; SHAND, W. J. The effect of feed intake and body weight on purine derivative excretion and microbial protein supply in sheep. *J. Anim. Sci.*, v. 70, p. 1534-1542, 1992.

CHENG, K. J.; MCALLISTER, T. A.; POPP, J. D.; HRISTOV, A. N.; MIR, Z.; SHIN, H. T. A review of bloat in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 76, p. 299-308, 1998.

CHILLIARD, Y.; DOREAU, M.; BOCQUIER, F.; LOBLEY, G. E. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In: JOURNET, M.; GRENET, E.; FARCE, M. H.; THERIEZ, M.; DEMARQUILLY, C. (Ed.). *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores*. INRA Editions, Paris, 1995, p. 329-360.

CLARK, J. H.; OLSON, K. C.; SCHMIDT, T. B.; LINVILLE, M. L.; ALKIRE, D. O.; MEYER, D. L.; RENTFROW, G. K.; CARR, C. C.; BERG, E. P. Effects of dry matter intake restriction on diet digestion, energy partitioning, phosphorus retention, and ruminal fermentation by beef steers. *J. Anim. Sci.*, v. 85, p. 3383-3390, 2007.

DETMANN, E.; CECON, P. R.; PAULINO, M. F.; ZERVOUDAKIS, J. T.; VALADARES FILHO, S. C.; ARAÚJO, C. V. Estimação de parâmetros da cinética de trânsito de partículas em bovinos sob pastejo por diferentes sequências amostrais. *R. Bras. Zootec.*, v. 30, n. 1, p. 220-230, 2001.

DOREAU, M.; DIAWARA, A. Effect of level of intake on digestion in cows: influence of animal genotype and nature of hay. *Livest. Prod. Sci.*, v. 81, p. 35-45, 2003.

GALYEAN, M. L.; OWENS, F. N. Effects of diet composition and level of feed intake on site and extent of digestion in ruminants. In: TSUDA, T.; SASAKI, Y.; KAWASHIMA, R. (Ed.) *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*. 7th Proc. Int. Symp. on Ruminant Physiol. Academic Press, San Diego, CA. 1991.

GEAY, Y.; ROBELIN, J.; BERANGER, C. Influence du niveau alimentaire sur le gain de poids vif et la composition de la carcasse de taurillons de différentes races. *Amt. Zootech.*, v. 25, p. 287-298, 1976.

GINGINS, M.; BICKEL, H.; SCHURCH, A. Efficiency of energy utilization in undernourished and realimented sheep. *Livest. Prod. Sci.*, v. 7, p. 465-471, 1980.

GRIMAUD, P.; DOREAU, M. Effect of level of intake and nitrogen supplementation of digestion by cows in a tropical environment. *Anim. Res.*, v. 52, p. 103-118, 2003.

GRIMAUD, P.; RICHARD, D.; VERGERON, M. P.; GUILLERET, J. R.; DOREAU, M. Effect of drastic undernutrition on digestion in Zebu cattle receiving a diet based on rice straw. *J. Dairy Sci.* v. 82, p. 974-981, 1999.

HOGAN, J. P.; WESTON, R. H. The utilization of alkali-treated straw by sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, v. 22, p. 851-962, 1971.

HOLDEN, L. A.; GLENN, B. P.; ERDMAN, R. A.; POTTS, W. E. Effects of alfalfa and orchardgrass on digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.77, p.2580-2594, 1994.

INZUNZA JC. Clasificación de los climas de Köppen. *Ciencia...Ahora*. 2005; 15: 1-14.

KEANE, M. G.; DRENNAN, M. J. Effects of diet type and feeding level on performance, carcass composition and efficiency of Friesian steers serially slaughtered. *J. Agric. Res.*, v. 19, p. 53-66, 1980.

LONG, R. J.; DONG, S. K.; HU, Z. Z.; SHI, J. J.; DONG, Q. M.; HAN, X. T. Digestibility, nutrient balance and urinary purine derivative excretion in dry yak cows fed oat hay at different levels of intake. *Livest. Prod. Sci.*, v.88, p.27-32, 2004.

MOE, P. W.; REID, J. T.; TYRRELL, H. G. Effect of level of intake on digestibility of dietary energy by high-producing cows. *J. Dairy Sci.*, v. 48, p. 1053-1061, 1965.

MOORE, C. A.; MCCRACKEN, K. J.; UNSWORTH, E. F.; STEEN, R. W. J.; GORDON, F. J.; KILPATRICK, D. J. Effect of plane of nutrition and slaughter weight on growth and food efficiency of Friesian steers during the finishing period. *Anim. Prod.*, v. 52, p. 572, 1991.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. Washington, D.C.: Natl. Acad. Sci., 2000, 242p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient requirement of beef cattle. 6th rev. Washington: D.C.: Natl. Acad. Sci. 1984. 90p.

OLD, C. A.; GARRETT, W. N. Effects of energy intake on energetic efficiency and body composition of beef steers differing in size at maturity. *J. Anim. Sci.*, v. 65, p. 1371-1380, 1987.

ORTIGUES, I.; PETIT, M.; AGABRIEL, J.; VERMOREL, M. Maintenance requirements in metabolizable energy of adult, nonpregnant, nonlactating Charolais cows. *J. Anim. Sci.*, v. 71, p. 1947-1956, 1993.

OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. Digesta passage and microbial protein synthesis. In: MILLIGAN, L. P., GROVUM, W. L., DOBSON, A. (Ed.) *Control of Digestion and Metabolism*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA, p. 196-223, 1986.

RENNÓ, L. N.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; LEÃO, M. L.; VALADARES, R. F. D.; RENNO, F. P.; PAIXÃO, M. L. Níveis de ureia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos: parâmetros ruminais, ureia plasmática e excreções de ureia e creatinina. *R. Bras. Zootec.*, v. 37, n. 3, p. 556-562, 2008.

ROBINSON, P. H.; SNIFFEN, C. J.; VAN SOEST, P. J. Influence of level of feed intake on digestion and bacterial yield in the fore stomachs of dairy cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, v. 65, p. 437-444, 1985.

RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; LACHICA, M. L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C. A calorimetry system for metabolism trials. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 59, n. 2, p. 495-500, 2007.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. (SAS®). Versão 9.1.3, User's Guide. Statistics. Statistical Analysis Systems Institute. Inc., Cary, NC. 2001.

STEEN, R. J. W. The effect of plane of nutrition and slaughter weight on growth and food efficiency in bulls, steers and heifers of three breed crosses. *Livest. Prod. Sci.*, v. 42, p. 1-11, 1995.

ULYATT, M. J.; MACRAE, J. C.; CLARKE, R. T. J.; PEARCE, P. D. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. IV. Protein synthesis in the stomach. *J. Agric. Sci. Camb.*, v. 84, p. 453-458, 1975.

VAN SOEST, P. J. et al. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VODEN, H. Effects of level of feeding and ruminally undegraded protein on ruminal bacterial protein synthesis, escape of dietary protein, intestinal amino acid profile, and performance of dairy cows. *J. Anim. Sci.*, v. 77, p. 1905-1918, 1999.

WRIGHT, L. A.; RUSSEL, A. J. F. Changes in the body composition of beef cattle during compensatory growth. *Anim. Prod.*, v. 52, p. 105-113, 1991.

CAPÍTULO III

Partição energética, exigências nutricionais de energia e produção de metano em bovinos F1 Holandês x Gir, utilizando-se a técnica respirométrica

RESUMO

Objetivou-se com este estudo avaliar as exigências nutricionais de energia para manutenção e ganho, bem como estudar a partição energética da dieta e mensurar a produção de metano por bovinos machos inteiros F1 Holandês x Gir em diferentes planos de alimentação. Utilizaram-se 15 bovinos F1 Holandês x Gir, machos, não castrados, com peso vivo inicial médio de 302 kg. Os animais foram mantidos em galpão de confinamento tipo “tie stall”, e foram alimentados individualmente com dietas à base de silagem de milho e concentrado, na proporção volumoso:concentrado de 58:42, com base na matéria seca (MS). As dietas foram inicialmente formuladas para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto ganhos de peso, respectivamente. Foi realizado o controle do alimento fornecido para os tratamentos baixo e médio ganhos. Para o tratamento alto ganho foi permitido 10 a 15% de sobras. Os animais foram pesados quinzenalmente para determinação do ganho de peso diário e da conversão alimentar. Simultaneamente, foram realizados ensaios de digestibilidade e metabolismo para determinação das perdas energéticas fecais, urinárias e por emissão de metano, e da energia metabolizável da dieta. A produção de calor foi determinada por calorimetria indireta pela mensuração contínua do consumo de oxigênio (O_2), da produção de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4). A partição energética foi determinada subtraindo-se da energia bruta (EB) consumida as perdas energéticas oriundas das fezes, urina, metano e da produção de calor diária (PC). A energia líquida de manutenção EL_m foi calculada como sendo o antilogaritmo do intercepto da regressão do logaritmo da PC em função do CEM. A energia retida foi obtida pela subtração da PC do CEM. O ganho médio diário (GMD) aumentou do baixo para o alto plano nutricional. A eficiência alimentar (EA) não diferiu entre os tratamentos médio e alto ganho. O consumo de O_2 ($L/kg PV^{0,75}$) dos animais, em estado de jejum e alimentados, não diferiu entre os grupos baixo e médio ganhos. A

produção de CO₂ foi maior para os animais em consumo *ad libitum*. Com o aumento do CMS houve aumento das perdas energéticas fecais e urinárias (Mcal/dia). A energia retida (ER) aumentou linearmente ($P < 0,001$) com o consumo de EM. A energia líquida de ganho da dieta (EI_g) não diferiu ($P > 0,10$) entre os tratamentos. A eficiência de utilização da EM para ganho de peso foi de 0,34. A exigência de energia líquida para manutenção de animais Holandês x Gir, machos inteiros foi de 74,61 Kcal/kg PV^{0,75} e a de energia metabolizável para manutenção foi de 125 Kcal/kg PV^{0,75}. As produções diárias de metano aumentaram com o nível de ingestão de MS e as perdas diárias representaram 5,31% do consumo de energia bruta.

Palavras-chave: energia líquida, energia digestível, eficiência alimentar, metabolizabilidade

Energy partitioning, nutritional energy requirements and methane production by Holstein x Gir crossbreed bulls determined by calorimetry technique

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the nutritional energy requirements for maintenance and gain, studying the energy partition of diet and measuring methane production by Holstein x Gir crossbreed bulls on different planes of nutrition. An experiment was carried out with fifteen Holstein x Gir crossbreed bulls, non-castrated, averaging 302 kg body weight. The animals were kept under Tie Stall system with drinker and fed individually twice a day. The diet was composed of corn silage and concentrate, at a 58:42 ratio. The diets in this study were formulated to make possible gains of 100, 500 and 900 g/day, corresponding to low, medium and high weight gains treatments, respectively. Feed intake control was provided for the low and medium gain treatment and to high level treatment was adjusted daily so that leftovers were kept around 10 to 15% of the total supplied. The animals were weighed every two weeks to determine average daily gain and feed efficiency. Heat production was determined by indirect calorimetry for the continuous measurement of oxygen consumption (O_2), the production of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) emissions. The partition energy was determined by subtracting the gross energy (GE) consumed by the energy losses from faeces, urine, methane and the production of heat daily (HP). Net energy requirement for maintenance (NE_m) was estimated as the antilog of the intercept of the equation obtained by the linear regression between the logarithm of heat production (HP) and the metabolizable energy intake (MEI). The retained energy was obtained by subtracting the heat consumption of metabolizable energy intake. The average daily gain (ADG) increased from the low to the high nutritional plan. Feed efficiency (FE) did not differ between treatments medium and high gain. The O_2 consumption (L/kg $BW^{0.75}$) of animals in the fasted state and fed state did not differ between the low and middle levels. The CO_2 production was higher for the animals ad libitum intake. Increase of fecal and urinary energy losses was observed with the increase of DMI (Mcal/day). The retained energy (RE) increased linearly ($P < 0.001$) with ME intake. No differences were observed on net energy gain of the diet (NE) ($P > 0.10$) between

treatments. The efficiency of utilization for body weight gain was 0.34. In this present study the net energy requirement for maintenance of Holstein x Gir crossbreed bulls, non-castrated was 74.61 Kcal/kg BW^{0.75} and metabolizable energy for maintenance was 125 Kcal/kg BW^{0.75}. The daily production of methane increased with the level of DM intake and daily losses represented 5.31% of gross energy consumption.

Keywords: net energy, digestible energy, feed efficiency, metabolizability

Partição energética, exigências nutricionais de energia e produção de metano em bovinos Holandês x Gir, utilizando-se a técnica respirométrica

INTRODUÇÃO

A energia é o mais importante componente limitante da produtividade animal, e em conjunto com a proteína, representam as frações de maior participação no custo da alimentação animal. O conhecimento da composição química dos alimentos e seu valor nutritivo são imprescindíveis para atender às exigências nutricionais dos animais com maior eficácia. Dessa forma, determinar as exigências nutricionais de animais de diferentes categorias e tipos raciais é de fundamental importância para adequação no uso dos alimentos, otimizando sua utilização e reduzindo os custos da alimentação.

O sistema amplamente difundido por Lofgreen e Garrett (1963), denominado de Sistema de Energia Líquida da Califórnia, baseado na técnica de abates comparativos, foi adotado pelo sistema americano NRC, o qual representa o modelo de exigências nutricionais mais utilizado mundialmente para formular dietas e avaliar programas de alimentação. Entretanto este sistema apresenta limitada aplicabilidade em condições tropicais, visto que seus dados foram obtidos com animais *Bos taurus taurus* em sistemas de alimentação diferentes das regiões localizadas nos trópicos. Outros sistemas de alimentação foram desenvolvidos em países como França (INRA), Reino Unido (ARC/AFRC) e Austrália (CSIRO), os quais levaram em consideração as peculiaridades de cada sistema de produção. Diferentemente desses países, onde há predominância de animais taurinos, no Brasil animais zebuínos compõem a maior totalidade do rebanho nacional. As primeiras Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais de Zebuínos, BR-CORTE, foram publicadas por Valadares Filho et al. (2006) com base em um banco de dados de experimentos realizados em condições brasileiras, sendo posteriormente elaborada a segunda versão atualizada em 2010, BR-CORTE (2010).

Determinar as exigências nutricionais representa um avanço tecnológico para se alcançar o desempenho desejado, com menores custos de produção e minimizando os passivos ambientais. Entretanto, apesar de uma grande parcela da produção de leite no Brasil ser proveniente de sistemas que utilizam animais mestiços leiteiros, são escassas

as informações disponíveis sobre as exigências desses animais, uma vez que o BR CORTE abrange apenas animais zebuínos e cruzados de corte.

Adicionalmente, resultados sobre a produção de metano de bovinos em nossas condições são praticamente inexistentes, sendo necessários dados que contribuam com informações precisas sobre as emissões desse gás, um dos principais responsáveis pelo efeito estufa e conseqüente aquecimento global. Neste sentido estudos precisam ser conduzidos para aumentar o banco de dados e preencher lacunas ainda existentes em se tratando de animais de origem leiteira.

Com isso, objetivou-se avaliar as exigências nutricionais de energia para manutenção e ganho, bem como estudar a partição energética da dieta e mensurar a produção de metano por bovinos machos inteiros F1 Holandês x Gir em diferentes planos de alimentação.

MATERIAL E MÉTODOS

Local

O experimento foi realizado na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, entre fevereiro e junho de 2012. A cidade de Belo Horizonte está situada a 900 m acima do nível do mar, possui uma temperatura média de 23°C, variando entre 9 e 35°C, umidade relativa do ar de 65% e precipitação média anual de 1600 mm, com maior concentração de chuvas no período entre outubro e março. O clima é classificado como tropical de altitude (Cwa) conforme a classificação de Köppen descrito por Inzunza (2005).

Animais e instalações

Utilizaram-se 15 bovinos F1 Holandês x Gir, machos, não castrados, com peso vivo inicial médio de 302 ± 17 kg. Os animais foram mantidos em galpão de confinamento tipo “tie stall” com piso de concreto, o qual dispunha de tapetes de borracha perfurados de 1,0 m² (1,0 x 1,0 m) de área e crivos de 1,0 cm de diâmetro. Cada animal dispunha de uma área livre de 3 m² (2,5 x 1,2 m), provida de cochos e bebedouros individuais. Todos os animais foram utilizados em experimento anterior e passaram por processo de doma racional, sendo, portanto, já acostumados ao manejo diário durante o experimento. Antes do início do experimento os animais foram vacinados e

vermifugados (Levamisol + Ivermectina), tratados com ectoparasiticida (Fipronil) e receberam vitaminas A, D e E por via subcutânea.

Dietas e manejo alimentar

As dietas eram compostas de silagem de milho e concentrado à base de milho, farelo de soja, núcleo mineral, óxido de magnésio, flor de enxofre, calcário e ureia, na proporção volumoso:concentrado de 58:42, com base na matéria seca (MS). A composição química média das dietas experimentais encontra-se na Tabela 1. As dietas foram inicialmente formuladas de acordo com o NRC (2000) para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto (consumo *ad libitum*) ganhos de peso, respectivamente. Para os tratamentos baixo e médio ganhos de peso a dieta utilizada foi a mesma, diferindo apenas na quantidade fornecida aos animais. As dietas foram fornecidas aos animais individualmente duas vezes ao dia em quantidades iguais às 08:00 e 17:00 horas e os animais possuíam livre acesso à água durante todo o período experimental. Os animais do grupo alto ganho de peso receberam alimentação à vontade, permitindo sobras de 10 a 15%, enquanto os animais dos grupos baixo e médio ganhos receberam alimentação restrita em função do peso vivo (% PV) de acordo com os ganhos formulados e geralmente consumiam todo o alimento em um período de 20 a 40 minutos após o trato. Os animais passaram por um período de adaptação antes do início do estudo, com duração de 65 dias, durante o qual foi permitido o consumo *ad libitum* de uma mesma dieta, com proporções volumoso:concentrado semelhantes à dieta experimental.

Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais

| Item | Tratamento | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho |
| Ingrediente | g/kg | | |
| Silagem de milho | 580,1 | 580,1 | 580,1 |
| Fubá de milho | 247,2 | 247,2 | 285,3 |
| Farelo de soja | 130,5 | 130,5 | 115,3 |
| Núcleo mineral ¹ | 28,7 | 28,7 | 12,6 |
| Ureia | 3,8 | 3,8 | 2,9 |
| Óxido de magnésio | 6,3 | 6,3 | 0,6 |
| Flor de enxofre | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| Calcário | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | Composição | | |
| | g/kg | | |
| MS | 507,9 | 507,9 | 506,2 |
| MO | 923,2 | 923,2 | 943,5 |
| PB | 147,0 | 147,0 | 139,7 |
| FDN | 367,5 | 367,5 | 370,8 |
| CNF | 390,7 | 390,7 | 414,2 |
| | Mcal/kg MS | | |
| EB | 4,18 | 4,18 | 4,29 |
| EM ² | 2,72 | 2,56 | 2,53 |

¹Composição: Ca: 207 g/kg; P: 90 g/kg; Na: 50 g/kg; Mg: 18 g/kg; Co: 100 mg/kg; Cu: 750 mg/kg; Mn: 1200 mg/kg; Se: 30 mg/kg; Zn: 3000 mg/kg e I: 100 mg/kg.

²Determinada em ensaio de metabolismo.

Determinação do consumo

As rações fornecidas e as sobras foram amostradas diariamente, sendo primeiramente pesadas e em seguida retiradas amostras de 300 a 400 g, as quais foram embaladas em sacos plásticos de 3 mm de espessura e congeladas em freezer à temperatura de -15°C, para posteriormente serem analisadas. O período de determinação do consumo correspondeu ao período anterior ao ensaio de digestibilidade, com duração de 84 dias.

Desempenho animal

Foi realizada a pesagem dos animais após jejum prévio de sólidos de 16 horas, para determinação do peso vivo médio inicial (PV_i) e final (PV_f). As pesagens intermediárias foram feitas a cada 15 dias, às 07:00h, antes do arraçoamento da manhã, para monitoramento e ajuste da quantidade fornecida (%PV) aos animais em restrição. O ganho médio diário (GMD) foi determinado pela diferença do PV_f e PV_i dividido pelo número de dias avaliado (84 dias). A eficiência alimentar foi calculada pela razão kg ganho de PV/kg MS consumida.

Ensaio de digestibilidade aparente e coleta de urina

Durante o experimento foi realizado ensaio de digestibilidade para determinação da digestibilidade da MS e nutrientes, que consistiu de 10 dias de duração, sendo 5 dias de adaptação ao manejo experimental e 5 dias de coleta total de fezes. Alimentos oferecidos, sobras e fezes foram coletadas, pesadas e amostradas diariamente e congeladas a -15°C para posteriores análises. Durante o ensaio coletaram-se amostras tipo *spot* de urina, as quais foram obtidas 4 horas após a alimentação, durante micção espontânea. Uma alíquota de 60 mL de urina foi coletada para determinação das concentrações de creatinina, nitrogênio (N) e EB.

O volume urinário foi estimado multiplicando-se o PV pela excreção diária de creatinina (mg/kg PV) e dividindo-se o produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina. Para obtenção da excreção diária de creatinina por kg de PV, adotou-se a média de 28,72 mg/kg PV, obtida por Rennó (2008) para os bovinos $\frac{1}{2}$ Holandês x $\frac{1}{2}$ Gir.

Calorimetria indireta de circuito aberto e partição energética

Após o ensaio de digestibilidade iniciaram-se os procedimentos para determinação da produção de calor (PC) dos animais na câmara respirométrica. Os procedimentos e especificação do sistema foram descritos por Rodriguez et al. (2007). Condições de termoneutralidade foram mantidas durante as mensurações, correspondendo a temperaturas médias de $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$. As determinações das PC foram realizadas nos animais entre 48 e 72h de jejum de sólidos (PC_j) e alimentados (PC_a) de acordo com o tratamento estabelecido (baixo, médio e alto ganho de peso). A produção de calor referente a cada animal foi determinada pela mensuração contínua do consumo de oxigênio (O_2), da produção de dióxido de carbono

(CO₂) e de metano (CH₄) durante um período de 22 a 23 horas, realizando-se extrapolação para um período de 24 horas. A calibração diária do equipamento durava entre 1 e 2h. Os volumes (L/dia) de oxigênio consumido, dióxido de carbono e metano produzidos e o nitrogênio urinário excretado (N_u, g/dia) foram utilizados para estimar a PC diária, conforme equação de Brower (1965): $PC = (3,866 \times VO_2) + (1,200 \times VCO_2) - (0,518 \times VCH_4) - (1,431 \times N_u)$. Os animais foram pesados antes e após a entrada na câmara respirométrica, e durante o jejum a cada 24 horas, iniciando-se no primeiro dia em que não se forneceu alimento.

A partição energética foi determinada subtraindo-se da energia bruta (EB) consumida as perdas energéticas oriundas das fezes, urina, metano e da produção de calor diária (PC). A quantificação da energia perdida na forma de metano foi realizada nos animais alimentados, assumindo-se a perda de 9,45 kcal/L CH₄ produzido (Brower, 1965). As concentrações de energia digestível (ED) e metabolizável da dieta (EM) (Mcal/kg MS) foram obtidas pela razão entre o consumo de energia e o consumo de matéria seca (MS) durante o ensaio de metabolismo. A metabolizabilidade (q) da dieta foi calculada pela relação entre a energia metabolizável e a energia bruta ingerida, conforme o AFRC (1993).

Processamento das amostras e análises laboratoriais

As amostras de oferecido, sobras e fezes foram descongeladas à temperatura ambiente e submetidas à pré-secagem a 55°C por 72 horas. Posteriormente foram moídas em moinho estacionário tipo Thomas-Willey, dotados de peneira com crivos de 5 mm, para confecção das amostras compostas. O período experimental foi dividido em 4 subperíodos, para os quais foram feitas as amostras compostas de oferecido e sobras (por animal). As amostras de fezes formaram uma amostra composta por animal. Cada amostra composta foi novamente moída em moinho estacionário dotado de peneira com crivos de 1 mm, sendo armazenada em frascos herméticos de polietileno para posteriores análises.

Foram determinados os teores de MS em estufa a 105°C (AOAC, 1980), matéria orgânica (MO) (AOAC, 1980), proteína bruta (PB) pelo método de Dumas em aparelho LECO FP - 428, energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995), fibra em detergente neutro (FDN) conforme Van Soest et al. (1991), em aparelho ANKOM²²⁰ com adição 500 µL/g MS da enzima

Termamyl 2X. Os carboidratos não fibrosos foram calculados conforme a equação: $100 - [(\%PB - \%PB \text{ da ureia} + \% \text{ de ureia}) + \%FDN + \%EE + \% \text{ cinzas}]$ (Hall, 2000). Os nutrientes digestíveis totais foram (NDT) calculados pela relação: $1 \text{ kg NDT} = 4,409 \text{ Mcal de ED}$, em que ED representa a energia digestível. As amostras de urina foram analisadas para determinação dos valores de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (AOAC, 1995) e EB, como descrito acima. As concentrações de creatinina para determinação do volume urinário foram determinadas em Laboratório especializado terceirizado utilizando-se *kits* comerciais (Labtest).

Cálculos e procedimentos estatísticos

A energia líquida de manutenção EL_m foi calculada como sendo o antilogaritmo do intercepto da regressão do logaritmo da PC em função do CEM. A energia metabolizável de manutenção (EM_m) foi obtida por método iterativo, em que a $PC = CEM$. A eficiência parcial de utilização da EM para manutenção (k_m) foi calculada como sendo a EL_m/EM_m (Lofgreen e Garret, 1968).

A energia retida foi obtida pela subtração da PC do CEM. A eficiência parcial de utilização da EM para ganho (k_g) foi calculada como o coeficiente de inclinação da regressão linear da energia retida (ER) em função do CEM.

Foram ajustadas equações de regressão entre a energia retida (ER) e o ganho diário de PV (GPV), para determinado PV metabólico ($\text{kg}^{0,75}$), utilizando-se o modelo: $ER = a \times PV^{0,75} \times GPV^b$, em que ER é a energia retida (ER, Mcal/PV^{0,75}/dia) e 'a' e 'b' são coeficientes da regressão.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, constituindo 3 tratamentos (baixo, médio e alto ganhos de peso) e 5 repetições, com cada animal representando uma parcela experimental, conforme o modelo estatístico: $Y_{ij} = M + T_i + e_{ij}$, em que: M = média geral; T_i = efeito dos tratamentos e e_{ij} = erro aleatório associado às observações.

Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o programa SAS (versão 9.1.3), admitindo-se 5,0% como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Quando verificada diferença estatística entre os tratamentos foi utilizado o teste Tukey para comparações das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os consumos de matéria seca (CMS) e energia metabolizável (CEM) diferiram entre os grupos avaliados ($P < 0,001$) e aumentaram do baixo para o alto plano nutricional. O ganho médio diário (GMD) seguiu a mesma tendência, apresentando valores de 0,32; 0,87 e 1,30 kg/dia, sendo que o tratamento alto ganho apresentou ganhos 1,5 e 4,0 vezes superiores ($P < 0,001$) aos grupos baixo e médio ganho, respectivamente. A eficiência alimentar (EA) não diferiu entre os tratamentos médio e alto ganhos (0,15 vs 0,16), entretanto estes últimos apresentaram valores superiores ao tratamento baixo ganho (0,08) (Tabela 2).

Tabela 2. Consumo e desempenho de bovinos machos F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais

| Item ¹ | Tratamento | | | EPM* | Valor de P |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------|-------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| CMS (g/kg PV ^{0,75}) | 55,0a | 75,0b | 96,5c | 3,64 | <0,001 |
| CEM (g/kg PV ^{0,75}) | 149,6a | 191,9b | 243,7c | 7,94 | <0,001 |
| GMD (kg/dia) | 0,32a | 0,86b | 1,29c | 0,11 | <0,001 |
| EA (kg PV/kg MS ing) | 0,08a | 0,15b | 0,16b | 0,011 | <0,001 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹CMS, consumo de MS; CEM, consumo de energia metabolizável; GMD, Ganho médio diário; EA, Eficiência Alimentar (Kg de ganho de peso/kg de MS ingerida).

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O consumo de O₂ (L/kg PV^{0,75}) dos animais, em estado de jejum e alimentados, não diferiu entre os grupos baixo e médio ganhos, apresentando valores médios de 22,25 e 30,35 L/kg PV^{0,75}, que representam um aumento de 36,4 % no consumo de O₂ em função da ingestão de alimento. O tratamento alto ganho apresentou os maiores ($P < 0,001$) consumos de O₂, com valores de 26,77 e 39,03 L/kg PV^{0,75} para os animais em estado de jejum e alimentados, respectivamente. A produção de CO₂, de maneira semelhante ao consumo de O₂, foi maior para os animais em consumo *ad libitum*, os quais apresentaram produções 21,2 e 37,6% superiores ($P < 0,001$) aos animais do grupo baixo ganho, quando em estado de jejum e alimentados, respectivamente (Tabela 3).

Os quocientes respiratórios (QR) obtidos para os animais em estado de jejum (QR_j) e alimentado (QR_a) não diferiram ($P > 0,05$) entre os grupos avaliados. O QR_j variou de um valor mínimo de 0,68 a um valor máximo de 0,73 e apresentou valor médio de 0,70 para os tratamentos avaliados. Os valores médios do QR_a variaram de 0,88 a 0,92, com valor médio de 0,90.

A produção de calor em jejum (PC_j) foi maior ($P < 0,001$) para o grupo alto ganho (133,3 Kcal/kg PV^{0,75}) em comparação aos grupos baixo e médio ganhos (112,1 e 107,9, respectivamente), entre os quais a PC_j não diferiu. A produção de calor alimentado (PC_a), que equivale à PC diária, foi 23,7 e 29,0% maior para o grupo alto ganho, em comparação aos grupos médio e baixo ganhos, respectivamente (Tabela 3).

Os menores consumos de O₂ e produções de CO₂ ocorridos com a redução da ingestão estão de acordo com os resultados obtidos por Ferrel e Koong (1987), os quais indicaram que as taxas de consumo de oxigênio de órgãos como fígado e rins, por grama de tecido ou em função de sua massa, diminuíram em resposta à alimentação em nível de manutenção. Segundo Baldwin et al. (1980) as funções desempenhadas por órgãos como pulmões, coração, sistema nervoso, fígado e rins somadas podem responder por 36 a 50% da energia basal requerida. O efeito do plano de nutrição sobre o metabolismo de manutenção tem sido associado a variações na taxa metabólica tecidual. As causas dessas variações estão associadas a alterações nas taxas e custos energéticos do fluxo sanguíneo, da entrada de oxigênio no fígado e na transferência de nutrientes do lúmen intestinal (CSIRO, 2007).

O histórico nutricional e o estado fisiológico influenciam as proporções relativas corporais de órgãos abdominais metabolicamente ativos, como o trato gastrointestinal, pâncreas, fígado e rins (Koong et al., 1982; Baldwin e Bywater, 1984) e a taxa metabólica basal parece variar em paralelo com essas mudanças, uma vez que a taxa metabólica desses órgãos é sempre elevada e, deste modo, quando estes constituem uma porção aumentada do peso corporal, toda taxa metabólica por unidade de tamanho corporal é aumentada (Milligan e Summers, 1986).

O efeito do plano nutricional sobre a produção de calor em jejum foi reportado em alguns estudos (Anderson, 1980; Ferrel et al., 1986; Birkelo et al., 1991). Birkelo et al. (1991) demonstraram que a PC_j aumentou 6,8% para cada nível de alimentação múltiplo da manutenção. Andersen (1980) relatou que a PC_j de novilhos Red Danish dobrou quando o nível de alimentação aumentou de 55% para 100% da ingestão dos animais *ad*

libitum. Segundo Ferrel et al. (1986) a PC_j aumentou linearmente ($P < 0,05$) com o aumento do plano nutricional e variou de 69,3 a 98,5 Kcal/kg $PV^{0,75}$ do baixo para o alto plano nutricional, representando uma variação de 42,1% nas exigências de energia líquida para manutenção.

Williams e Jenkins (2003) relataram que a ingestão de EM acima da exigência para manutenção está associada com a elevação das funções vitais, ou seja, o metabolismo basal, e que a PC é impulsionada pela proporção de EM ingerida. Uma vez que a redução da massa visceral e a PC são influenciadas pelo plano nutricional, notadamente espera-se que animais em restrição possuam uma menor exigência de manutenção. Armstrong e Blaxter (1984) propuseram que o aumento do gasto energético que ocorre quando o plano de nutrição é aumentado para atingir um determinado nível de produção é causado pelo estado produtivo e, portanto, deveria ser computado em relação ao processo produtivo.

Corroborando com as alusões dos autores supracitados, observou-se, no atual estudo, aumento linear ($P < 0,001$) da PC_j com o aumento da ingestão de MS. Os elevados valores encontrados (107,9 a 133,3 Kcal/kg $PV^{0,75}$) devem ser observados com cautela, uma vez que durante as mensurações da PC_j , os animais, mesmo em estados produtivos, deveriam ter sido alimentados por um período mínimo de 21 dias ao nível de manutenção antes das mensurações respirométricas (PC_j), em que o animal deveria apresentar manutenção do peso corporal ou mesmo ganhos de peso mínimos (CSIRO, 2007). Entretanto, em se tratando de um experimento em conjunto de respirometria calorimétrica e abates comparativo, houve alteração da metodologia relacionada acima. Apesar disso, os maiores valores observados de PC_j para os maiores níveis de alimentação, refletem o aumento nas exigências de energia em função do estado produtivo em que o animal se encontra. Computar o quanto deste aumento deve-se a manutenção ou ao ganho torna-se uma questão de semântica, como o próprio ARC (1980) relata, uma vez que a relação curvilínea entre a ER e a ingestão de alimento pode ser explicada considerando-se um decréscimo na eficiência de utilização do alimento fornecido acima de uma manutenção constante ou considerando-se uma eficiência constante e um progressivo aumento nos componentes análogos à manutenção.

O animal em manutenção gasta energia em atividades como ingestão e digestão de alimentos, custos esses que não ocorrem durante o estado de jejum imposto para mensurar a exigência de energia líquida de manutenção (EL_m). Conforme Webster (1980)

os gastos energéticos combinados da ingestão e digestão de alimentos representam de 24 a 41% no aumento na produção de calor em animais em balanço energético acima daquele durante o estado de jejum. Aludindo aos resultados obtidos, evidenciou-se que os aumentos ocorridos na PC em função da ingestão e digestão de alimentos corresponderam a 36,8; 37,4 e 43,0% para os tratamentos baixo, médio e alto ganhos, respectivamente. Estes valores estão contidos na variação encontrada por Webster (1980), citada acima.

Tabela 3. Trocas gasosas, quociente respiratório e produção de calor em bovinos machos F1 Holandês x Gir em jejum e alimentados, sob diferentes planos nutricionais

| Item ¹ | Tratamento | | | EPM* | Valor de P |
|---|-------------|-------------|------------|-------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| Jejum | | | | | |
| Consumo de O ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 21,97a | 22,52a | 26,77b | 0,68 | <0,001 |
| Produção de CO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 15,49a | 15,84a | 18,78b | 0,46 | <0,001 |
| QR _j (Produção CO ₂ /Consumo O ₂) | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,004 | >0,05 |
| PC _j (Kcal/kg PV ^{0,75}) | 107,9a | 112,1a | 133,3b | 3,47 | <0,001 |
| Alimentado | | | | | |
| Consumo de O ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 29,36a | 31,35a | 39,03b | 1,21 | <0,001 |
| Produção de CO ₂ (L/kg PV ^{0,75}) | 25,75a | 28,76a | 35,42b | 1,19 | <0,001 |
| QR _a (Produção CO ₂ /Consumo O ₂) | 0,88 | 0,92 | 0,91 | 0,01 | >0,05 |
| PC _a (Kcal/kg PV ^{0,75}) | 147,6a | 154,0a | 190,5b | 5,74 | <0,001 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹O₂, gás oxigênio; CO₂, dióxido de carbono; QR_j, quociente respiratório em animais em jejum; QR_a, quociente respiratório em animais alimentados; PC_j, produção de calor em jejum; PC_a, produção de calor alimentado.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O consumo de energia bruta aumentou linearmente (P<0,001) com o CMS, apresentando valores médios máximos de 33,62 Mcal/dia para o grupo alto ganho e valores mínimos de 17,24 Mcal/dia para o grupo baixo ganho. Com o aumento do CMS houve aumento da perda de EB fecal, sendo que o grupo alto ganho apresentou perdas diárias (Mcal/dia) 2,3 e 1,5 vezes maiores que os grupos baixo e médio ganhos, respectivamente (Tabela 4).

Além da maior produção fecal obtida para o grupo alto ganho (2,38 kg MS/dia) em comparação aos grupos baixo ganho (1,07 kg MS/dia) e médio ganhos (1,68 kg MS/dia), outro fator que contribuiu para a maior perda energética fecal foi a maior ($P<0,001$) concentração de EB nas fezes apresentada por este grupo (4,38 Mcal/kg MS) em relação aos demais (4,08 e 4,13 Mcal/kg MS, respectivamente).

Quando avaliada em percentagem da EB consumida (%CEB), as perdas fecais diferiram entre o grupo alto e baixo ganhos (31,0 vs 25,4%), com o grupo médio ganho apresentando valores intermediários a estes dois últimos (28,0%).

O consumo de energia digestível (CED), reflexo das perdas energéticas fecais, comportou-se de forma semelhante ao CEB, aumentando linearmente ($P<0,001$) com o CMS. As perdas de EB na urina (Mcal/dia) aumentaram ($P<0,001$) do tratamento baixo para o tratamento alto ganho (0,67 a 1,51 Mcal/dia), enquanto que quando verificadas em %CEB não houve diferença entre os tratamentos ($P=0,06$), obtendo-se um valor médio de 4,54%.

De maneira similar, maiores perdas de EB na forma de metano (Mcal/dia), resultantes de maiores produções diárias desse gás, foram obtidas ($P<0,001$) para os níveis mais altos de alimentação, com o grupo baixo ganho resultando em menores (0,94 Mcal/dia) e o grupo alto ganho (1,67 Mcal/dia) em maiores perdas diárias, enquanto o tratamento médio ganho resultou em valores intermediários (1,37 Mcal/dia) a estes dois últimos. Não houve diferença ($P=0,116$) para perdas relativas ao metano em percentagem da EB consumida, com valor médio de 5,31% (Tabela 4).

O consumo de energia metabolizável (CEM) aumentou linearmente ($P<0,001$) com o CMS. O CEM foi superior ($P<0,001$) para os animais do grupo alto ganho de peso, em função da maior ingestão de MS (87,6 g/kg PV^{0,75}) em relação aos grupos baixo (55,1 g/kg PV^{0,75}) e médio ganhos (69,6 g/kg PV^{0,75}) (Tabela 2).

A metabolizabilidade da dieta (q) diferiu entre os tratamentos avaliados, sendo superior ($P<0,001$) para o mais baixo nível de alimentação e semelhante entre os níveis médio e alto ganhos de peso. As relações EM/ED foram elevadas, resultando em valores médios acima de 0,85. A produção de calor diária (PC) em Mcal/dia aumentou ($P<0,001$) com os níveis de alimentação, enquanto que em função da percentagem da EB consumida o comportamento foi inverso, tendendo a decrescer ($P<0,01$) como o aumento da ingestão. Isto se deve ao fato de que animais alimentados em níveis de produção tenderão a utilizar uma menor fração do consumo de EM para manutenção, e disporão de

uma maior quantidade de EM disponível para a produção em comparação a animais mantidos em restrição alimentar, em que a maior fração da EM consumida será utilizada para manutenção.

O balanço energético (BE) ou energia retida (ER) aumentou linearmente ($P < 0,001$) com o consumo de EM, resultando em retenções de 4,18 a 13,88% da EB ingerida quando o nível de alimentação aumentou do baixo para o alto ganho. Uma vez que a ER é calculada pela diferença entre o CEM e a PC, altos níveis de ingestão resultaram em maiores valores de ER, reflexo da maior quantidade de EM disponível acima das exigências de manutenção. Para o tratamento alto ganho observaram-se retenções de energia 1,5 vezes superiores ao tratamento médio ganho, enquanto que este último apresentou superioridade de 4,4 vezes em relação ao grupo baixo ganho.

De acordo com Van Soest (1994) as perdas de energia pela urina são relativamente constantes e podem variar de 3 a 5% da EB ingerida, enquanto as perdas pela produção de metano encontram-se entre 5 e 12% da EB consumida (CEB), valores condizentes com os resultados obtidos. Para animais de corte em consumo *ad libitum*, Johnson e Johnson (1995) relataram valores comumente observados para perdas por metano de 3,5 a 6,5% do CEB. Os resultados obtidos nesse estudo para perdas energéticas por metano (4,95 a 5,55% do CEB) e urina (3,91 a 5,18% do CEB) estão de acordo com os autores supracitados.

Wolin e Miller (1988) citam dois mecanismos principais responsáveis pela grande variação nas perdas energéticas por metano pelos ruminantes. O primeiro é a quantidade de carboidrato da dieta fermentada no retículo-rúmen, que possui várias interações entre dieta-animal que afetam as taxas de fermentação e passagem dos carboidratos. O segundo mecanismo regula o suprimento de hidrogênio disponível e subsequente produção de metano através da taxa de produção de ácidos graxos voláteis, principalmente a relação de ácido propiônico/ácido acético produzidos, que possui maior impacto na produção de metano. Uma vez que esta relação fosse 0,5, as perdas na forma de metano seriam nulas. Entretanto, se todos os carboidratos fossem fermentados a ácido acético e não fosse produzido ácido propiônico, a perda energética por metano atingiria o patamar de 33%.

A excreção urinária de energia está intimamente associada com a excreção urinária de nitrogênio, e reflete uma grande variação em função dos componentes nitrogenados e não nitrogenados presentes na urina. Aminoácidos (33,5 Kcal/g) e creatinina (13,4

Kcal/g) possuem maior conteúdo energético que a ureia (5,4 Kcal/g), a qual representa 80 a 90% do N urinário (Hawk, 1965 citado por Birkett e Lange, 2001). Deste modo a excreção urinária de compostos que não sejam ureia ocasiona maiores perdas energéticas.

O decréscimo da metabolizabilidade (q) da dieta em decorrência do aumento do nível de ingestão está mais intimamente relacionado ao aumento na taxa de passagem, que reduz a digestibilidade da dieta e aumenta as perdas fecais, do que às reduções ocorridas nas perdas energéticas por metano e urina (Geay, 1984). Esta afirmação ratifica os resultados obtidos, visto que não houve diferenças nas perdas de energia (%CEB) na urina e por metano entre os diferentes planos nutricionais, sendo que a perda energética fecal foi a principal responsável pela diferença na metabolizabilidade das dietas entre os grupos baixo e alto ganhos.

O ARC (1980) relata que a relação EM/ED é de aproximadamente 0,82. O CSIRO (1990) e o NRC (2000) sugerem que esta relação é de 0,81 e 0,80, respectivamente. Estes valores são inferiores aos obtidos neste estudo, os quais se encontram dentro da variação reportada pelo AFRC (1993), de 0,81 a 0,86. Relações mais elevadas, de 0,89 a 0,92, foram encontradas por Hales et al. (2013) ao avaliarem o efeito da inclusão de alfafa (2 a 14% da MS) em dietas de novilhos em terminação à base de milho laminado (57 a 69% da MS) e grãos úmidos de destilaria (25% da MS).

A ingestão de energia metabolizável dos animais do grupo alto ganho (20,03 Mcal/dia) foi próxima àquela recomendada pelo BR-CORTE (2010) (19,5 Mcal/dia) para zebuínos cruzados, machos inteiros, com PV médio de 350 kg e ganho de 1,25 kg PV/dia.

Hales et al. (2013) relataram PC semelhantes, variando de 46,85 a 52,66% do CEB para novilhos MARC II (¼ Simmental, ¼ Angus, ¼ Hereford e ¼ Gelbvieh) em consumo *ad libitum* e retenções de energia mais elevadas, de 12,84 a 24,20% do CEB, uma vez que os animais foram alimentados com dietas de terminação com elevadas proporções de grãos. Nkrumah et al. (2006), utilizando novilhos de corte resultantes de cruzamentos entre raças continentais e britânicas, alimentados com dietas de terminação, reportaram valores de ER (%CEB) ainda mais elevados, de 19,58 a 34,85%.

Tabela 4. Balanço energético de bovinos machos F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais

| Item ¹ | Tratamento | | | EPM* | Valor de P |
|----------------------|-------------|-------------|------------|-------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| CEB (Mcal/dia) | 17,24a | 24,69b | 33,62c | 1,81 | <0,0001 |
| EB Fecal (Mcal/dia) | 4,38a | 6,91b | 10,42c | 0,68 | <0,0001 |
| EB Fecal (%CEB) | 25,40a | 28,00ab | 31,00b | 0,75 | 0,002 |
| CED (Mcal/dia) | 12,86a | 17,77b | 23,20c | 1,15 | <0,0001 |
| EB Urina (Mcal/dia) | 0,67a | 1,28b | 1,51b | 0,10 | <0,0001 |
| EB Urina (%CEB) | 3,91 | 5,18 | 4,49 | 0,23 | 0,063 |
| EB Metano (Mcal/dia) | 0,94a | 1,37b | 1,67c | 0,08 | <0,0001 |
| EB Metano (%CEB) | 5,42 | 5,55 | 4,95 | 0,12 | 0,116 |
| CEM (Mcal/dia) | 11,25a | 15,12b | 20,03c | 0,98 | <0,0001 |
| q (EM/EB) | 0,65a | 0,61b | 0,60b | 0,01 | <0,0001 |
| EM/ED | 0,87a | 0,85b | 0,86ab | 0,004 | 0,013 |
| PC (Mcal/dia) | 10,53a | 11,96b | 15,36c | 0,61 | <0,0001 |
| PC (%CEB) | 61,07a | 48,46b | 45,69b | 1,87 | <0,0001 |
| BE (Mcal/dia) | 0,72a | 3,16b | 4,67c | 0,45 | <0,0001 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹CEB, consumo de energia bruta (EB); CED, consumo de energia digestível; CEM, consumo de energia metabolizável; q, metabolizabilidade da dieta; PC, produção de calor diária; BE, balanço energético.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram verificadas diferenças significativas para a EB (P<0,001), ED (P=0,009), EM (P=0,002) e energia líquida de manutenção das dietas (EL_m) (P=0,002). A diferença na EB das dietas deve-se a uma maior proporção de matéria mineral nas dietas dos tratamentos baixo e médio ganho (76,81 g/kg) em relação à dieta alto ganho (56,46 g/kg), fato que resultou em aumento mínimo de 1,65% na concentração de EB da dieta para esta última (Tabela 5).

A ED da dieta foi 6,28% maior (P=0,009) para o grupo baixo em relação ao alto ganho de peso, entretanto não houve diferença entre o grupo médio ganho e os demais tratamentos. A EM da dieta foi semelhante para os tratamentos médio e alto ganhos e superior (P=0,03) para o tratamento baixo ganho, representando um aumento de 7,1% em relação àquelas primeiras. De forma semelhante, para a EL_m obteve-se valor 7,2% superior para a dieta do grupo baixo ganho em comparação às demais.

A energia líquida de ganho da dieta (EL_g) variou de 0,96 para o tratamento alto ganho a 1,15 Mcal/kg MS para o tratamento baixo ganho, entretanto devido a um alto desvio padrão obtido (0,35 Mcal/kg MS) não se verificaram diferenças significativas ($P>0,10$) entre os tratamentos, obtendo-se um valor médio de 1,05 Mcal/kg MS.

O ARC (1980) reporta um valor médio de EB de alimentos para ruminantes de 4,40 Mcal/kg MS. Entretanto, o AFRC (1993) relata que silagens de gramíneas possuem maiores teores de EB (4,54 Mcal/kg MS) e que dietas mistas apresentam valores de EB variando de 4,40 a 4,49 Mcal/kg MS. Como as silagens de gramíneas são predominantes na maioria das dietas de ruminantes, o AFRC (1993) sugere utilizar o valor médio de 4,49 Mcal/kg MS para descrever a EB destas dietas.

Veras et al. (2001), utilizando dietas com concentrações de EM oscilando de 2,11 a 2,59 Mcal/kg MS, encontraram valores de EL_m e EL_g que variaram de 1,19 a 1,46 e 0,95 a 1,63 Mcal/kg MS, respectivamente. Para dietas com valores de EM próximas às reportadas neste estudo para o grupo em consumo *ad libitum* (2,51 Mcal/kg MS), os autores obtiveram valores inferiores para EL_m (1,42 Mcal/kg MS) e superiores para EL_g (1,09 Mcal/kg MS). Tais diferenças são provavelmente devidas aos maiores valores encontrados por esses autores para a PC_j (82,79 Kcal/kg $PCV^{0,75}$) e EM_m (147,0 Kcal/kg $PCV^{0,75}$), que são utilizados para calcular a EL_m e EL_g da dieta.

Para dietas com teor de EM de 2,60 Mcal/kg MS, o NRC (1984) estima as concentrações de EL_m e EL_g em 1,69 e 1,08 Mcal/kg MS, respectivamente.

Tabela 5. Concentração energética da dieta experimental para bovinos machos F1 Holandês x Gir

| Item | Tratamento | | | Média | EPM* | Valor de P |
|--------|-------------|-------------|------------|-------|------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | | |
| | Mcal/kg MS | | | | | |
| EB | 4,17a | 4,17a | 4,24b | 4,20 | 0,01 | <0,001 |
| ED | 3,11a | 3,01ab | 2,93b | 3,02 | 0,03 | 0,009 |
| EM | 2,72a | 2,56b | 2,53b | 2,60 | 0,03 | 0,002 |
| EL_m | 1,63a | 1,53b | 1,51b | 1,55 | 0,02 | 0,002 |
| EL_g | 1,15 | 1,04 | 0,96 | 1,05 | 0,08 | >0,05 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹EB, energia bruta; ED, energia digestível; EM, energia metabolizável; EL_m , energia líquida de manutenção; EL_g , energia líquida de ganho.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 1 está demonstrada a equação de regressão linear ($P < 0,001$, $R^2 = 0,87$) obtida pelo logaritmo da produção de calor (PC) em função do CEM. A exigência de energia líquida de manutenção (EL_m) foi obtida pelo antilogaritmo do intercepto (1,8728) da referida equação, resultando no valor de 74,61 Kcal/kg $PV^{0,75}$. A exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m) foi calculada pelo método iterativo, em que a EM_m representa o ponto no qual o CEM iguala-se à PC, resultando no valor de 125 Kcal/kg $PV^{0,75}$. Deste modo, ao se calcular a eficiência de utilização da EM para manutenção (k_m) pela relação EL_m/EM_m , obteve-se o valor de 0,60.

Resultados obtidos na literatura nacional reportam valores para EL_m entre 69,3 a 82,8 Kcal/kg $PCVZ^{0,75}$ para animais zebuínos puros ou cruzados, machos não castrados (Paulino et al., 2002; Tedeschi et al., 2002; Veloso et al., 2002; Veras et al., 2001; Chizzotti et al., 2008; Moraes et al., 2009; Marcondes et al., 2011; Rotta et al., 2013). Para valores de EM_m a variação observada foi de 108,8 a 147,8 Kcal/kg $PCVZ^{0,75}$, ao passo que para k_m os valores oscilaram de 0,56 a 0,70. Apesar das diferentes unidades apresentadas (PV vs PCVZ), os valores obtidos para EL_m , EM_m , bem como para k_m estão contidos na variação reportada na literatura nacional.

Conforme o CSIRO (2007), fatores como sexo, raça, idade e ambiente podem afetar a K_m . Garrett (1980) relata que fatores como nível de ingestão de EM, nível de fibra na dieta, bem como quantidade de ácidos graxos absorvidos e *turnover* proteico podem influenciar a K_m . Por sua vez, Marcondes et al. (2010) verificaram que a eficiência de utilização da EM para ganho (k_g) e o ganho de peso de corpo vazio (GPCVZ) podem causar alterações na k_m .

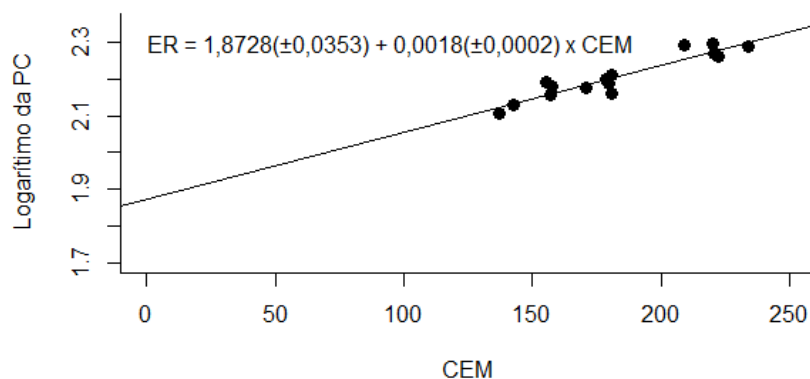


Figura 1. Logaritmo da produção de calor (PC) em função do consumo de energia metabolizável (CEM) (Kcal/kg PV^{0,75}/dia) de bovinos machos F1 Holandês x Gir

A eficiência de utilização da EM para ganho de peso foi obtida pela regressão linear da energia retida (ER) em função do CEM, a qual representa o coeficiente de inclinação da equação de regressão ($P < 0,001$, $R^2 = 0,72$), resultando no valor de 0,34 para eficiência de ganho (k_g) (Figura 2). Adicionalmente, calculou-se a EM_m , por meio desta equação, em que a EM_m representa o valor no qual a ER é nula. Deste modo encontrou-se o valor de 120 Kcal/kg PV^{0,75}, próximo ao valor de 125 Kcal/kg PV^{0,75} obtido pelo método iterativo entre o logaritmo da PC em função do CEM.

Valadares Filho et al. (2006) determinaram valores de k_g de 0,35 para dietas com baixa proporção de concentrado (abaixo de 50%) e de 0,47 para dietas em que a proporção de concentrado foi superior a 50%. A análise conjunta dos dados com todas as dietas resultou no valor aproximado de 0,38 para a k_g . Tendo em vista que a proporção de concentrado utilizada neste estudo foi de 42%, o valor de 0,34 obtido para a k_g está coerente com os resultados reportados pelos autores referidos acima.

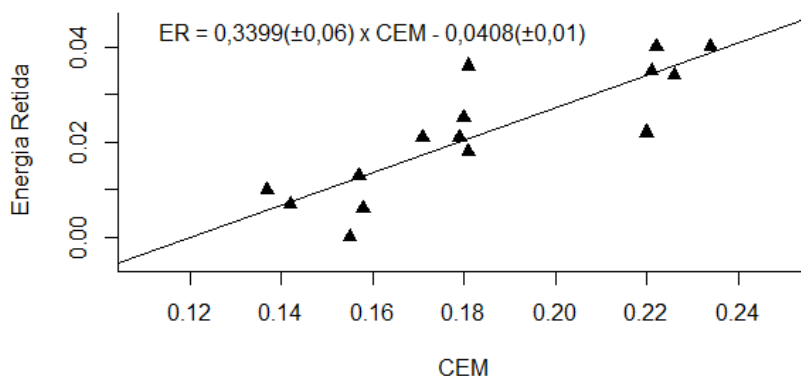


Figura 2. Energia retida (ER) (Mcal/kg PV^{0,75}/dia) em função do consumo de energia metabolizável (CEM) (Mcal/kg PV^{0,75}/dia) de bovinos machos F1 Holandês x Gir

A seguinte equação foi obtida para calcular a exigência de energia líquida para ganho de peso (EL_g): $ER = 0,03508 \times PV^{0,75} \times GPV^{1,3414}$ ($R^2 = 0,76$), em que ER representa a energia retida; PV o peso vivo e GPV o ganho de peso vivo. As exigências de energia metabolizável para manutenção e ganho de peso podem ser visualizadas na Tabela 5.

A exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m) aumentou 35,5% (8,96 a 12,15 Mcal/dia), enquanto o peso corporal do animal aumentou 50,0% (300 a 450 kg PV), demonstrando que o custo energético para manutenção de um animal com menor massa corporal é relativamente maior devido a maior atividade metabólica e relação área/volume corporal que influenciam a produção de calor, e conseqüentemente, a energia gasta pelo animal. Adicionalmente, conforme Reynolds, et al. (1992), a relação entre trato gastrointestinal e fígado/peso corporal decresce com o aumento do peso vivo, sendo estes órgãos responsáveis por 40 a 45% do metabolismo energético de um bovino em condições normais de alimentação, contribuindo, assim, para a redução relativa da exigência de manutenção com o aumento do peso corporal.

Levando-se em consideração as exigências de EM totais para um bovino de 400 kg de peso corporal com ganho de peso vivo de 1 kg/dia, Freitas et al. (2006) relataram valores de 21,1 Mcal/dia para animais machos inteiros ½ Nelore x ½ Pardo Suíço e ½ Nelore x ½ Simental. Marcondes et al. (2011), utilizando animais machos castrados ½ Nelore x ½ Simental, reportaram valores de 19,80 Mcal/dia. Para zebuínos inteiros cruzados o BR-CORTE (2010) recomendam valores de 18,79 Mcal/dia. Os valores

obtidos neste estudo, de 20,37 Mcal/dia (Tabela 6), se aproximam dos resultados encontrados para animais mestiços leiteiros, demonstrando maiores exigências de EM totais em comparação a animais zebuínos puros e cruzados de corte.

Tabela 6. Exigências de energia metabolizável (Mcal/dia) para manutenção e ganho de peso vivo em bovinos machos F1 Holandês x Gir

| Ganho de peso (kg/dia) | Peso Corporal | | | |
|---------------------------|---------------|-------|-------|-------|
| | 300 | 350 | 400 | 450 |
| | Manutenção | | | |
| 0,00 | 8,96 | 10,06 | 11,12 | 12,15 |
| | Ganho | | | |
| 0,25 | 1,16 | 1,30 | 1,44 | 1,57 |
| 0,50 | 2,94 | 3,30 | 3,65 | 3,99 |
| 0,75 | 5,07 | 5,69 | 6,29 | 6,87 |
| 1,00 | 7,45 | 8,37 | 9,25 | 10,10 |

A produção de metano diária (g/dia) diferiu entre os grupos avaliados, com o tratamento alto ganho apresentando produções 27,13 e 76,31% superiores aos tratamentos médio e baixo ganhos, respectivamente (Tabela 7).

Quando representada em relação à matéria seca ingerida (g/kg MS_{ing}) e digerida (g/kg MS_{dig}) as produções foram semelhantes, obtendo-se valores médios de 16,73 g/kg MS_{ing} e 23,65 g/kg MS_{dig}. Expressa em g/kg MO_{ing} e g/kg MO_{dig} o tratamento alto ganho apresentou produções 21,11 e 16,83% inferiores ao grupo médio ganho, respectivamente. Ao passo que em função da FDN consumida (g/kg MO_{ing}) a produção de metano para o grupo médio ganho não diferiu do grupo baixo ganho e foi 14,48% superior (P=0,036) ao grupo alto ganho. Não houve diferença entre os tratamentos para a produção de metano expressa em relação à FDN digerida (g/kg FDN_{dig}), perfazendo o valor médio de 78,71 g/kg FDN_{dig}.

A produção de metano em g/kg GPV decresceu linearmente (P<0,001) com o aumento do ganho de PV. O grupo alto ganho apresentou produção 2,3 vezes inferior ao tratamento baixo ganho e não diferiu do grupo médio ganho (Tabela 7).

Beauchemin e McGinn (2006) conduziram um estudo para verificar o efeito do nível de alimentação e da suplementação com grãos sobre a redução nas emissões de metano. Foram utilizadas novilhas Angus alimentadas com dietas à base de silagem de cevada

na proporção de 30 ou 70% da MS suplementadas com concentrado à base de milho em proporções inversas 70 ou 30% da MS, em nível de alimentação *ad libitum* ou restrita (65% do consumo *ad libitum*). Os autores relataram menores ($P < 0,001$) produções diárias de metano para os animais em restrição (114 g/dia) em relação aos animais em consumo livre (165 g/dia). Quando expresso em função do consumo de MS, não se verificaram diferenças entre os níveis de alimentação (21,1 vs 20,5 g CH₄/kg MS ingerida).

Doreau et al. (2011) avaliaram a produção de metano por touros Blond d'Aquitaine, com PV médio de 417 kg, recebendo dietas à base de feno de gramíneas (49% feno, 41% grão de milho e 10% farelo de soja), silagem de milho (63% silagem, 21% grão de milho e 16% farelo de soja) ou milho moído (70% grão de milho, 14% palha de trigo e 16% farelo de soja) e obtiveram produções de metano de 133,4; 152,3 e 62,3 g/dia para as respectivas dietas.

Para dieta à base de silagem encontraram valores de produções de 22,6 g/kg MS_{ing}, 23,7 g/kg MO_{ing}, 72,3 g/kg FDN_{ing}. Quando se relacionaram as produções em função dos nutrientes digeridos, reportaram valores 31,5 g/kg MS_{dig}, 32,5 g/kg MO_{dig} e 152,0 g/kg FDN_{dig}. Tendo em vista a proximidade das relações forragem:concentrado e as semelhanças nas digestibilidades da MS e nutrientes da dieta, as maiores produções observadas pelos autores podem estar relacionadas à diferença na ingestão de MS e nas técnicas utilizadas para mensurar a produção de metano, uma vez que foi utilizada a técnica do gás traçador inerte (hexafluoreto de enxofre, SF₆), enquanto neste estudo se utilizou a técnica respirométrica. Alguns trabalhos têm demonstrado produções de metano bastante superiores para a técnica do SF₆ comparada à técnica respirométrica (Ulyatt et al., 1999; Fredeen et al., 2004; Pinares-Patiño et al., 2008; Pinares-Patiño et al., 2011).

Diversos estudos demonstraram que aumentando a produtividade animal há uma redução na proporção de metano produzido por unidade de produto, corroborando com os resultados obtidos neste estudo (Johnson et al., 1996; Beauchemin et al., 2008; Pinares-Patiño et al., 2009; Clark, 2013). Segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana, aumentar a produtividade da pecuária para se conseguir menores emissões de metano por unidade de produto é a maneira mais promissora e rentável para redução das emissões (EPA, 2005). Resultados próximos aos obtidos para emissões de metano em função do ganho de peso vivo foram obtidos por Doreau et al. (2011) para

bovinos machos inteiros Blond d'Aquitaine alimentados *ad libitum* com dieta a base de 63% de silagem de milho e 37% de concentrado, com valor de 89,1 g/kg GPV.

Tabela 7. Produção de metano por bovinos machos F1 Holandês x Gir alimentados com dieta à base de silagem de milho e concentrado

| Item ¹ | Tratamento | | | EPM* | Valor de P |
|-------------------------|-------------|-------------|------------|------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho | | |
| g/dia | 71,81a | 99,59b | 126,61c | 6,30 | <0,0001 |
| g/kg MS _{ing} | 17,19 | 17,55 | 15,45 | 0,38 | 0,069 |
| g/kg MO _{ing} | 19,29a | 19,72a | 16,28b | 0,48 | 0,004 |
| g/kg FDN _{ing} | 46,77ab | 47,74a | 41,70b | 1,02 | 0,036 |
| g/kg MS _{dig} | 23,36 | 24,66 | 22,95 | 0,51 | >0,05 |
| g/kg MO _{dig} | 25,41ab | 26,92a | 23,04b | 0,60 | 0,030 |
| g/kg FDN _{dig} | 78,88 | 82,24 | 75,01 | 1,87 | >0,05 |
| g/kg GPV | 213,73a | 115,14b | 93,23b | 15,9 | <0,0001 |

*Erro padrão da média, n = 15.

¹MS_{ing}, matéria seca ingerida; MO_{ing}, matéria orgânica ingerida; FDN_{ing}, fibra insolúvel em detergente neutro ingerida; MS_{dig}, matéria seca digerida; MO_{dig}, matéria orgânica digerida; FDN_{dig}, fibra insolúvel em detergente neutro digerida; GPV, ganho de peso vivo.

*Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na figura 3, expressou-se a produção de metano (%CEB) em função do consumo de EM relativo à exigência de manutenção (EM_m) estimada pela regressão entre o logaritmo da PC e o CEM, a fim de reduzir algumas variações observadas em determinados consumos individuais. Correlações moderadas foram obtidas (- 0,49; P = 0,03), demonstrando que o nível de ingestão relativo à manutenção foi inversamente relacionado à produção de metano. O aumento da ingestão em uma unidade acima da manutenção resultou em decréscimo de 0,73 unidades percentuais na produção de metano (%CEB). Esta redução é inferior àquela proposta por Johnson e Johnson (1995), os quais relataram que com aumento da ingestão em um nível acima da manutenção as perdas de metano (%CEB) são reduzidas em 1,6 unidades percentuais. Beauchemin e McGinn (2006) reportaram reduções semelhantes às encontradas neste estudo, de 0,77 unidades percentuais por múltiplo da manutenção.

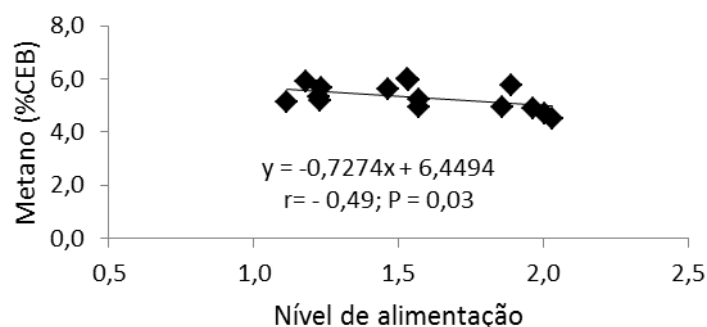


Figura 3. Relação entre o nível de ingestão acima das exigências manutenção e emissão de metano, expresso em percentagem do consumo de energia bruta (%CEB).

O declínio na produção de metano com o aumento da ingestão baseia-se no princípio de que o tempo de retenção do alimento no rúmen decresce com elevações no consumo (Galyean e Owens, 1991). Conforme Beauchemin e McGinn (2006), ao avaliar parâmetros ruminais, animais em consumo *ad libitum* em comparação a animais em restrição (65% do consumo *ad libitum*) tiveram menores ($P = 0,004$) relações acetato/propionato em função da redução ($P = 0,03$) das proporções molares de acetato (59,1 vs 64,9 mmol/100 mol). A redução na produção de acetato desvia a hexose para produção de propionato e butirato, reduzindo a disponibilidade de equivalentes redutores para a produção de metano (Armentano e Young, 1983). Este fato corrobora com as reduções na produção de metano (%CEB) em animais em consumo *ad libitum*.

CONCLUSÕES

Existe efeito do nível de alimentação no consumo de oxigênio, na produção de dióxido de carbono e na produção de calor alimentado e em jejum.

A exigência de energia líquida para manutenção de animais Holandês x Gir, machos inteiros é de 74,61 Kcal/kg $PV^{0,75}$ e a de energia metabolizável para manutenção é de 125 Kcal/kg $PV^{0,75}$.

As eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção e ganho de peso foram 0,60 e 0,34, respectivamente.

As produções diárias de metano aumentaram com o nível de ingestão e as perdas diárias representaram 5,31% do consumo de energia bruta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). *The nutrient requirements of ruminant livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1980, 351p.

ANDERSEN, B. B. Feeding trials describing net requirements for maintenance as dependent on weight, feeding level, sex and genotype. *Ann. Zootec.*, v. 29, p. 85-92, 1980.

ARMENTANO, L. E.; YOUNG, J. W. Production and metabolism of volatile fatty acids, glucose and CO₂ in steers and the effects of monensin on fatty acid kinetics. *J. Nutr.*, v. 113, p. 1265-1277, 1983.

ARMSTRONG, D. G.; BLAXTER, K. L. Maintenance requirement: Implications for its use in feed evaluation systems. In: GLICHRIST, F. M. C.; MACKIE, R. I. (Ed.) *Herbivore nutrition in the subtropics and tropics*. The Science Press LTD Craighall: South Africa. 1984.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 13th Washington - D.C.: AOAC. 1980, p. 1015.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 16th Washington - D.C.: AOAC. 1995, p. 2000.

BALDWIN, R. L.; BYWATER, A. C. Nutritional energetics of animals. *Annu. Rev. Nutr.*, v. 4, p.101-114, 1984.

BALDWIN, R. L.; SMITH, N. E.; TAYLOR, J.; SHARP, M. Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *J. Anim. Sci.*, v. 51, p. 1416-1428, 1980.

BEAUCHEMIN, K. A.; MCGINN, S. M. Enteric methane emissions from growing beef cattle as affected by diet and level of feed intake. *Can. J. Anim. Sci.*, v. 86, p. 401-408, 2006.

BIRKELO, C. P.; JOHNSON, D. E.; PHETTEPLACE, H. P. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. *J. Anim. Sci.*, 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. *Brit. J. Nutr.*, v. 86, p. 647-659, 2001.

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

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. *Anim. Sci.*, v. 86, n. 7, p. 1588-1597, 2008.

CLARK, H. Nutritional and host effects on methanogenesis in the grazing ruminant. *Animal* 7 (Suppl. 1), p. 41-48, 2013.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (CSIRO). *Feeding standards for Australian Livestock: Ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications. 1990.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION (CSIRO). *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications. 2007, 266p.

DOREAU, M.; VAN DER WERF, H. M. G.; MICOL, D.; DUBROEUCQ, J.; AGABRIEL, J.; ROCHETTE, Y.; MARTIN, C. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *J. Anim. Sci.* v. 89, p. 2518-2528, 2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States*. Publication 430-R-93-012. EPA, Washington, DC. 2005.

FERRELL, C. L.; KOONG, L. J. Response of body organs of lambs to differing nutritional treatments. In: *Energy Metabolism of Farm Animals*. *Eur. Assoc. Anim. Prod.* v. 32, p. 26, 1987.

FERRELL, C. L.; KOONG, L. J.; NIENABER, J. A. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *Br. J. Nutr.*, v. 56, p. 595-605, 1986.

FREDEEN, A. H.; COOPER, S.; TATE, M.; MAIN, M.; YUILL, J. Comparison of whole body and breath- sampling methods of measuring methane emission in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, v. 84, p. 774, 2004.

GEAY, Y. Energy and protein utilization in growing cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 58, p. 766-778, 1984.

HALES, K. E.; BROWN-BRANDL, T. M.; FREETLY, H. C. Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 92, p. 264-271, 2013.

HAWK, P. B. Urine: quantitative analysis. In: *Physiological Chemistry*, 14th. BL Oser, editor. New York, NY: McGraw-Hill, 1965, p. 1206-1215.

INZUNZA, J. C. *Clasificación de los climas de Köppen*. *Ciencia...Ahora*. 2005; 15: 1-14.

- JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 73, n. 8, p. 2483-2492, 1995.
- KOONG, L. J.; FERRELL, C. L.; NIENABER, J. A. Effects of plane of nutrition on organ size and fasting heat production in swine and sheep. *Energy Metab. Proc. Symp.*, v. 29, p. 245-248, 1982.
- LOFGREEN, G. P.; GARRETT, W. N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.*, v. 27, n. 3, p. 793-806, 1968.
- MARCONDES, M. I.; PAULINO, P. V. R.; VALADARES FILHO, S. C.; GIONBELLI, M. P.; COSTA E SILVA, L. F.; TEDESCHI, L. O. Predição da composição corporal e da carcaça de animais Nelore puros e cruzados. In: VALADARES FILHO, S. C.; MARCONDES, M. I.; CHIZZOTTI, M. L.; PAULINO, P. V. R. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados (BR CORTE). 2ed. Viçosa, MG: Suprema Gráfica LTDA, 2010. p. 65-84.
- MARCONDES, M. I.; VALADARES FILHO, S. C.; OLIVEIRA, I. M.; PAULINO, M. F.; PAULINO, P. V. R.; DETMAN, E. Exigências de energia de animais Nelore puros e mestiços com as raças Angus e Simental. *R. Bras. Zootec.*, v. 40, n. 4, p. 872-881, 2011.
- MILLIGAN, L. P.; SUMMERS, M. The biological basis of maintenance and its relevance to assessing responses to nutrients. *Proc. Nutri. Soc.*, v. 45, p.185-193, 1986.
- MORAES, E. H. B. K.; PAULINO, M. F.; MORAES, K. A. K. Exigências de energia de bovinos de corte em pastejo. *R. Bras. Zootec.*, v. 38, n. 5, p. 933-940, 2009.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of beef cattle*. 6th. Washington, D.C.: National Academic Press. 1984. 90p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th. Washington, D.C.: National Academic Press. 2000. 242p.
- NKRUMAH, J. D.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; LI, C.; BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; WANG, Z.; MOORE, S. S. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J Anim Sci.*, v.84, p.145-153, 2006.
- PAULINO, P. V. R.; COSTA, M. A. L.; VALADARES FILHO, S. C. Exigências nutricionais de zebuínos. I. Energia. *R. Bras. Zootec.*, v. 33, n. 3, p. 781-791, 2002.
- PINARES-PATIÑO, C. S.; HOLMES, C. W.; LASSEY, K. R.; ULYATT, M. J. Measurement of methane emission from sheep by the sulphur hexafluoride tracer technique and by the calorimetric chamber: Failure and success. *Animal*, v. 2, p.141-148, 2008.
- PINARES-PATIÑO, C. S.; LASSEY, K. R.; MARTIN, R. J.; MOLANO, G.; FERNANDEZ, M.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; LUO, D.; CLARK, H. Assessment of the sulphur hexafluoride (SF6) tracer technique using respiration chambers for estimation of methane emissions from sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.166-167, p.201-209, 2011.

RENNÓ, L. N.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; LEÃO, M. L.; VALADARES, R. F. D.; RENNO, F. P.; PAIXÃO, M. L. Níveis de ureia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos: parâmetros ruminais, ureia plasmática e excreções de ureia e creatinina. *R. Bras. Zootec.*, v. 37, n. 3, p. 556-562, 2008.

RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; LACHICA, M. L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C. A calorimetry system for metabolism trials. *Braz. J. Vet. Reseach and Anim. Sci.*, v. 59, p. 495-500, 2007.

ROTTA, P. P.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMAN, E.; SILVA, L. F. C.; VILLADIEGO, F. A.C.; BURGOS, E. M. G.; Nutrient requirements of energy and protein for Holstein × Zebu bulls finished in feedlot. *Ciênc. Agrár.*, v. 34, n. 5, p. 2523-2534, 2013.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. (SAS®). User's Guide. Statistics. Statistical Analysis Systems Institute: Cary, NC. 2002.

TEDESCHI, L. O., BOIN, C. D., FOX, D. G. Energy requirements for maintenance and growth of Nelore bulls and steers fed high-forage diets. *J Anim Sci.*, v. 80, p. 1671-1682, 2002.

ULYATT, M. J.; BAKER, S. K.; MCCRABB, G. J.; LASSEY, K. R. Accuracy of SF6 tracer technology and alternatives for field measurements. *Aust. J. Agric. Res.*, v. 50, p. 1329-1334, 1999.

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

VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, P. V. R.; DETMANN, E. et al. Exigências nutricionais de zebuínos no Brasil. I. Energia. In: VALADARES FILHO; S.C.; PAULINO; P.V.R.; MAGALHÃES, K.A. (Orgs.). Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos. BR-Corte. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica Ltda., 2006c. p.57-73.

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

VAN SOEST, P.J. (Ed) (1994). 'Nutritional Ecology of the Ruminant (2nd edn).' (Cornell University Press: Ithaca, NY)

VELOSO, C. M.; VALADARES FILHO, S. C.; GESUALDI JUNIOR, A. Composição corporal e exigências energéticas e proteicas de bovinos F1 Limousin x Nelore, não castrados, alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado. . *R. Bras. Zootec.*, v. 31, n. 3, p. 1273-1285, 2002.

VÉRAS, A. S. C.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C. 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. . *R. Bras. Zootec.*, v. 30, n. 3, p. 904-910, 2001.

WEBSTER, A. J. F. The energetic efficiency of growth. *Lives. Prod. Sci.*, v.7, p.243-252, 1980.

WILLIAMS, C. B.; JENKINS, T. G. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. III. Model evaluation. *J. Anim. Sci.*, v. 81, p. 1390-1398, 2003.

WOLIN, M. J.; MILLER, T. L. Microbe interactions in the rumen microbial ecosystem. In: P. N. Hobson (Ed.). *The Rumen Ecosystem*. Elsevier Applied Science, New York. 1988.

CAPÍTULO IV

Exigências de energia líquida para manutenção de bovinos F1 Holandês x Gir determinadas pela metodologia de abates comparativo e calorimetria respirométrica

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho estimar as exigências nutricionais de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) para manutenção de bovinos machos inteiros F1 Holandês x Gir determinadas pelas metodologias de abates comparativos e calorimetria respirométrica. Foram utilizados 20 animais, sendo que cinco foram abatidos ao início do experimento como grupo referência e os 15 animais restantes foram divididos em três grupos, com dietas formuladas para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto ganhos de peso, respectivamente. Foram realizados ensaios de digestibilidade e metabolismo para determinação das perdas energéticas fecais, urinárias e por emissão de metano, e da energia metabolizável da dieta. Ao final, todos os animais foram abatidos e a composição corporal e o peso de corpo vazio (PCVZ) determinados.

A produção de calor pela metodologia calorimétrica foi determinada por mensuração contínua do consumo de oxigênio (O_2), da produção de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4). Foram estimadas equações de regressões do logaritmo da produção de calor (PC) em função do consumo de energia metabolizável (CEM). A EL_m foi calculada como sendo o antilogaritmo do intercepto da regressão do logaritmo da PC em função do CEM. A EL_m de machos não castrados Holandês x Gir, estimada pela metodologia de abates comparativos e calorimetria respirométrica foi de 73,45 e 74,64 Kcal/kg^{0,75} PV e a EM_m de 118 e 125 Kcal/kg^{0,75} PV, respectivamente. As eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção foram de 0,62 e 0,60 para as técnicas de abates comparativos e calorimetria, respectivamente. As metodologias de abates comparativos e calorimetria respirométrica mostraram-se eficazes para determinar das exigências nutricionais de energia de animais zebuínos cruzados em condições tropicais.

Palavras-chave: energia metabolizável, calorimetria indireta, produção de calor

Net energy requirements for maintenance of Holstein x Gir crossbreed bulls determined by the calorimetry and comparative slaughter technique

ABSTRACT

This work was carried out to estimate the nutritional requirements of net energy (NE_m) and metabolizable energy (ME_m) for maintenance of Holstein x Gir crossbreed bulls, non-castrated determined by comparative slaughter and also by respiration calorimetry. 20 animals were used, five animals were slaughtered at the beginning of the experiment as a reference group and the remaining 15 animals were divided into three groups with diets formulated to make possible gains of 100, 500 and 900 g/day, corresponding to low treatments, medium and high weight gains, respectively. Digestibility and metabolism assays for determination of fecal, urinary and methane emission energy losses, and metabolizable energy of the diet were performed. At the end, all animals were slaughtered and body composition and empty body weight (EBW) determined. The production of heat by the calorimetric method was determined by continuous measurement of oxygen consumption (O_2), the production of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) emissions. Equations of regressions of the logarithm of heat production (HP) as a function of metabolizable energy intake (MEI) were estimated. The net energy requirement for maintenance (NE_m) was estimated as the antilog of the intercept of the equation obtained by the linear regression between the logarithm of heat production (HP) and the metabolizable energy intake (MEI). The NE_m for non-castrated Holstein x Gir crossbreed bulls, estimated with comparative slaughter and respiration calorimetry was 73.45 and 74.64 kcal/kg^{0.75} BW and ME_m 118 and 125 kcal/kg^{0.75} BW, respectively. The efficiency of utilization of metabolizable energy for maintenance was 0.62 and 0.60 for the comparative slaughter and calorimetry, respectively. The methodologies of respiration calorimetry and comparative slaughter proved effective to determine the nutritional energy requirements of zebu crossed animals in tropical conditions.

Keywords: metabolizable energy, indirect calorimetry, heat production

Exigências de energia líquida para manutenção de bovinos F1 Holandês x Gir determinadas pela metodologia de abates comparativo e calorimetria respirométrica

INTRODUÇÃO

A pesquisa científica mundial em nutrição animal tem definido, há mais de um século, os nutrientes requeridos pelos animais (Preston, 2006). Conhecer não só os nutrientes demandados, como também a concentração ou a quantidade dos mesmos na dieta que determinada categoria animal exige para obter desempenho desejado, juntamente com o conhecimento do valor nutricional dos alimentos disponíveis, compõem a base que permite formular dietas, e planejar e implementar o manejo nutricional do rebanho de forma eficiente, técnica e econômica.

Diversos países já estabeleceram as normas nutricionais para bovinos de corte e de leite, levando em consideração as peculiaridades de suas realidades. Dentre esses sistemas destacam-se o INRA na França, o ARC e o AFRC no Reino Unido, o NRC e o CNCPS nos Estados Unidos, o CSIRO na Austrália e o BR-CORTE no Brasil. Todos estes sistemas são baseados em estudos envolvendo o metabolismo energético em câmaras respirométricas ou em estudos de abate comparativo. Sabe-se que existem diferenças tanto metodológicas quanto na aplicação do conceito de energia líquida entre essas técnicas.

No Brasil, a grande maioria dos estudos de exigências nutricionais é baseada na técnica de abates comparativos, sendo que apenas recentemente estudos utilizando-se câmaras respirométricas têm sido conduzidos. Em um estudo com ovinos, Steen et al. (1998) sinalizaram que as estimativas das exigências de energia metabolizável para manutenção obtidas pelas duas técnicas são semelhantes.

Deste modo, objetivou-se determinar e comparar as estimativas de exigências nutricionais de energia líquida e metabolizável para manutenção, obtidas pelas técnicas de abates comparativos e respirometria calorimétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Local, animais e instalações

O experimento foi realizado na Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, entre fevereiro a junho de 2012.

Utilizaram-se 20 bovinos F1 Holandês x Gir, machos, não castrados, com peso vivo inicial médio de 301 ± 15 kg, sendo que cinco foram abatidos antes do início do experimento como grupo referência e os 15 animais remanescentes foram distribuídos nos tratamentos descritos a seguir. Os animais foram obtidos em fazendas leiteiras da região que promoviam o melhoramento genético do rebanho. Com isso, conseguiram-se animais com o mesmo grau de sangue e bastante uniformes. Estes foram mantidos em galpão de confinamento tipo “tie stall” com piso de concreto, o qual dispunha de tapetes de borracha perfurados de $1,0 \text{ m}^2$ ($1,0 \times 1,0$ m) de área com crivos de 1,0 cm de diâmetro. Cada animal dispunha de uma área livre de 3 m^2 ($2,5 \times 1,2$ m), provida de cochos e bebedouros individuais. Todos os animais foram utilizados em experimento anterior e passaram por processo de doma racional, sendo, portanto, já acostumados ao manejo diário durante o experimento. Antes do início do experimento os animais foram vacinados e vermifugados (Levamisol + Ivermectina), tratados com ectoparasiticidas (Fipronil) e receberam vitaminas A, D e E por via subcutânea.

Dietas e manejo alimentar

As dietas foram compostas de silagem de milho e concentrado à base de milho, farelo de soja, núcleo mineral, óxido de magnésio, flor de enxofre, calcário e ureia, fornecidos na proporção volumoso:concentrado de 58:42, com base na matéria seca (MS). A composição química média das dietas experimentais encontra-se na Tabela 1. As dietas foram inicialmente formuladas de acordo com o NRC (2000) para possibilitarem ganhos de 100, 500 e 900 g/dia, correspondendo aos tratamentos baixo, médio e alto (consumo *ad libitum*) ganho de peso, respectivamente, em que foram distribuídos igualmente os 15 animais remanescentes. Para os tratamentos baixo e médio ganhos de peso a dieta utilizada foi a mesma, diferindo apenas na quantidade fornecida aos animais. As dietas foram fornecidas aos animais individualmente duas vezes ao dia, em quantidades iguais, às 08:00 e 17:00 horas, sendo que os animais possuíam livre acesso à água durante todo

o período experimental. Os animais do grupo alto ganho de peso receberam alimentação à vontade, permitindo sobras de 10 a 15%, enquanto os animais dos grupos baixo e médio ganhos de peso receberam alimentação restrita de acordo com os ganhos estimados, e geralmente consumiam todo o alimento em um período de 20 a 40 minutos após o trato. Os animais passaram por um período de adaptação antes do início do estudo, com duração de 65 dias, durante o qual foi permitido o consumo *ad libitum* de uma mesma dieta, com proporções volumoso:concentrado semelhantes à dieta experimental.

Tabela 1. Formulação e composição química das dietas experimentais

| Item | Tratamento | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| | Baixo ganho | Médio ganho | Alto ganho |
| Ingrediente | | g/kg | |
| Silagem de milho | 580,1 | 580,1 | 580,1 |
| Fubá de milho | 247,2 | 247,2 | 285,3 |
| Farelo de soja | 130,5 | 130,5 | 115,3 |
| Núcleo mineral ¹ | 28,7 | 28,7 | 12,6 |
| Ureia | 3,8 | 3,8 | 2,9 |
| Óxido de magnésio | 6,3 | 6,3 | 0,6 |
| Flor de enxofre | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| Calcário | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| | Composição | | |
| | | g/kg | |
| MS | 507,9 | 507,9 | 506,2 |
| MO | 923,2 | 923,2 | 943,5 |
| PB | 147,0 | 147,0 | 139,7 |
| FDN | 367,5 | 367,5 | 370,8 |
| CNF | 390,7 | 390,7 | 414,2 |
| | | Mcal/kg MS | |
| EB | 4,18 | 4,18 | 4,29 |
| EM ² | 2,72 | 2,56 | 2,53 |

¹Composição: Ca: 207 g/kg; P: 90 g/kg; Na: 50 g/kg; Mg: 18 g/kg; Co: 100 mg/kg; Cu: 750 mg/kg; Mn: 1200 mg/kg; Se: 30 mg/kg; Zn: 3000 mg/kg e I: 100 mg/kg.

²Determinada em ensaio de metabolismo.

As rações fornecidas e as sobras foram amostradas diariamente, sendo primeiramente pesadas e em seguida retiravam-se amostras de 300 a 400 g, as quais foram embaladas em sacos plásticos de 3 mm de espessura e congeladas em freezer à temperatura de -15°C, para posteriormente serem analisadas.

Ensaio de digestibilidade aparente e coleta de urina

Durante o experimento foi realizado ensaio de digestibilidade para determinação da digestibilidade da MS e nutrientes, que consistiu de 10 dias de duração sendo 5 dias de adaptação ao manejo experimental e 5 dias de coleta total de fezes. Amostras de oferecido, sobras e fezes foram coletadas, pesadas e amostradas diariamente e congeladas a -15°C para posteriores análises. Durante o ensaio coletaram-se amostras tipo *spot* de urina, as quais foram obtidas 4 horas após a alimentação, durante micção espontânea. Uma alíquota de 60 mL de urina foi coletada para determinação das concentrações de creatinina, nitrogênio (N) e EB.

O volume urinário foi estimado multiplicando-se o PV pela excreção diária de creatinina (mg/kg PV) e dividindo-se o produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina. Para obtenção da excreção diária de creatinina por kg de PV, adotou-se a média de 28,72 mg/kg PV, obtida por Rennó (2008) para os bovinos ½ Holandês x ½ Gir.

Calorimetria indireta de circuito aberto

Após o ensaio de digestibilidade iniciaram-se os procedimentos para determinação da produção de calor (PC) dos animais na câmara respirométrica. Os procedimentos e especificação do sistema foram descritos por Rodriguez et al. (2007). Condições de termoneutralidade foram mantidas durante as mensurações, correspondendo a temperaturas médias de $22 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $65 \pm 5\%$. As determinações das PC foram realizadas a partir do 87º dia do início do experimento, com os animais alimentados (PC_a) em nível de produção de acordo com tratamento estabelecido (baixo, médio e alto ganhos de peso). A PC referente a cada animal foi determinada pela mensuração contínua do consumo de oxigênio (O₂), da produção de dióxido de carbono (CO₂) e de metano (CH₄) durante um período de 22 a 23 horas, realizando-se extrapolação para um período de 24 horas. Foram realizadas calibrações diárias dos analisadores de metano, oxigênio e gás carbônico, que duravam em média de

1 a 2 horas. Os volumes (L/dia) de oxigênio consumido, dióxido de carbono e metano produzidos e nitrogênio urinário excretado (N_u , g/dia) foram utilizados estimar a PC, conforme a equação de Brower (1965): $PC = (3,866 \times VO_2) + (1,200 \times VCO_2) - (0,518 \times VCH_4) - (1,431 \times N_u)$. A energia metabolizável da dieta foi determinada subtraindo-se as perdas energéticas das fezes, urina, metano da energia bruta (EB) consumida. Quantificou-se a energia perdida na forma de metano assumindo-se a perda de 9,45 kcal/l CH_4 produzido (Brower, 1965). As concentrações de energia digestível (ED) e metabolizável da dieta (EM) (Mcal/kg MS) foram obtidas pela razão entre o consumo de energia e o consumo de matéria seca (MS) durante o ensaio de metabolismo.

Metodologia de abates comparativos

A pesagem inicial foi realizada após 16 horas de jejum de alimentos sólidos, por dois dias consecutivos, para determinação do peso vivo médio inicial, sendo as pesagens intermediárias realizadas a cada 15 dias. Antes de cada abate foi realizado um jejum prévio de 16 horas de alimentos sólidos. O abate inicial, tido como referência, ocorreu após o período de adaptação, no qual todos os animais receberam a mesma dieta. Os cinco animais referência foram abatidos via concussão cerebral, prosseguindo-se a secção da jugular para sangria total do animal.

Após o abate, cada animal teve cada um dos seus componentes corporais pesados e amostrados. Os componentes: gordura interna, mesentério, fígado, coração, rins, pulmão, língua, baço, diafragma, esôfago, traqueia e aparelho reprodutor foram moídos em triturador industrial, constituindo uma amostra composta e homogênea de órgãos e vísceras. O rúmen, retículo, omaso, abomaso, intestinos delgado e grosso foram moídos, formando uma amostra homogênea representativa do trato gastrointestinal. O sangue foi coletado durante a sangria total, pesado, amostrado e acondicionado em recipiente de plástico. A cabeça, os pés e a cauda formaram outra amostra composta. O couro foi pesado, amostrado e picado. A meia carcaça esquerda de cada animal foi pesada, triturada e amostrada.

As amostras de carcaça e componentes não carcaça, juntas compuseram a composição química do corpo vazio do animal. O peso do corpo vazio (PCVZ) dos animais foi determinado pela soma do peso da carcaça, rúmen-retículo, omaso, abomaso, intestino delgado, intestino grosso, mesentério, gordura interna, sangue, fígado, coração, rins, baço, pulmão, língua, couro, esôfago, traqueia, aparelho gênito-urinário, pés, cabeça e

cauda. A relação entre o PCVZ e o peso vivo (PV) dos animais referência (R) foi utilizada para estimar o PCVZ inicial dos animais, que foram abatidos no final do experimento.

O conteúdo corporal de energia foi determinado a partir dos conteúdos corporais de proteína e gordura e dos respectivos equivalentes calóricos, conforme a equação proposta pelo ARC (1980):

$$CE \text{ (Mcal)} = 5,6405 X + 9,3929 Y, \text{ em que:}$$

CE = conteúdo de energia; X = proteína corporal (kg) e Y = gordura corporal (kg).

Processamento das amostras e análises laboratoriais

As amostras de alimentos oferecidos, sobras e fezes foram descongeladas à temperatura ambiente e submetidas à pré-secagem a 55°C por 72 horas. Posteriormente foram moídas em moinho estacionário tipo Thomas-Willey, dotados de peneira com crivos de 5 mm, para confecção das amostras compostas. O período experimental foi dividido em 6 subperíodos, para os quais foram feitas as amostras compostas de oferecido e sobras (por animal). As amostras de fezes formaram uma amostra composta por animal. Cada amostra composta foi novamente moída em moinho estacionário dotado de peneira com crivos de 1 mm, sendo armazenadas em frascos herméticos de polietileno para posteriores análises.

Determinaram-se MS em estufa a 105°C (AOAC, 1980) e energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995) nas amostras de alimentos oferecidos, sobras, fezes e urina. As amostras de urina foram analisadas para determinação dos teores de EB, como descrito acima. As concentrações de creatinina para determinação do volume urinário foram determinadas em Laboratório especializado terceirizado utilizando-se *Kits* comerciais (Labtest).

As amostras compostas de cada animal obtidas na metodologia de abates comparativos, com exceção da amostra de sangue, foram secas por 72 horas a uma temperatura de 105 °C para quantificação da matéria seca parcial gordurosa (MSG), segundo método INCT-CA G-002/1. As amostras de sangue foram secas por período de 72 horas à temperatura de 55 °C. Posteriormente, estas amostras, excetuando-se aquelas de sangue, foram desengorduradas parcialmente através de lavagens sucessivas com éter de petróleo. Após o desengorduramento parcial, as amostras foram moídas em moinho tipo

rotor e acondicionadas em recipientes de vidro hermeticamente lacrados para posterior quantificação dos teores de matéria seca (MS) segundo método INCT-CA G-003/1, matéria mineral (MM) segundo método INCT-CA M-001/1, proteína bruta (PB) segundo método INCT-CA N-001/1 e extrato etéreo (EE) segundo método INCT-CA G-004/1.

Cálculos e procedimentos estatísticos

As exigências de energia líquida para manutenção (EL_m) foram obtidas pela regressão do logaritmo da produção de calor em função do consumo de energia metabolizável (EM) ($\text{kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ/dia), extrapolando-se a equação para o nível zero de consumo de EM, segundo o método descrito por Lofgreen e Garrett (1968).

A energia metabolizável para manutenção (EM_m , em $\text{Kcal/PCVZ}^{0,75}$ /dia) foi estimada por método iterativo, sendo obtida quando o CEM se igualou à PC. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (k_m) foi obtida a partir da relação EL_m/EM_m .

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o programa SAS (versão 9.1.3), admitindo-se 5,0% como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Foram estimadas equações de regressão para as técnicas de abates comparativos e respirometria calorimétrica. A equação obtida pela regressão entre o PC e o CEM, em que o CEM foi determinado pelo método tradicional, utilizando-se a relação EM/ED de 0,82 foi denominada Abate 1, enquanto que quando determinada pela subtração das perdas energéticas da urina e metano do consumo de EB, foi denominada Abate 2. A equação de regressão obtida pela relação entre PC e CEM obtidos pela mensuração em câmara respirométrica foi denominada Calorimetria.

Na comparação dos parâmetros das equações lineares obtidos pelas diferentes técnicas descritas acima, utilizou-se o teste de identidade de modelos lineares, conforme proposto por Regazzi (1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação obtida para estimativa do PCVZ a partir do PV dos animais do presente trabalho foi: $PCVZ = PV * 0,9034$. Este valor encontra-se próximo aos valores de 0,891 e 0,895, recomendados pelo NRC (1996) e BR-CORTE (2010), respectivamente. Trabalhando com animais machos inteiros Nelore x Holandês, Porto et al. (2012) encontraram valor de 0,907. Relações inferiores foram reportadas por Backes et al. (2005) para animais mestiços F1 Holandês x Gir e Holandês x Guzerá, para os quais os autores reportaram o valor de 0,865. Já Souza et al. (2012) relataram que esta relação foi de $0,91 \pm 0,018$ para animais Nelore x Simental.

O peso vivo está relacionado à capacidade do trato gastrointestinal dos animais, podendo sofrer variações em função do grupo genético, da composição da dieta e do período de jejum aos quais os animais foram submetidos (Van Soest, 1994).

Na metodologia de abates comparativos a exigência de energia líquida para manutenção é estimada pela relação entre a PC e o CEM, utilizando-se modelos lineares como o proposto por Lofgreen e Garret (1968), ou modelos não lineares, como o proposto por Ferrel e Jenkins (1998).

Tradicionalmente, a EM da dieta é obtida entre o produto da energia digestível (ED), determinada em ensaios de digestibilidade aparente, e o valor fixo de 0,82, utilizado para descrever a relação EM/ED. A fim de se comparar a maneira tradicional (Abate 1) de se determinar a EM da dieta, àquela em que a EM é obtida pela soma das perdas da energia urinária e do metano (mensurado em câmara respirométrica) determinadas em ensaios de metabolismo (Abate 2), foram realizadas análises distintas para cada um destes procedimentos.

Os parâmetros (a e b) das equações de regressão linear utilizadas para estimar a exigência de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) de manutenção pela metodologia de abates comparativos encontram-se na Tabela 2. Ambas as equações apresentaram elevados coeficientes de determinação (R^2) e interceptos (a) e coeficientes angulares (b) próximos. Ao se estimar a EL_m pelas respectivas equações obtiveram-se os valores de 76,51 e 80,78 Kcal/kg^{0,75} PCVZ, representando uma pequena diferença de 5,59%. Em relação à EM_m , a metodologia tradicional, ou seja abate 1, resultou em valor 9,24% inferior. A eficiência de utilização da EM para manutenção (km) foi ligeiramente superior para metodologia tradicional (0,64 vs 0,62).

Apesar das diferenças observadas, ao se aplicar o teste de identidade de modelos lineares, proposto por Regazzi (1996), não foram detectadas diferenças entre os modelos.

Segundo Vermorel e Bickel (1980), para se estimar o CEM pela ingestão de energia digestível (CED) mensurada em qualquer nível de ingestão, o coeficiente fixo (0,81) determinado em ruminantes adultos em nível de manutenção deve ser evitado. Segundo os autores esta prática pode resultar em erro de 10 a 15% e levar a uma superestimava da eficiência de utilização da EM para ganho (k_g).

Tabela 2. Parâmetros da regressão do logaritmo da produção de calor ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ) em função do consumo de energia metabolizável ($\text{Kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ) de bovinos machos F1 Holandês x Gir obtidos pela técnica de abates comparativos¹

| Item | Intercepto (a) | Coeficiente (b) (x1000) | n | R ² | RSE | EL _m | EM _m | K _m |
|---------|----------------|-------------------------|----|----------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|
| Abate 1 | 1,88 ± 0,02 | 1,620 ± 0,120 | 15 | 0,93 | 0,017 | 76,51 | 119 | 0,64 |
| Abate 2 | 1,91 ± 0,02 | 1,594 ± 0,111 | 15 | 0,94 | 0,016 | 80,78 | 130 | 0,62 |

¹Os valores representam média ± desvio padrão. EL_m, Energia líquida de manutenção; EM_m, energia metabolizável de manutenção; k_m, eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção; RSE, erro padrão residual; R², coeficiente de determinação.

O valor obtido neste estudo está contido no intervalo de confiança de 77 ± 6 kcal/kg PV^{0,75}/dia obtido por Lofgreen e Garrett (1968) e adotado pelo NRC (2000), apresentando boa aproximação com resultados da literatura nacional quando se utilizaram animais mestiços leiteiros.

Araújo et al. (1998) relataram valores de EL_m próximos ($81,30 \text{ Kcal/kg}^{0,75}$ PCVZ) para machos inteiros Holandês x zebu. Siqueira et al. (2007), trabalhando com vacas Pardo Suíço x Nelore, não-gestantes e não-lactantes, encontraram valores elevados, de $91,7 \text{ Kcal/ kg}^{0,75}$ PCVZ. Freitas et al. (2006), utilizando animais machos não castrados oriundos de cruzamentos Nelore x Pardo Suíço e Nelore x Simental, reportaram valores similares de $79,45 \text{ Kcal/ kg}^{0,75}$ PCVZ. Backes et al. (2005), para machos mestiços Holandês x Gir e Holandês x Guzerá, encontraram valores de EL_m inferiores, de $76,99 \text{ Kcal/ kg}^{0,75}$ PCVZ.

Em comparação a resultados nacionais obtidos para animais de corte puros ou mestiços, excetuando-se alguns resultados, como os obtidos por Vêras et al. (2000), Silva et al. (2002) e Freitas et al. (2006), o valor de EL_m encontrado no presente estudo foi superior.

Conforme o NRC (2000) as exigências de energia para manutenção pode ser até 20% maior para animais com elevado potencial leiteiro em comparação a animais de corte. Solis et al. (1988), avaliando raças de corte e leiteiras, concluíram que animais mestiços de corte são menos exigentes em EM_m que animais de alto potencial leiteiro. Animais mestiços leiteiros apresentam EM_m 17% maior que animais de raças puras de corte e estes últimos, por sua vez, apresentam EM_m 27% menor que os animais de raças puras de aptidão leiteira (Jersey e Holandês). Segundo os autores, a EM_m variou de 91,6 a 140,4 Kcal/kg^{0,75} PV.

Na tabela 3 estão apresentadas as exigências de energia líquida e metabolizável para manutenção, expressas em Mcal/dia, para a faixa de peso variando de 300 a 450 kg de PV. Os valores encontrados no presente trabalho são próximos aos estimados pelo NRC (2000), para animais de raças de origem europeia. Para animais de 300 e 400 kg de peso vivo, este sistema estima valores de EL_m de 5,55 e 6,89 Mcal/dia, respectivamente.

Segundo o NRC (2000), a exigência de energia para manutenção dos animais zebuínos seriam 10% menores que a de animais taurinos, em razão do menor potencial genético para produção, uma consequência da melhor adaptação das raças zebuínas a condições ambientais adversas.

Tabela 3. Exigências de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) para manutenção em função do peso vivo (PV) de bovinos machos F1 Holandês x Gir

| PV (kg) ¹ | PCVZ (kg) | EL_m (Mcal/dia) | EM_m (Mcal/dia) |
|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|
| 300 | 271,0 | 5,40 | 8,68 |
| 350 | 316,2 | 6,06 | 9,75 |
| 400 | 361,4 | 6,70 | 10,77 |
| 450 | 406,5 | 7,31 | 11,77 |

¹PCVZ = 0,9034 x PV

Para melhor comparação entre os resultados de EL_m e EM_m obtidos pelas diferentes metodologias utilizadas neste estudo, respirometria calorimétrica ou abates comparativos, utilizou-se a unidade comum de peso vivo metabólico (PV^{0,75}) para representar o CEM (Kcal/kg^{0,75} PV) e a PC (Kcal/kg^{0,75} PV) e realizar as análises de regressões.

Os parâmetros (a e b) das equações de regressão linear utilizadas para estimar a exigência de energia líquida (EL_m) e metabolizável (EM_m) de manutenção pela

metodologia de abates comparativo e respirometria calorimétrica encontram-se na Tabela 4.

Os coeficientes de determinação das equações foram maiores para metodologia de abates comparativos. Isto se deve ao fato de que neste estudo de respirometria foram realizadas apenas mensurações pontuais próximas ao período experimental médio (87 dias), enquanto que na metodologia de abates comparativos os resultados expressaram o efeito de todo o período experimental (132 dias). Apesar disso, o coeficiente de determinação obtido para metodologia respirométrica foi elevado (0,88), mostrando boa adequação aos dados. O teste de identidade de modelos não verificou diferenças entre os três modelos avaliados, sugerindo que poderia ser utilizada uma única equação de regressão.

A energia líquida de manutenção (EL_m) foi semelhante entre a metodologia Abate 2 e calorimetria, representando diferenças mínimas de 1,63%. Para a EM_m essa diferença foi de 5,96%, com a k_m apresentando-se ligeiramente superior para a metodologia Abate 2. Maiores diferenças para EL_m e EM_m foram verificadas quando se compararam as metodologias Abate 1 e calorimetria, que diferiram em 7,34% e 15,74%, respectivamente.

Tabela 4. Parâmetros da regressão do logaritmo da produção de calor ($Kcal/kg^{0,75}$ PV) em função do consumo de energia metabolizável ($Kcal/kg^{0,75}$ PV) de bovinos machos F1 Holandês x Gir obtidas pela técnica de abates comparativos e respirometria calorimétrica

| Item | Intercepto (a) | Coefficiente (b) (x1000) | n | R ² | RSE | EL _m | EM _m | K _m |
|--------------|-------------------|-----------------------------|----|----------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|
| Abate 1 | 1,84 ± 0,02 | 1,785 ± 0,134 | 15 | 0,93 | 0,017 | 69,54 | 108 | 0,64 |
| Abate 2 | 1,87 ± 0,02 | 1,752 ± 0,123 | 15 | 0,94 | 0,016 | 73,45 | 118 | 0,62 |
| Calorimetria | 1,87 ± 0,04 | 1,792 ± 0,191 | 15 | 0,88 | 0,022 | 74,64 | 125 | 0,60 |

¹Os valores representam média ± desvio padrão. EL_m , Energia líquida de manutenção; EM_m , energia metabolizável de manutenção; k_m , eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção; RSE, erro padrão residual; R², coeficiente de determinação.

Segundo Webster (1978) maiores diferenças entre as técnicas são observadas quando se comparam as estimativas de exigência para manutenção obtidas através da determinação direta da PC_j àquelas obtidas com animais alimentados em estudos de respirometria

calorimétrica (obtidas por regressão) ou àquelas obtidas por metodologias indiretas (abates comparativos ou de balanço de carbono e nitrogênio).

Thomson et al. (1979) relataram que a estimativa da EM_m obtida pelas duas diferentes técnicas (abate e calorimetria) é semelhante, porque quando estimada pela metodologia de abate comparativo irá refletir o desempenho dos animais que são alimentados próximos ao nível de manutenção em maior extensão do que o desempenho dos animais que estão alimentados *ad libitum*.

Steen et al. (1997), em estudo com ovinos, estimaram as exigências de energia para manutenção (EM_m) por meio de regressão entre o CEM e ER, pelas técnicas de abate comparativo e calorimetria indireta e não observaram diferenças na EM_m obtida pelas diferentes técnicas (117 vs 112 Kcal/kg^{0,75}). Uma vez que trabalhos que comparam as duas metodologias em um mesmo estudo são escassos, os resultados obtidos por Steen et al. (1997) corroboram com os resultados obtidos neste estudo, em que a EL_m e a EM_m obtidas pela metodologia de abates comparativos e respirometria foram semelhantes.

CONCLUSÕES

A exigência de energia líquida de manutenção de machos não castrados Holandês x Gir, estimada pela metodologia de abates comparativos e respirometria calorimétrica foi de 73,45 e 74,64 Kcal/kg^{0,75} PV e a exigência de energia metabolizável de manutenção de 118 e 125 Kcal/kg^{0,75} PV, respectivamente. As eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção foram de 0,62 e 0,60 para as técnicas de abates comparativos e calorimetria, respectivamente.

As metodologias de abates comparativos e calorimetria respirométrica mostraram-se eficazes para determinar das exigências nutricionais de energia de animais zebuínos cruzados em condições tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (ARC). The nutrient requirements of ruminant livestock. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980, 351p.

ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, J. F. C.; VALADARES FILHO, S. C. et al. Composição corporal e exigências líquidas de energia e proteína de bezerros alimentados com diferentes níveis de volumoso. *R. Bras. Zootec.*, v. 27, n. 5, p. 1013-1022, 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 13th. Washington: AOAC, 1980, 1015p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 16th. Washington: AOAC, 1995, 2000p.

BACKES, A. A.; PAULINO, M. F.; ALVES, D. D. et al. Composição corporal e exigências energéticas e proteicas de bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em regime de recria e engorda. *R. Bras. Zootec.*, v. 34, n. 1, p. 257-267, 2005.

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

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A.C. et al. (Eds.) Métodos para análise de alimentos. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

FERRELL, C. L.; JENKINS, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli sires. *J. Anim. Sci.*, v. 76, n. 2, p. 647-657, 1998.

FREITAS, J. A.; QUEIROZ, A. C.; DUTRA, A. R. et al. Eficiência de utilização da energia metabolizável em bovinos Nelore puros e cruzados submetidos a quatro níveis de concentrado na ração. *R. Bras. Zootec.*, v. 35, n. 3, p. 894-901, 2006.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th. Washington, D.C.: National Academic Press. 1996. 242p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of beef cattle*. 7th. Washington, D.C.: National Academic Press. 2000. 242p.

PORTO, M. O.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; CAVALI, J.; SALES, M. F. L.; VALENTE, E. E. L. Nutritional requirements of energy, protein and macrominerals for maintenance and weight gain of young crossbred Nelore × Holstein bulls on pasture. *R. Bras. Zootec.*, v. 41, n. 3, p. 734-745, 2012.

PRESTON, R. L. Feed composition tables. *Beef Magazine*, 2006, p. 50-67, v.42.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 31, p. 1-17, 1996.

RENNÓ, L. N.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F.; LEÃO, M. L.; VALADARES, R. F. D.; RENNO, F. P.; PAIXÃO, M. L. Níveis de ureia na ração de

novilhos de quatro grupos genéticos: parâmetros ruminais, ureia plasmática e excreções de ureia e creatinina. *R. Bras. Zootec.*, v. 37, n. 3, p. 556-562, 2008.

RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; LACHICA, M. L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C. A calorimetry system for metabolism trials. *Braz. J. Vet. Reseach and Anim. Sci.*, v. 59, p. 495-500, 2007.

SILVA, F. F.; VALADARES FILHO, S. C.; ÍTAVO, L. C. V. et al. Composição corporal e requisitos energéticos e proteicos de bovinos Nelore, não-castrados, alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado e proteína. *R. Bras. Zootec.*, v. 31, n. 1, suppl. p. 503-513, 2002.

SIQUEIRA, J. G.; FONTES, C. A. A.; PEREIRA, A. L. et al. Exigência de energia de manutenção e composição corporal e do ganho de vacas de corte adultas de três grupos genéticos confinadas. *R. Bras. Zootec.*, v. 36, n. 6, p. 2159-2167, 2007.

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

SOUZA, E. J. O.; VALADARES FILHO, S. C.; GUIM, A.; VALADARES, R. F. D.; MARCONDES, M. I.; VÉRAS, A. S. C.; AMARAL, P. M.; SANTOS, T. R. Energy nutritional requirements for females of Nellore, Nellore × Angus and Nellore × Simmental fed on two forage:concentrate ratios. *J. Anim. Sci.*, v. 41, n. 3, p. 753-761, 2012.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS. (SAS®). User's Guide. Statistics. Statistical Analysis Systems Institute: Cary, NC. 2002.

STEEN, R. W. J.; DAWSON, L. E. R.; KIRKPATRICK, D. E.; JOHNSTON, S. D. Estimation of maintenance energy requirements and efficiency of utilization of metabolizable energy for growth in lambs by indirect calorimetry and comparative slaughter. In: MCCRACKEN, K., UNSWORTH, E.F.; A.R.G. WYLIE (Ed.). *Energy metabolism of farm animals*. Wallingford: CAB International, p. 351-354. 1997.

THOMSON, D. J.; FENTON, J. S.; CAMMELL, S. B. *Br. J. Nutr.*, v. 41, p. 223-229, 1979.

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.

VAN SOEST, P. J. *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd edn). Cornell University Press: Ithaca, NY. 1994.

VÉRAS, A. S. C.; VALADARES FILHO, S. C.; COELHO DA SILVA, J. F. et al. Composição corporal e requisitos energéticos e proteicos de Nelore, não castrados, alimentados com rações contendo diferentes níveis de concentrado. *R. Bras. Zootec.*, v. 29, n. 6, suppl. 2, p. 2379-2389, 2000.

VERMOREL, M.; BICKEL, H. Utilization of feed energy by growing ruminants. In: BÉRANGER, C. (Ed.) Energy and Protein Feeding Standards Applied to the Rearing and Finishing of Beef Cattle. *Ann. Zootec*, v. 29, p. 127-144, 1980.

WEBSTER, A. J. F. Energy metabolism and requirements. Digestive physiology and nutrition of ruminants. 2 ed. Corvallis: O&B Books, 1978. 229p.