

Respirometria e exigências nutricionais de zebuínos e cruzados de leite, em diferentes níveis de alimentação e estádios fisiológicos

Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Ricardo Reis e Silva, Alexandre Lima Ferreira, Helena Ferreira Lage, Paolo Antônio Dutra Vivenza, Pedro Henrique Araújo de Carvalho, Marcelina Pereira da Fonseca, Lúcio Carlos Gonçalves, Norberto Mário Rodriguez

As informações geradas pela técnica de respirometria são baseadas na mensuração das trocas respiratórias pelos animais, permitindo a avaliação da energia líquida dos alimentos e do metabolismo animal. Estima-se a produção de calor a partir da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico e metano durante 24h, em ambiente controlado. Todas as medições são precedidas de um ensaio de digestibilidade aparente com coleta total de fezes e urina. Utilizam-se diferentes níveis nutricionais, tais como restrito para manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*, com diferentes proporções de volumoso e concentrado. O jejum alimentar é utilizado como ferramenta para estudo do metabolismo basal dos animais. O conhecimento da produção de calor pelo animal em diferentes fases fisiológicas, com diferentes dietas, permite a estimativa dos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção, ganho de peso, gestação e lactação.

INTRODUÇÃO

A calorimetria é baseada nas leis que regem a termodinâmica, em que “a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada” e “a quantidade de energia liberada ou absorvida em um sistema não depende dos caminhos transcorridos durante sua transformação, mas apenas da energia contida nos reagentes e nos produtos finais” (Lavoisier, 1780). Na calorimetria indireta, também conhecida como respirometria, as trocas gasosas realizadas entre o organismo e o meio são medidas. Conhecendo-se o consumo de oxigênio (O_2) e a produção de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), calculam-se as perdas energéticas por gases e calor. O Laboratório de Calorimetria e

Metabolismo da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais, foi o primeiro laboratório a construir câmaras respirométricas na América Latina. Desde 2009, foram realizados experimentos para avaliar o metabolismo energético e a produção de metano. Os resultados obtidos são expressos em energia líquida (EL), que pode ser energia líquida para manutenção (EL_m), energia líquida para produção de leite (EL_l), energia líquida para ganho de peso (EL_g) e energia líquida para gestação (EL_{gest}). Determina-se o que de fato foi utilizado pelo animal nas funções produtivas descritas. Calculam-se os fatores de conversão dos nutrientes digestíveis totais (NDT) para energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), e desta última para cada função fisiológica ou EL. Determinam-se os valores de *k* (eficiência de conversão da EM em EL) para manutenção (*km*), produção de leite (*kl*), ganho de peso ou crescimento (*kg*) e gestação (*kgest*).

RESPIROMETRIA EM SISTEMA DE CIRCUITO ABERTO

Na respirometria em circuito aberto, o animal é alojado em uma câmara com sistema de vedação que não permite qualquer troca gasosa entre o ar no interior da mesma e o ar externo, a não ser pelo próprio sistema de circulação de ar. Um fluxômetro de massa corrige o fluxo de ar em função da temperatura, pressão e umidade, sendo a concentração de CO_2 no interior da câmara nunca superior a 1%. Durante as 24 horas de medições, o equipamento analisador (marca *Sable*) realiza leitura a cada cinco minutos das concentrações de CO_2 , O_2 e CH_4 , no ar atmosférico e no ar que sai da câmara. Estas concentrações, multiplicadas pelo volume de

ar que passou pela câmara durante o tempo de mensuração, permitem calcular quanto de O₂ foi consumido e quanto de CO₂ e CH₄ foram produzidos (Rodríguez et al., 2007).

Um fator de correção deve ser gerado para ajuste das leituras, que devem estar dentro de valores adequados de quociente respiratório. A calibração dos analisadores de gás é realizada sempre que o equipamento for utilizado, e consiste em injetar, a fluxo constante, gases com concentrações conhecidas no sistema de análise. Com o objetivo de calibrar os analisadores para o valor zero de concentração dos gases é utilizado nitrogênio puro. Para calibrar os analisadores de O₂ é utilizado ar atmosférico - assumindo-se que este apresenta concentração de O₂ constante (20,948%) e mistura de gases com concentrações conhecidas, CO₂ a 5% diluído em nitrogênio, e metano a 1%, também diluído em nitrogênio.

RESPIROMETRIA PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CALOR

Um ensaio de digestibilidade aparente é realizado imediatamente antes de toda medição na câmara respirométrica. A coleta total de fezes é realizada por cinco dias e de urina por 24h. Em seguida, o animal é confinado por 24h na câmara respirométrica. Os procedimentos e a especificação do sistema foram descritos por Rodríguez et al. (2007). As determinações da produção de calor são realizadas com os animais alimentados em nível de produção de acordo com o tratamento estabelecido (manutenção do peso, intermediário e *ad libitum*), nas diferentes fases fisiológicas, ou após jejum de 48h de sólidos. Os volumes (L/dia) de O₂ consumido, CO₂ e CH₄ produzidos em 24h e o nitrogênio urinário excretado (Nu, g/dia) são utilizados para estimar a produção de calor (PCalor), conforme a equação de Brouwer (1965): $PCalor (kcal) = (3,866 \times VO_2) + (1,200 \times VCO_2) - (0,518 \times VCH_4) - (1,431 \times Nu)$. A EM da dieta é determinada subtraindo-se da energia bruta consumida (EB) as perdas energéticas das fezes, urina e metano. Quantifica-se a energia perdida na forma de metano assumindo-se a perda de 9,45 kcal/L CH₄ produzido (Brouwer, 1965).

As concentrações de ED e EM da dieta, expressas em Mcal/kg MS são obtidas durante ensaio de metabolismo.

A medição das trocas gasosas na câmara é realizada pelo menos duas vezes com cada animal, sendo uma vez com o animal alimentado e outra vez com o animal submetido a 48 horas de jejum de sólidos. Dessa forma, conhece-se a produção de calor do animal alimentado e em jejum, sendo esta última correspondente ao valor de energia líquida necessária para a manutenção do animal. A diferença entre os valores obtidos com o animal alimentado e em jejum corresponderá ao incremento calórico, e conhecendo-se o teor de EM da dieta pode-se então determinar o valor de EL da mesma (Kleiber, 1975).

Uma vez que alguns autores mencionam valores altos para estimativa da exigência de ELM a partir da produção de calor em jejum, também foi realizada nos experimentos a regressão da produção de calor em diferentes planos alimentares, em função do consumo de energia metabolizável, estimando-se a exigência líquida para manutenção por extrapolação.

BANCO DE DADOS

O banco de dados de mensurações de trocas respiratórias compreende uma série de experimentos realizados no Laboratório de Calorimetria e Metabolismo da UFMG usando câmaras respirométricas, a partir de 2009. Foram consideradas 202 avaliações, tendo sido descartadas aquelas que não se ajustaram adequadamente. Os animais eram pertencentes aos grupos genéticos zebuínos (Nelore, Gir e Guzerá) e cruzados de leite (F1 Holandês × Gir). Os volumosos utilizados foram feno de *Tifton-85* (*Cynodon spp*) e silagens de sorgo (*Sorghum bicolor*), milho (*Zeamays*) e de capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzania), em proporções de volumoso:concentrado variando de 100:0 a 50:50. O concentrado era composto de milho farelado, farelo de soja e suplemento mineral. Os animais foram alimentados nos planos nutricionais manutenção, *ad libitum* e intermediário (ganhos leves, 0,5 a 0,6 kg/dia). A Tabela 6.1 descreve o banco de dados utilizado.

Tabela 6.1 - Características do banco de dados utilizado no desenvolvimento e validação das equações de produção de metano

Fonte	Título/Ano	N	Classe sexual	Grupo genético	Raças	Plano nutricional
Ochoa, Sandra Lúcia Posada	Doutorado, 2010	5	Macho não castrado	Zebuíno	Nelore	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Silva, Ricardo Reis	Doutorado, 2011	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹ Holandês	Mantença
Lage, Helena Ferreira	Mestrado, 2011	12	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença
Fonseca, Marcelina Pereira da	Mestrado, 2012	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	<i>Ad libitum</i>
Vivenza, Paolo Antônio Dutra	Doutorado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Ferreira, Alexandre Lima	Doutorado, 2014	15	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Pancoti, Carlos Giovani	Doutorado, 2015	18	Fêmea vazia	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹ Holandês	<i>Ad libitum</i>
Lage, Helena Ferreira	Doutorado, 2015	12	Fêmea gestante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Restrito ²
Carvalho, Pedro Henrique de Araújo	Mestrado, 2016	12	Fêmea lactante	Zebuíno, Cruzado de leite	Gir HolxGir ¹	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Souza, André Santos	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Nelore Guzerá	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Duque, Anna Carolinne Alvim	Doutorado, 2016	12	Fêmea	Zebuíno	Guzerá	Mantença Restrito ² <i>Ad libitum</i>
Silva, Juliana Sávia	Doutorado, 2016	20	Macho não castrado	Cruzado de leite	HolxGir ¹	Restrito <i>Ad libitum</i>

¹Animais F1 Holandês × Gir.

²Restrito = nível de alimentação intermediário entre o consumo *ad libitum* e o consumo em nível de manutenção.

A relação entre as variáveis independentes e dependentes foi estimada utilizando-se o modelo estatístico:

$$Y = B_0 + B_1X_{1ij} + b_0 + b_1X_{1ij} + B_2X_{2ij} + \dots + B_nX_{nij} + e_{ij},$$

em que B_0 , B_1X_{1ij} , e B_2X_{2ij} , . . . , B_nX_{nij} são efeitos fixos (intercepto e efeitos das variáveis independentes); b_0 , intercepto, b_1 , *slope* e e_{ij} , efeitos aleatórios dos experimentos ($i=1, \dots, n$ estudos e $j=1, \dots, n_i$ valor). Para as análises estatísticas utilizou-se o programa Minitab 16. Equações de regressão múltipla foram desenvolvidas utilizando-se modelo misto irrestrito. Para escolha das variáveis a serem incluídas no modelo foram utilizados os

procedimentos de regressão *stepwise* e *bestsubsets*. Cada variável foi testada quanto ao seu efeito aleatório do intercepto para seleção de melhor ajuste com base no menor RQMR (raiz do quadrado médio do resíduo) e CP de Mallows. A presença de colinearidades entre as variáveis independentes foi avaliada. As equações que apresentaram melhor ajuste foram selecionadas.

A estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão da média) para todas as variáveis no desenvolvimento das equações de predição da produção de metano e fracionamento energético encontram-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Estatística descritiva das variáveis: produção de metano (CH₄), consumo de matéria seca (CMS), CMS por peso metabólico, peso corporal (PC), consumo de fibra em detergente neutro (CFDN), CFDN por peso corporal metabólico, CFDN digestível (CFDNDig), consumo de energia bruta (CEB), consumo de energia digestível (CED), consumo de energia metabolizável (CEM) e energia bruta do metano (EBCH₄) para bovinos zebuínos (n = 95) e cruzado de leite (n = 107)

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	EPM
CH ₄ , L/dia	73,9	313	165	122	4,60
CMS, kg/dia	2,92	13,4	6,08	5,70	0,21
CMS, g/PC ^{0,75}	41,0	214	96,5	94,3	2,30
PC, kg	180	683	366	381	9,70
CFDN, kg/dia ¹	1,27	9,21	3,18	3,84	0,11
CFDN, g/PC ^{0,75}	16,3	72,4	38,6	40,6	1,20
CFDNDig, kg/dia	0,70	4,39	1,94	1,78	0,08
CEB, Mcal/dia	12,8	89,1	38,4	32,5	1,47
CED, Mcal/dia	9,10	62,8	27,6	24,5	1,17
CEM, Mcal/dia	8,05	53,4	23,4	20,3	0,98
EBCH ₄ , Mcal/dia	0,70	6,58	2,31	1,83	0,09

¹FDN = fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína.

RESULTADOS

Animal, raça, classe sexual e estágio fisiológico foram avaliados e não apresentaram efeito significativo sobre a produção de metano. De modo contrário, verificou-se significância para efeito de autor, que foi considerado para o desenvolvimento das equações a seguir. Excluiu-se o banco de dados de determinado experimento quando houve pequeno ajuste destes com os modelos em desenvolvimento. Utilizando-se as variáveis selecionadas pelos procedimentos *stepwise* e *best subsets*, foram obtidas equações para estimativa da produção de metano, apresentadas na Tabela 6.3, juntamente com a solução dos efeitos fixos das equações de regressão para a predição da produção diária de metano (CH₄) expressa em litros/dia e seus respectivos coeficientes de determinação (R²).

Avaliando-se os parâmetros obtidos das regressões, observa-se que os coeficientes de determinação ajustados (R²) foram elevados e os valores de RQMR foram relativamente baixos. Quando analisado como efeito fixo no modelo de regressão, o consumo de matéria seca (CMS) explicou 87,7% da variação na produção de metano, não havendo melhorias no modelo de predição com a inclusão de outras variáveis preditoras. O mesmo ocorreu com o consumo de EB (CEB). Adicionalmente, foi testado efeito quadrático para CMS e, apesar de significativo (P<0,001), não houve melhora no ajuste do modelo de regressão, o que sugere o uso do modelo mais simples. Na Figura 6.1 verifica-se a produção de metano em função do CMS.

Tabela 6.3 - Solução dos efeitos fixos de equações de regressão com base nas variáveis: consumo de matéria seca (CMS), consumo de energia bruta (CEB), teor de proteína bruta na dieta (PB) e proporção de volumoso na dieta (V)

Equações		1	2	3
Intercepto	Estimativa	37,52	30,87	-439,0
	EP	4,773	5,238	199,2
	Valor P	<0,001	<0,001	0,030
CMS (kg/dia)	Estimativa	19,33	---	21,71
	EP	0,7629	---	1,528
	Valor P	<0,001	---	<0,001
CEB (Mcal/dia)	Estimativa	---	4,777	---
	EP	---	0,1969	---
	Valor P	---	<0,001	---
PB (g/kg)	Estimativa	---	---	1,155
	EP	---	---	0,445
	Valor P	---	---	0,011
V (%) ¹	Estimativa	---	---	417,3
	EP	---	---	189,1
	Valor P	---	---	0,030
RQMR (L/dia)		17,25	17,89	17,79
R ²		0,877	0,867	0,806

¹V (%) = porcentagem de volumoso na dieta, expressa em escala de 0 a 1.

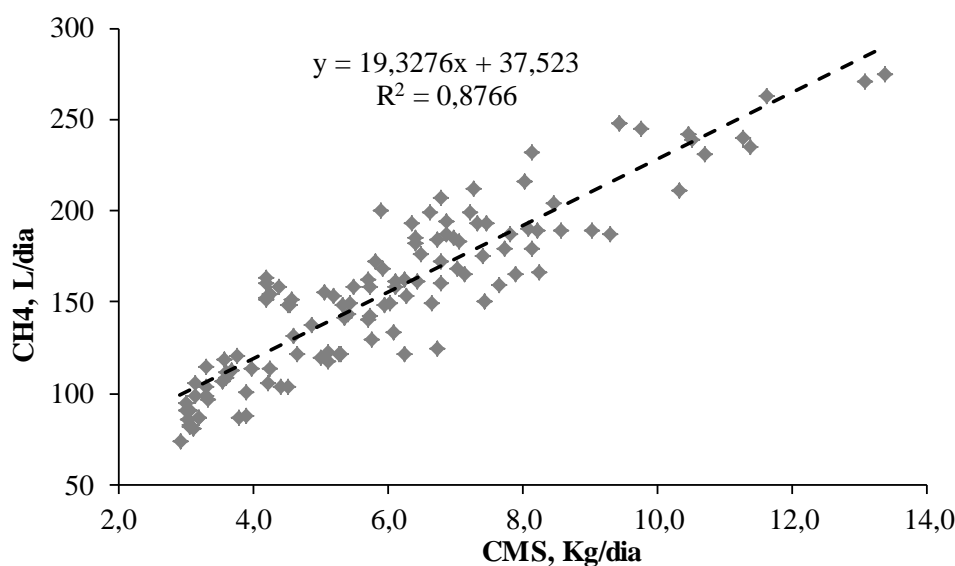


Figura 6.1- Relação entre a produção diária de metano e o consumo de matéria seca. Os pontos representam as avaliações consideradas para o desenvolvimento do modelo (n=125).

Alguns autores corroboraram essa forte relação positiva, considerando o CMS como fator preponderante para produção de metano, independente da dieta consumida (Kriss 1930, Axelsson 1949, Shibata et al., 1993). Algumas equações foram desenvolvidas relacionando produção de metano à composição dietética (Moe e Tyrell,

1979; Bratzler e Forbes, 1940), e ao CED, CEB e ao nível de alimentação (Blaxter e Clapperton, 1965). Mais recentemente, Ramin e Huhtanen (2013) desenvolveram equações mais complexas associando variáveis como CMS, consumo de matéria orgânica (CMO), consumo de extrato etéreo (CEE), relação carboidratos não fibrosos:carboidratos totais (CNF:CHOT) e

digestibilidade da matéria orgânica (DMO), cujas equações apresentaram baixos valores de RQMR (21,0 - 21,1 L/dia), atestando a acurácia da estimativa. Entretanto, considerando-se a maior facilidade de determinação e maior disponibilidade de informações quanto à variável CMS, recomenda-se a utilização da equação apresentada na figura 6.1 para predição da

produção de metano entérico por bovinos em crescimento em condições tropicais.

Com o objetivo de avaliar as relações entre a quantidade de energia perdida na forma de metano e os consumos de EB (Figura 6.2) e ED (Figura 6.3) realizaram-se análises de regressão entre estes valores, as quais foram significativas e cujos erros de predição foram de 0,546 e 0,532 Mcal, respectivamente.

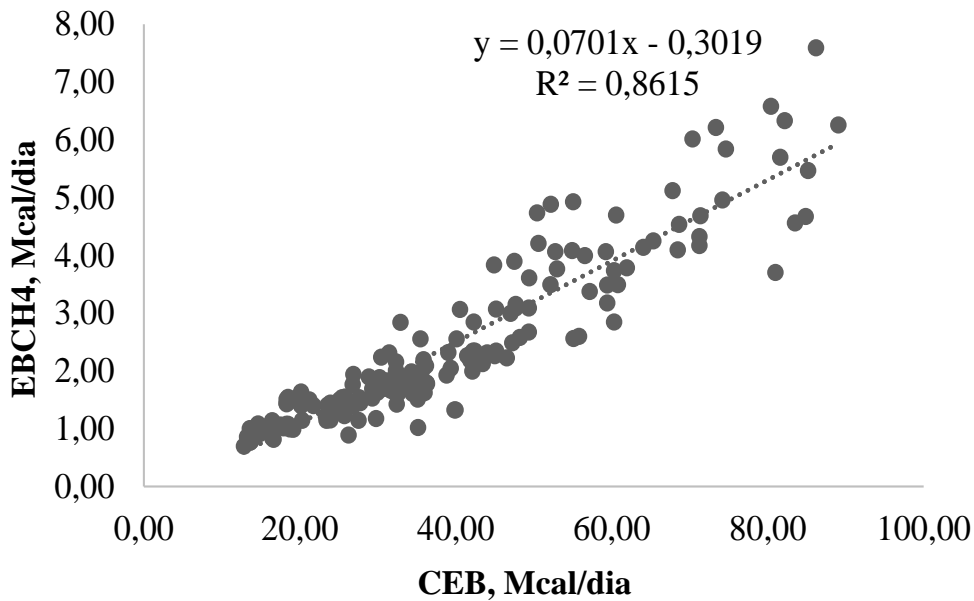


Figura 6.2 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia bruta. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

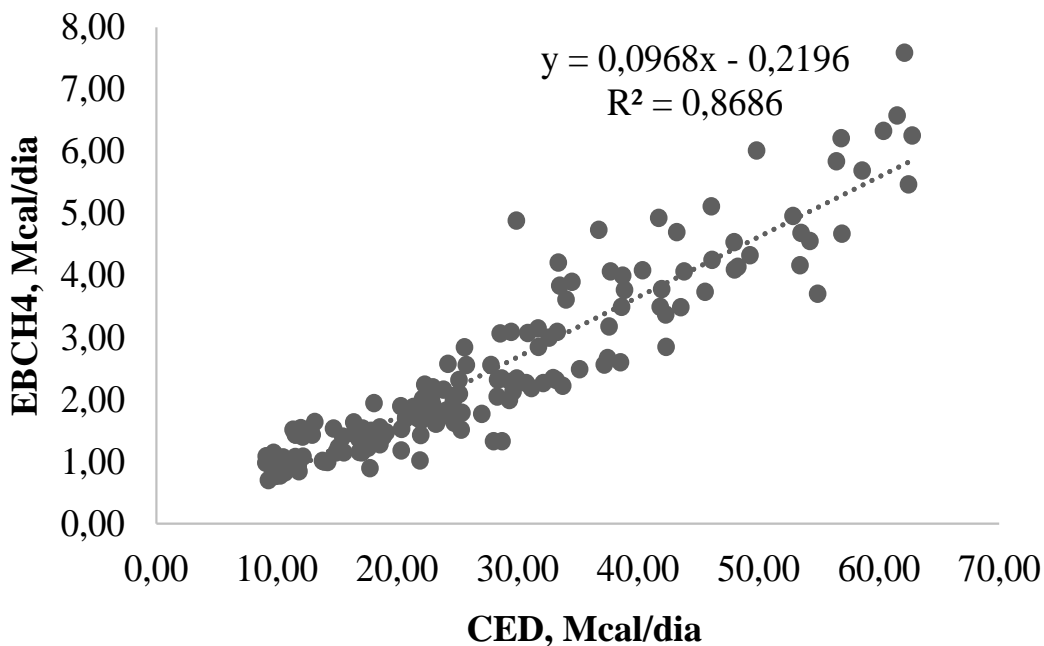


Figura 6.3 - Relação entre perda de energia bruta na forma de metano e o consumo de energia digestível. Os pontos representam todas as avaliações contidas no banco de dados.

Mcallister et al. (1996) mencionaram a importância da disponibilidade de nutrientes para a microbiota ruminal como fator primordial que define o limite superior de produção. Desse modo, quando há menor eficiência de crescimento microbiano, ou seja, menor eficiência de síntese de proteína microbiana, ocorrerá baixa relação proteína:energia nos nutrientes absorvidos e, conseqüentemente, maior produção de metano. Portanto, a emissão de metano em relação à produtividade do ruminante depende da eficiência fermentativa no rúmen e da eficiência de conversão do alimento em produtos animais. Leng et al. (1993) citaram que bovinos submetidos a dietas de baixa qualidade perderam cerca de 15 a 18% da ED na forma de metano, ao passo que o fornecimento de dietas balanceadas reduziu a emissão de metano em torno de 7%.

Diversos estudos demonstraram que aumentando a produtividade animal há uma redução na proporção de metano produzido por unidade de produto. Segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA, 2005) 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. Correlações moderadas foram obtidas (- 0,49; $P=0,03$) no estudo de Ferreira (2014), 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).

Moss (1994) citou que em forragens de baixa qualidade a adição de nutrientes para os microrganismos incrementa a eficiência do crescimento microbiano, pois aumenta a eficiência do processo fermentativo no rúmen com decréscimo na atividade metanogênica por unidade de carboidratos degradados. Entretanto, há aumento na produção de metano por animal, pois maior quantidade de matéria orgânica é fermentada, variando de 8,4% a 12,3% do CEB. Verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 6.2, que representa 7% do CEB, é ligeiramente inferior aos valores

sugeridos pela literatura consultada. De forma semelhante verificou-se que o coeficiente de regressão da equação apresentada na Figura 6.3 representou 9,68% da CED.

Os resultados de ELM, eficiência de utilização da EM para manutenção (km), ganho de peso (kg), gestação ($kgest$) e leite (kl), obtidos nos diferentes experimentos, estão apresentados na Tabela 6.4.

Em um trabalho com cruzados leiteiros, Ferreira (2014) avaliou a produção de calor em jejum de machos não castrados em diferentes planos alimentares, correspondentes a 1; 1,5 e 2 vezes ($1\times$, $1,5\times$ e $2\times$) o CMS para manutenção do peso. O consumo de O_2 ($L/PC^{0,75}$), em estado de jejum e alimentado, não diferiu entre os animais em $1x$ e $1,5x$ a manutenção, apresentando valores médios de 22,25 e 30,35 $L/PC^{0,75}$, que representaram um aumento de 36,4% no consumo de O_2 em função da ingestão de alimento. O tratamento $2\times$ apresentou os maiores ($P<0,001$) consumos de O_2 , com valores de 26,77 e 39,03 $L/PC^{0,75}$ para os animais em estado de jejum e alimentados, respectivamente. A produção de CO_2 , de maneira semelhante ao consumo de O_2 , foi maior nos animais com $2\times$, os quais apresentaram produções 21,2 e 37,6% superiores ($P<0,001$) aos animais do grupo $1x$, quando em estado de jejum e alimentados.

A produção de calor em jejum (PC_j) foi maior ($P<0,001$) para o grupo $2x$ (133,3 $kcal/PC^{0,75}$) em comparação aos demais grupos (112,1 e 107,9, respectivamente), entre os quais a PC_j não diferiu. Os menores consumos de O_2 e produções de CO_2 ocorridos com a redução da ingestão estão de acordo com os resultados obtidos por Ferrell et al. (1986) que 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. 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 às 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).

Tabela 6.4 - Exigência de energia líquida para manutenção (ELm) e eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (km), ganho de peso (kg), gestação ($kgest$) e produção de leite (k_l) de animais zebuínos e cruzados, em diferentes faixas de peso e estádios fisiológicos ($status$)

Crescimento							
Fonte	Categoria	Status	PC (kg)	Raça	ELm	km	kg
Ochoa	Zebuíno, macho não castrado	Crescimento	200	Nelore	124 ²	0,65	0,23
					116 ³	0,60	
			300		94,0 ²	0,60	0,25
					92,0 ³	0,59	
			400		98,0 ²	0,70	
	92,0 ³	0,65	0,40				
	450	83,0 ²	0,65		0,40		
			84,0 ³		0,64		
Fonseca	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	250	F1 HxG	-	-	0,27
Ferreira	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento	350	F1 HxG	108 ²	0,76	0,23
					74,6 ³	0,60	
Silva	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	300	Gir	88,0 ²	0,60	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	95,6 ²	0,67	-
Pancoti	Zebuíno, novilha, vazia	Crescimento	400	Gir	83,9 ²	-	-
	Cruzado de leite, novilha, vazia			F1 HxG	96,7 ²	-	-
Silva	Cruzado de leite, macho não castrado	Crescimento 0-60 dias	30-60	F1 HxG	73,71 ²	0,67	0,45
Maturidade e Gestação							
Fonte	Categoria	Status	PC	Raça	ELm	km	$kgest$
	Zebuíno, fêmea, vazia	Maturidade	450	Gir	76,8 ²	0,64	-
	Cruzado de leite, fêmea, vazia			F1 HxG	92,0 ²	0,63	-
Lage ¹	Zebuíno, fêmea, gestante	Gestação	Peso	Raça	ELgest (Mcal/d)	km	$kgest$
		180 dias	450	Gir	2,86	-	0,15
		210 dias			2,33	-	
	240 dias	1,62			-		
	Cruzado de leite, fêmea, gestante	180 dias	550	F1 HxG	2,70	-	
		210 dias			2,71	-	
240 dias		2,88			-		
Lactação							
Fonte	Categoria	Status	Peso	Raça	ELm	EL _l ⁴	k_l ⁵
Vivenza	Zebuíno, vaca, Lactante	1° terço lactação	453	Gir	79,1 ³	0,778	0,69
	Cruzado de leite, vaca, lactante	1° terço lactação	526	F1 HxG	88,3 ³	0,778	0,72

¹Dados referentes à dissertação de mestrado e à tese de doutorado.

²Exigência de energia líquida para manutenção (ELm²) obtida pela produção de calor em jejum (PC_j).

³Exigência de energia líquida para manutenção (ELm³) obtida por extrapolação.

⁴Exigência de energia líquida para lactação (Mcal/kg de leite).

⁵Eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação.

Observou-se, no presente estudo, aumento linear ($P < 0,001$) da PC_j com o aumento da ingestão de MS. 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 à manutenção ou ao ganho

torna-se uma questão de semântica, como o próprio ARC (1980) relata, uma vez que a relação curvilínea entre a energia retida 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.

Alguns autores relatam valores de ELM aumentados quando estimados pela PC_j. Ochoa (2010) e Ferreira (2014) fizeram a equação de regressão obtida pelo logaritmo da produção de calor (PC_j) medida na câmara respirométrica, em diferentes planos alimentares, em função do CEM. Os valores encontrados pela extrapolação para ingestão de energia metabolizável igual a zero corresponderam aos valores de “ELM³” descritos na Tabela 6.4. Verifica-se que estes valores de ELM³ são inferiores aos obtidos pela PC_j (ELM²), e mais próximos aqueles obtidos em experimentos com abate comparativo. Os trabalhos encontram-se em fase inicial, e precisam ser incrementados, uma vez que podem indicar a modificação da metodologia adotada nos experimentos com respirometria. Da mesma forma que a ELM, o *km* encontrado a partir da ELM³ diferencia-se do valor obtido a partir da ELM².

A eficiência de conversão da ED em EM é influenciada por vários fatores, tais como taxa de crescimento microbiano no rúmen,

produção de metano, relação entre energia e proteína na dieta, eficiência de utilização da proteína metabolizável, entre outros. O ARC (1980) relata que a relação EM/ED é de aproximadamente 0,82. O CSIRO (1990) e o NRC (2000) sugerem um valor de 0,81 e 0,80, respectivamente, enquanto o AFRC (1993) utiliza valores de 0,81 a 0,86, e relações mais elevadas, de 0,89 a 0,92, foram encontradas por Hales (2013). Realizou-se a análise das relações entre ED e EM determinadas a partir de ensaios de metabolismo em câmaras respirométricas. O efeito de autor foi significativo, sendo considerado para o desenvolvimento dos modelos plotados (Figuras 6.4 e 6.5). Os dados apresentados demonstraram a alta dependência da variável CEM em função do CED (Figura 6.4, R²=0,99). Considerando-se que em todos os experimentos estudados as perdas por metano foram medidas em câmara respirométrica, e não estimadas, é importante ressaltar que a relação EM/ED foi sempre superior a 0,82.

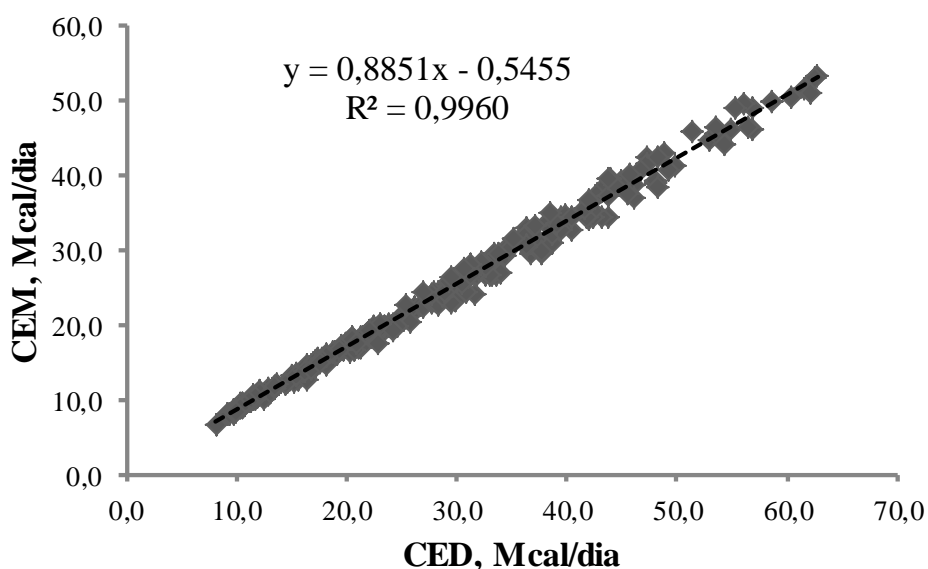


Figura 6.4 - Relação entre o consumo de energia digestível e o consumo de energia metabolizável expressas em Mcal por dia.

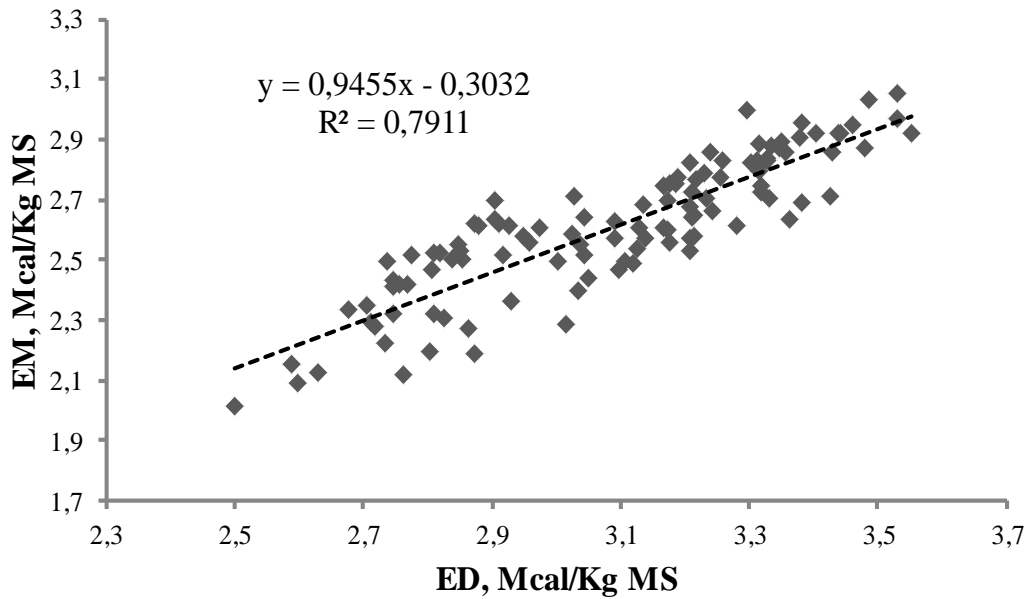


Figura 6.5 - Relação entre energia digestível e energia metabolizável expressas em Mcal por kg de matéria seca.

De modo semelhante Galyean et al. (2016) propuseram um modelo para predição da EM a partir da ED, em Mcal/kg de MS, a partir da análise de 23 trabalhos publicados em várias revistas entre os anos de 1975 e 2015. A predição da EM a partir de um modelo linear apresentou forte correlação com componentes da dieta, porém o aumento na precisão do modelo com a inclusão das

variáveis %PB, %EE e %amido foi pequeno, sendo que os autores recomendaram o uso de uma regressão linear simples. A comparação entre o modelo proposto (Figura 6.5) e aquele sugerido por Galyean et al. (2016) pode ser visualizada na Figura 6.6.

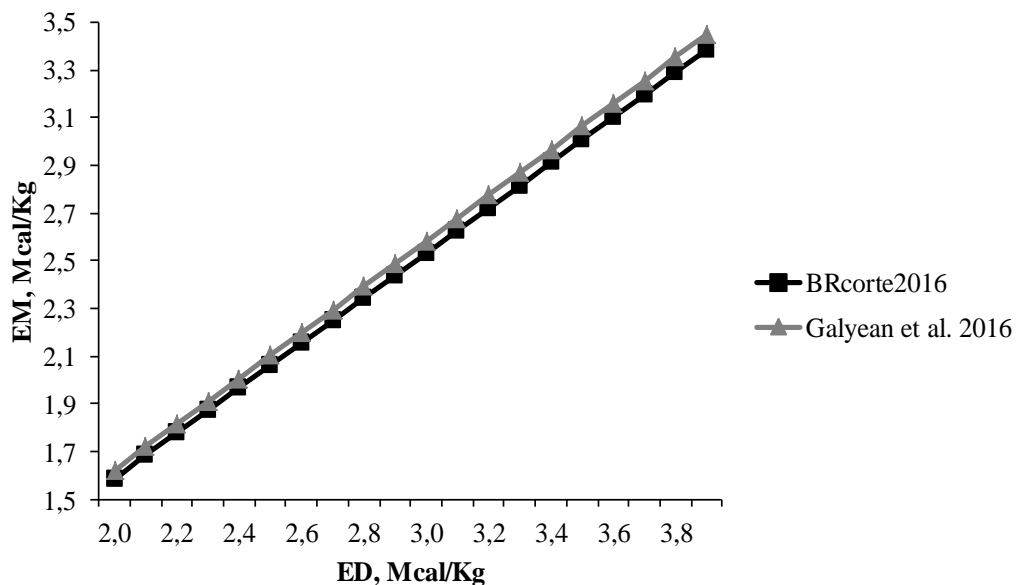


Figura 6.6 - Predição da EM (Mcal/kg) a partir da ED (Mcal/kg) segundo os modelos propostos por BR-CORTE (2016) e Galyean et al. (2016).

Como pode ser observado na Figura 6.6, há grande semelhança entre os valores preditos pelos modelos. Verificou-se que a eficiência de conversão da EM proposta por Galyean et al. (2016) é superior à eficiência encontrada pela conversão da ED em EM utilizando-se o modelo proposto neste trabalho (BR-CORTE, 2016; Figura 6.5). Ressalta-se que o banco de dados nacional contém maior número de trabalhos em que se utilizaram dietas com menor densidade energética do que as de Galyean et al. (2016). Sendo assim, recomenda-se o uso do modelo linear simples, proposto na Figura 6.4, como forma de se determinar a EM a partir da ED.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), INCT Ciência Animal – CNPq, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Fazenda Santa Paula – Curvelo (MG), Fazenda Canoas – Luz (MG), Fazenda Agropecuária Conesol, Campos Altos – MG, BR-Nova Sistemas Nutricionais.

REFERÊNCIAS

- Agricultural and Food Research Council - AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International. 159p. 1993.
- Agricultural Research Council - ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock*. The Gresham Press, London. 1980.
- Axelsson, J. *The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle*. Annual Research Agricultural College Sweden, 16. 1949.
- Blaxter, K. L.; Clapperton, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19:511-522, 1965.
- Bratzler, J. W.; Forbes, E. B. The estimation of methane production by cattle. *Journal of Nutrition* 19:611-613, 1940.
- Brouwer, E. Report of sub-committee on constants and factors. p. 441 – 443. In: *Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism*. Blaxter, K. L., ed. E.A.A.P. Publication No. 11. Academic Press, London, New York. 1965.
- Carvalho, P. H. A. *Consumo, digestibilidade, perfil metabólico e exigências nutricionais de energia para manutenção e lactação de vacas Gir e F1 Holandês x Gir em diferentes planos nutricionais*. Dissertação. (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 2007.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization - CSIRO. *Feeding standards for Australian Livestock: Ruminants*. CSIRO publications, Victoria. 1990.
- Duque, A. C. A. *Eficiência alimentar, perfil metabólico e trocas gasosas em novilhas da raça Guzera submetidas a diferentes planos de alimentação*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Environmental Protection Agency - EPA. *Opportunities to Reduce Anthropogenic Methane Emissions in the United States*. Publication 430-R-93-012. EPA, Washington D.C. 2005.
- Ferreira, A. L. *Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x Gir determinadas pelas metodologias de abate comparativo e respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2014.
- Ferrell, C. L.; Koong, L. J.; Nienaber, L. A. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *British Journal of Nutrition*, 56:595-605, 1986.
- Fonseca, M. P. *Consumo, digestibilidade aparente e emissão de metano em novilhos F1 Holandês x Gir suplementados com monensina e/ou virginiamicina*. – Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2012.
- Fonseca, M. P. *Valor energético de dietas para bovinos obtido por respirometria calorimétrica*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2016.

- Galyean, M. L.; Cole, N. A.; Tedeschi, L.O.; Branine, M. E. Efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94:1329-1341. 2016.
- 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. *Journal of Animal Science*, 92:264-271. 2013.
- Kleiber, M. *Bioenergetica Animal. El fuego de la vida*. 1972. 1 ed. Editorial Acirbia, Zaragoza.
- Kriss, M. Quantitative relations of the dry matter of the food consumed the heat production, the gaseous outgo and the insensible loss in body weight of cattle. *Agriculture Research* 40:283, 1930
- Lage, H. F. *Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir*. Dissertação (M.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2011.
- Lage, H. F. *Partição da energia e exigências nutricionais no terço final da gestação e avaliação do perfil metabólico durante o período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir*. Tese. (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte. 2015.
- Lavoisier, A. L.; Laplace, P. S. M. *Mémoires sur la Chaleur*. Mémoires de L'Académie des Sciences, Paris. 1780.
- Leng, R. A. Quantitative ruminant nutrition – A green house science. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44:363 – 380, 1993.
- Mcallister, A. T.; Okine, E. K.; Mathison, G. W. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76:231-243, 1996.
- Moe, P. W.; Tyrrel, H. F. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 62:1583 – 1586, 1979.
- Moss, A. R. Methane production by ruminants – Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutrition Abstracts Reviews Serie B* 64:786-806, 1994.
- National Research Council NRC. 2000. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. National Academic Press, Washington, D.C.
- Ochoa, S. L. P. *Balance y determinación de exigências de energia em ganado Nelore durante las etapas de levante y ceba*. Tese (D.Sc.) – Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 2010.
- Pancoti, C. G. *Exigências nutricionais de energia em novilhas Gir, Holandês e F1 Holandês x Gir*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2015.
- Ramin, M.; P. Huhtanen, P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *Journal of Dairy Science*, 96: 2476-2493. 2013.
- Rodríguez, N.M; Campos, W.E.; Lachica, M.L. Borges, I; Gonçalves, L.C.; Borges, A.L.C.C.; Saliba, E.O.S. A calorimetry system for metabolismo trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:495-500, 2007.
- Shibata, M.; Terada F.; Kurihara, M; Nishida, T.; Iwasaki, K. 1993. Estimation of methane production in ruminants. *Animal Science Technology* 64:790 – 796.
- Shibata, M.; Terada, F.; Iwasaki, K.; Kurihara, M; Nishida, T. Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratio. *Animal Science Technology*, 63:1221-1227, 1992.
- Silva, J. S. *Exigências de energia em bezerras lactentes F1 Holandês x Gir, utilizando a respirometria*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Silva, R. R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2011.
- Souza, A. S. *Exigência de energia líquida para manutenção e ganho de peso de novilhas Nelore e Guzerá*. Tese (D.Sc.) – Escola de Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.
- Vivenza, P. A. D. *Exigências Nutricionais para Manutenção e Lactação e Perfil Metabólico de Vacas F1 Holandês x Gir e Gir, em Diferentes Planos Nutricionais*. Tese (D.Sc.) – Escola De Veterinária, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2016.