

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

**EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS PARA MANTENÇA E LACTAÇÃO E PERFIL
METABÓLICO DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR, EM DIFERENTES
PLANOS NUTRICIONAIS**

PAOLO ANTONIO DUTRA VIVENZA

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

2016

PAOLO ANTONIO DUTRA VIVENZA

**Exigências nutricionais para manutenção e lactação e perfil metabólico de vacas F₁
Holandês x Gir e Gir, em diferentes planos nutricionais**

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

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NUTRIÇÃO ANIMAL

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

BELO HORIZONTE

“Na vida, não vale tanto o que temos, nem tanto importa o que somos. Vale o que realizamos com aquilo que possuímos e acima de tudo, o que fazemos das nossas vidas com esse aprendizado”.

Chico Xavier

DEDICATÓRIA

Dedico, com muito amor, aos meus amados pais,
Antonio e Lindalva, pelo apoio e amor incondicional
em todos os momentos!!

Aos meus queridos irmãos, Piero e Stefano.
Mais do que irmãos, sempre grandes exemplos!

Por tudo de maravilhoso que aprendi com todos vocês!

Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e pela oportunidade de tentar ser cada dia um pouco melhor. Agradeço por tudo, por ser um privilegiado, e espero sempre caminhar mais próximo aos seus ensinamentos.

Aos meus pais, palavras jamais irão traduzir o sentimento de gratidão. Vocês que iluminaram os caminhos da vida com amor e dedicação, para que eu os trilhasse sem medo e cheio de esperança e sonhos. Muito obrigado por tudo!

Ao meu pai, independente de onde estiver, sei que está orgulhoso e muito feliz pela realização de um sonho e a finalização de uma etapa tão importante. Você foi sempre meu maior motivador. Sei que está sempre ao meu lado, me abençoando, protegendo e cuidando. Esse trabalho é seu. Muito obrigado por tudo!

Ao Piero e Stefano, meus queridos irmãos, pelo amor, amizade, incentivo, companheirismo, pelos sonhos compartilhados e por serem grande exemplos. Amo vocês, tenho muito orgulho de tê-los como irmãos.

A Professora Ana Luiza da Costa Cruz Borges, pela orientação, oportunidade, dedicação, exemplo, críticas e principalmente pela amizade sincera. Parabéns pela persistência em acreditar nesse projeto e muito obrigado pela oportunidade de executá-lo. Foi um grande prazer e aprendizado trabalhar em conjunto nesses últimos 8 anos, desde o início da iniciação científica até a conclusão do Doutorado.

Ao Professor Ricardo Reis, co-orientador, grande amigo e parceiro de longa data, pela amizade, apoio e valiosas contribuições. Muito obrigado pelo apoio na execução de todo o projeto, você foi peça fundamental. Valeu!

Ao Prof. José Reinaldo Mendes Ruas, pela imensa colaboração e apoio em todos os momentos. Agradecimento extensivo à EPAMIG, pelo empréstimo dos animais utilizados.

Ao querido Prof. Antonio Último de Carvalho, grande mestre, por sempre estar disposto a ajudar, contribuindo com nosso crescimento pessoal e profissional e pelo apoio imprescindível em todos os momentos.

Ao Prof. Elias Facury (Lobão), pelo imprescindível apoio e ensinamentos, por toda a colaboração e pelo exemplo de profissional!

Ao querido amigo e Prof. Ronaldo Braga Reis, pelo exemplo, pelos ensinamentos durante tantos anos e disciplinas, pela participação na banca de defesa, assim como pelas conversas e pelo contínuo incentivo na execução deste trabalho.

Ao grande amigo e Prof. Alan Maia Borges, pela amizade e colaboração em todos os momentos, assim como apoio fundamental na condução de parte do experimento no Hospital Veterinário.

Ao grande amigo e estagiário Rodrigo, braço direito na condução desse projeto. Com certeza você foi parte fundamental. Obrigado pela colaboração nas ordenhas (de domingo a domingo), manejo e doma dos animais.

Ao Pedro, amigo e parceiro de experimento, pelo grande apoio na condução desse projeto. Muito obrigado por toda colaboração e parceria.

A Helena Lage e Alexandre Ferreira, pela amizade verdadeira e colaboração na realização deste projeto.

Ao Dr. Fernando César Ferraz Lopes, por sempre estar disposto a colaborar, pela participação na banca de defesa e pelas valiosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Ao Prof. Iran Borges, Prof. Paulo Ricardo Paes, Profa. Fabíola Paes Leme, pela ajuda constante, contribuições e apoio na realização deste trabalho. Agradecimento extensivo a todos do Laboratório de Patologia Clínica, residentes, técnicos, que sempre nos auxiliaram na execução deste trabalho.

A todos os funcionários do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal e do Hospital Veterinário, pela colaboração em todos os momentos, pelo apoio, cuidado e carinho diário com os animais.

Aos residentes (Philippe, João Paulo, Ronaldo, Walquíria, Layanne) da Clínica de Ruminantes que foram fundamentais no sucesso deste trabalho. Muito obrigado pelo apoio no cuidado com os animais, vocês foram essenciais.

A todos os amigos, estagiários e alunos de iniciação científica da Equipe NUTRIRUM, pelo auxílio em todas as etapas deste experimento, pelo trabalho em conjunto, pela amizade e pelos bons momentos de convivência. Este trabalho é de todos vocês! Obrigado!

A Escola de Veterinária e à Universidade Federal de Minas Gerais, pela oportunidade de contínuo crescimento pessoal e profissional. Foram 10 anos de caminhada, desde o início da graduação. Muito aprendizado e oportunidades proporcionadas nesse período. Espero poder retribuir de alguma forma tudo que me foi proporcionado!

Ao Danilo, pela paciência e colaboração fundamental nas análises estatísticas.

Ao Toninho e à Fabiana, que atendiam às minhas dúvidas no Laboratório de Nutrição, sempre com muita paciência.

Aos animais Linguíça, Brahma, Odete, Nina, Xuxa, Herdeira, Jamaicana, Noela, Micola, Paçoca, Roxinha, 28 G, Farofa, Torresmo, Cavaco, Tição, Alice, Julieta, Bolt, Bacon. Sem vocês, nada disso seria possível.

A CAPES, pela bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram e torceram pelo sucesso deste trabalho!

Muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	14
RESUMO GERAL.....	16
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO GERAL.....	22
CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA	
1. ENERGIA – CONCEITO E PARTIÇÃO ENERGÉTICA NO ORGANISMO.....	24
1.1. ENERGIA LÍQUIDA DE MANUTENÇÃO (EL _m) E METABOLISMO BASAL.....	29
1.2. EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA: RELAÇÃO ENTRE ENERGIA METABOLIZÁVEL E LÍQUIDA DE MANUTENÇÃO (K _m) E LACTAÇÃO (K _l).....	33
1.3. ENERGIA LÍQUIDA DE LACTAÇÃO (EL _l).....	35
2. PERFIL METABÓLICO EM RUMINANTES.....	36
3. CURVA DE LACTAÇÃO EM ANIMAIS ZEBUÍNOS E SEUS CRUZAMENTOS.....	48
4. ESCORE DE CONDIÇÃO CORPORAL.....	52
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
CAPÍTULO II – CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS NUTRIENTES E BALANÇO DE NITROGÊNIO EM VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DE LACTAÇÃO	
1. RESUMO.....	63
2. INTRODUÇÃO.....	64
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5. CONCLUSÕES.....	88

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
------------------------------------	----

CAPÍTULO III – PARTIÇÃO ENERGÉTICA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE MANTENÇA E LACTAÇÃO DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DE LACTAÇÃO

1. RESUMO.....	92
2. INTRODUÇÃO.....	93
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	93
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
5. CONCLUSÕES.....	121
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

CAPÍTULO IV – PERFIL METABÓLICO, DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DE LACTAÇÃO

1. RESUMO.....	127
2. INTRODUÇÃO.....	127
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	128
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	133
5. CONCLUSÕES.....	150
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151

CAPÍTULO V – CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS NUTRIENTES, PARTIÇÃO ENERGÉTICA E PERFIL METABÓLICO DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR SUBMETIDAS A DIFERENTES PLANOS NUTRICIONAIS

1. RESUMO.....	154
2. INTRODUÇÃO.....	155
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	155
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	164
5. CONCLUSÕES.....	186
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	186

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Calorímetro de Armsby (1917).....	25
Figura 2. Partição energética nos ruminantes.....	27
Figura 3. Regressão entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e energia excretada no leite.....	33

CAPÍTULO 2

Figura 1. Relação entre a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação e os valores estimados pelo NRC (2001).....	79
Figura 2. Relação entre a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg MS) e a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) da dieta fornecida para vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação e os valores estimados pelo NRC (2001).....	80
Figura 3. Relação entre a concentração de energia líquida (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contígua.....	81

CAPÍTULO 3

Figura 1. Relação entre o consumo de matéria orgânica digestível (CMOD, kg/dia) e a produção de gás metano (litros/dia) por vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.....	104
Figura 2. Relação entre o CEM (kcal/ kg ^{0,75}) e a energia secretada no leite, ajustada para o balanço energético igual a zero (kcal/ kg ^{0,75}) de vacas F ₁ Holandês x Gir, no terço inicial de lactação.....	108
Figura 3. Relação entre o CEM (kcal/ kg ^{0,75}) e a energia secretada no leite, ajustada para o balanço energético igual a zero (kcal/ kg ^{0,75}), de vacas Gir no terço inicial de lactação.....	108
Figura 4. Relação entre o CEM (kcal/ kg ^{0,75}) e a produção de calor alimentado (kcal/ kg ^{0,75}) de vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.....	114
Figura 5. Partição energética e perdas proporcionais, em relação ao consumo de energia bruta (CEB), de vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.....	117
Figura 6. Proporção da energia líquida total (ELT) destinada para lactação, manutenção e ganho de peso, em vacas F ₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.....	121

CAPÍTULO 4

- Figura 1.** Produção de leite (kg/dia), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação.....133
- Figura 2.** Consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação.....136
- Figura 3.** CMS (kg/dia) predito pelos modelos AFRC (1993), NRC (2001), CSIRO (2007) e CMS real obtido em vacas F₁ Holandês X Gir, no terço inicial de lactação.....137
- Figura 4.** CMS (kg/dia) predito pelos modelos AFRC (1993), NRC (2001), CSIRO (2007) e CMS real obtido em vacas Gir, no terço inicial de lactação.....137
- Figura 5.** Consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite (PL), expresso em kg/dia, e escore de condição corporal (ECC) em vacas F₁ Holandês x Gir no terço inicial de lactação.....140
- Figura 6.** Consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite (PL), expresso em kg/dia, e escore de condição corporal (ECC) em vacas Gir no terço inicial de lactação.....140
- Figura 7.** Concentração plasmática média de AGNE (mmol/L), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação.....142
- Figura 8.** Concentração plasmática média de colesterol (mg/dL), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente (P<0,05).....145
- Figura 9:** Eficiência alimentar (kg LC4%G/ Kg CMS), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação.....147

CAPÍTULO 5

- Figura 1.** Perdas proporcionais, em relação ao consumo de energia bruta (CEB), de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, nos diferentes planos nutricionais.....174
- Figura 2.** Proporção da energia líquida total (ELT), em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir submetidas a diferentes planos nutricionais.....178

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Valores e equações propostos por diferentes comitês para a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m).....35

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição média da dieta experimental, expressa em % da matéria seca, oferecida para vacas F_1 Holandês x Gir e Gir nos períodos de avaliação correspondentes aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação.....66

Tabela 2. Consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia, % do peso vivo e g/ g/kg^{0,75}, digestibilidade da matéria seca (DMS), consumo de matéria seca digestível, expresso em kg/dia, g/kg^{0,75} e % do peso vivo, consumo de matéria orgânica (CMO), expresso em kg/dia, % do peso vivo e g/kg^{0,75}, digestibilidade da matéria orgânica (DMO) e consumo de matéria orgânica digestível (CMOD), kg/dia, em vacas F_1 Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação.....70

Tabela 3. Consumo (C) e digestibilidade da fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), nutrientes digestíveis totais (NDT), proteína bruta (PB), carboidratos não fibrosos (CNF), carboidratos totais (CHOT) e extrato etéreo (EE), em vacas F_1 Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação.....76

Tabela 4. Densidade energética da dieta fornecida para vacas F_1 Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação, expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED), nutrientes digestíveis totais (NDT), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) por quilograma de matéria seca (kg MS), e consumo de energia líquida, expresso em múltiplos da manutenção (x Manutenção).....78

Tabela 5. Concentração plasmática de nitrogênio ureico no plasma (NUP) e nitrogênio ureico no leite (NUL), expressa em mg/dL, proteína bruta ingerida (PB ing), nitrogênio ingerido (N ing), nitrogênio fecal (N fecal), urinário (N urinário), no leite (N leite) e balanço de nitrogênio, expressos em g/dia e % do N ingerido, eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite (eficiência N_{leite}) e balanço de nitrogênio (g/dia)83

Tabela 6. Peso vivo (kg), escore de condição corporal (ECC), variação do peso vivo (kg/dia), nitrogênio total retido (NTR, gramas/dia) e eficiência de retenção do nitrogênio total (ERNT), em vacas F_1 Holandês x Gir e Gir no terço inicial de lactação.....87

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição média da dieta experimental, expressa em % da matéria seca, oferecida para vacas F_1 Holandês x Gir e Gir nos períodos de avaliação correspondentes aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação.....95

Tabela 2. Peso vivo (kg), escore de condição corporal (ECC), consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia e % do peso vivo, consumo de energia bruta (CEB), expresso em Mcal/dia, kcal/PM e Mcal/kg MS, energia perdida nas fezes (E. Fecal), expressa em Mcal/dia

e % da EB ingerida e consumo de energia digestível (CED), expresso em Mcal/dia, kcal/PM e Mcal/kg MS.....100

Tabela 3. Produção de metano, expressa em litros/dia, litros/kg MS, litros/kg MOD, Mcal/dia e % da EB, energia perdida pela urina, expressa em Mcal/dia e % da EB, consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em Mcal/dia e Mcal/kg MS, e energia metabolizável (EM) da dieta, expressa em Mcal/kg MS.....103

Tabela 4. Produção de metano, expressa em litros/dia e kg/dia, produção de leite corrigida para 4% de gordura (PLC4%G), produção de sólidos totais (ST), expressa em kg/dia, relação kg CH₄ x kg sólidos totais, gramas de CH₄ x kg de leite e relação litros CH₄ x litros LC4%G (LCH₄/ LC4%G).....106

Tabela 5. Comparação entre a energia metabolizável de manutenção (EMm) e a eficiência de conversão da energia metabolizável em energia líquida do leite (KL), obtida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação, com valores propostos por diferentes tabelas internacionais.....110

Tabela 6. Consumo de energia metabolizável (CEM, Mcal/dia e kcal/ kg^{0,75}), q (EM/EB) (metabolizabilidade da dieta), relação ED/EM, energia metabolizável para manutenção (EMm,) e para produção de leite (EMl), expressa em Mcal/dia, EM da dieta, expressa em Mcal/kg MS, produção de calor alimentado (PCA), expressa em Mcal/dia e kcal/ kg^{0,75}, energia líquida para lactação (ELl) e para manutenção (ELm), expressa em Mcal/dia, energia líquida para produção de leite (ELl), expressa em Mcal/kg leite, incremento calórico da dieta (IC), expresso em Mcal/dia, kcal/ kg^{0,75}, Mcal/kg MS e % EB, energia retida (ER) e energia líquida total (ELT), expressas em Mcal/dia, energia líquida da dieta, expressa em Mcal/kg MS e consumo de energia líquida, em múltiplos da manutenção (x manutenção).....113

Tabela 7. Balanço de energia real (Mcal/dia), variação de peso vivo observada (kg/dia), energia retida em produtos (ERP, Mcal/dia), variação de peso vivo e balanço de energia estimados pelo NRC (2001).....118

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir no terço inicial de lactação.....130

Tabela 2. Concentração plasmática média, coeficiente de variação e valor de referência dos metabólitos sanguíneos, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.....144

CAPÍTULO 5

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir nos planos nutricionais *ad libitum*, R15 e R30.....157

Tabela 2. Consumo (C) e digestibilidade (D) dos nutrientes em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, sob diferentes planos nutricionais.....164

Tabela 3. Consumo de energia bruta (CEB), energia digestível (CED) e energia metabolizável (CEM), expresso em Mcal/dia e kcal/PM, energia nas fezes (E. Fecal), expresso em Mcal/dia e % da EB ingerida, produção de metano, expresso em litros/dia, litros/kg MS, litros/kg MOD, Mcal/dia e % da EB e energia da urina, expresso em Mcal/dia e % da EB.....167

Tabela 4. Produção de calor alimentado (PCA), expresso em Mcal/dia e kcal/PM, energia líquida do leite, expresso em Mcal/kg/leite, energia líquida de lactação (ELI) e manutenção (ELm), expresso em Mcal/dia, produção de leite (kg/dia), incremento calórico da dieta (IC), expresso em Mcal/dia, kcal/PM, Mcal/kg MS e % EB, energia retida (ER), energia retida em produtos (ERP), energia líquida total (ELT), expresso em Mcal/dia e consumo de energia líquida total em múltiplos da manutenção (x manutenção).....170

Tabela 5. Balanço de energia real (Mcal/dia), variação de peso vivo observada (kg/dia), energia retida em produtos (ERP, Mcal/dia), variação de peso vivo e balanço de energia estimados pelo NRC (2001), eficiência alimentar (kg MS/ kg leite).....176

Tabela 6. Produção de metano, expresso em kg/dia, produção de leite corrigida para 4% de gordura (PLC4%G), produção de sólidos totais (ST), expresso em kg/dia, relação kg CH₄ x kg sólidos totais, relação litros CH₄ x litros LC4%G (LCH₄/ LC4%G), relação gramas de CH₄ x kg de leite.....180

Tabela 7. Concentração plasmática de ácidos graxos não esterificados (AGNE), expresso em mmol/L, nitrogênio ureico no plasma (NUP), nitrogênio ureico no leite (NUL), glicose, triglicerídeos e colesterol, expresso em mg/dL e aspartato aminotransferase (AST), expresso em U/L, para vacas F₁ Holandês Gir e Gir em diferentes planos nutricionais.....180

Tabela 8. Nitrogênio ingerido (N ing), fecal (N fecal), urinário (N urinário), no leite (N leite) e balanço de nitrogênio, expresso em g/dia, e eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite (eficiência N_{leite}).....183

Tabela 9. Custo alimentar (R\$/animal/dia), receita total (R\$/animal/dia), receita menos custo alimentar (RMCA, R\$/dia) e eficiência bioeconômica (EBE) de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir em diferentes planos nutricionais.....185

LISTA DE ABREVIATURAS

AGNE.....	Ácidos graxos não esterificados
AST.....	Aspartato aminotransferase
BE.....	Balanço de energia
BHB.....	Beta-hidroxibutirato
°C.....	Graus Célsius
Ca.....	Cálcio
Ca:P.....	Relação Cálcio: Fósforo
CH ₄	Metano
CNF.....	Carboidratos não-fibrosos
CNTP.....	Condições normais de temperatura e pressão
CO ₂	Dióxido de Carbono
DEL.....	Dias em lactação
dL.....	Decilitro
EB.....	Energia bruta
EDTA.....	Ácido etilenodiaminotertracético
EE.....	Extrato Etéreo
EL.....	Energia líquida
ELm.....	Energia líquida de manutenção
EM.....	Energia metabolizável
EMm.....	Energia metabolizável de manutenção
ER.....	Energia retida
ERP.....	Energia retida em produtos
FDA.....	Fibra em detergente ácido
FDNcp.....	Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína
h.....	Horas
IC.....	Incremento calórico
Kcal.....	Kilocalorias
Kg.....	Quilograma
Km.....	Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção
Kl.....	Eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação
L.....	Litro
LCG4%.....	Produção de leite corrigida para 4% de gordura
µL.....	Micro litro
MB.....	Metabolismo basal
Mcal.....	Megacalorias
mg.....	Miligramas
mim.....	Minutos
ml.....	Mililitro
mm.....	Milímetro
mmol.....	Milimol
MO.....	Matéria orgânica

MS.....	Matéria seca
N2.....	Nitrogênio
NDT.....	Nutrientes Digestíveis Totais
Nu.....	Nitrogênio urinário
NUP.....	Nitrogênio ureico no plasma
O2.....	Oxigênio
P.....	Fósforo
PB.....	Proteína bruta
PC.....	Produção de calor
PCA.....	Produção de calor alimentado
pH.....	Potencial hidrogeniônico
PM.....	Peso metabólico
q.....	Metabolizabilidade
TG.....	Triglicerídeo
U.....	Unidade
VLDL.....	Lipoproteína de muito baixa densidade

RESUMO GERAL

Utilizaram-se 12 vacas em lactação, sendo seis do grupo genético Gir (peso vivo médio inicial de 441 kg) e seis do grupo genético F1 Holandês x Gir (peso vivo médio inicial de 535,5 kg), com o objetivo de determinar as exigências nutricionais de energia para manutenção e lactação, assim como avaliar o perfil metabólico destes grupos genéticos em diferentes planos nutricionais. O primeiro capítulo aborda o conceito e a utilização da energia pelo organismo animal, assim como o estudo do perfil metabólico e da curva de lactação em animais zebuínos e seus cruzamentos. No segundo capítulo são apresentados os dados de consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes e balanço de nitrogênio de vacas F1 Holandês x Gir e Gir durante determinação das exigências nutricionais de manutenção e lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). Os animais foram avaliados da 1ª à 15ª semana em lactação. Utilizaram-se as equações propostas pelo NRC (2001) para estimar a densidade energética das dietas. Vacas F₁ Holandês x Gir apresentaram maior consumo de matéria seca (CMS) e demais nutrientes em todos os períodos, em relação às Gir. Estas apresentaram estabilidade do CMS ao longo dos períodos avaliados, sendo o valor médio de 11,22 kg MS/dia. Vacas F₁ apresentaram menor CMS no período 1 (16,00 kg MS/dia, 3,10% peso vivo), em relação aos demais (17,42 kg MS/dia, 3,33% peso vivo), refletindo as diferenças obtidas na produção de leite entre os períodos. Os dois grupos genéticos não apresentaram diferenças na digestibilidade dos nutrientes, assim como não foram observadas diferenças na digestibilidade entre os níveis de consumo. A equação de predição da energia digestível (ED) a partir dos valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) apresentou baixa capacidade de predição, ao passo que as equações de predição da energia metabolizável (EM) a partir da ED e predição da energia líquida (EL) a partir do NDT apresentaram maior capacidade de predição. Vacas de ambos os genótipos apresentaram igual perda de nitrogênio fecal e urinário, em relação ao nitrogênio total ingerido. Vacas F₁ apresentaram maior eficiência de conversão do nitrogênio em leite, em relação às Gir. Os diferentes genótipos apresentaram igual eficiência na retenção total de nitrogênio em produtos. No terceiro capítulo são apresentados os dados de partição da energia e as exigências nutricionais de energia líquida de manutenção (EL_m) e lactação (EL_l), assim como a eficiência de uso da energia metabolizável, em vacas F1 Holandês x Gir e Gir

no terço inicial de lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, vazias, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). Foram realizados três ensaios de digestibilidade, seguidos por mensuração da produção de calor (PC) em câmara respirométrica. Vacas F1 tiveram maior consumo de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em todos os períodos avaliados, em relação às Gir, refletindo o maior consumo de matéria seca (CMS). Vacas dos dois grupos genéticos tiveram perdas similares de energia bruta na forma de fezes (28,17%) e metano (6,37%). A metabolizabilidade (q) da dieta não teve diferenças entre períodos e grupos genéticos, sendo o valor médio de 0,59. Vacas F1 tiveram maior energia líquida secretada no leite, em relação às Gir. A exigência de energia líquida para produção de 1 kg leite foi de 0,77 Mcal/kg de leite, o que corresponde a 0,293 kg nutrientes digestíveis totais (NDT) / kg de leite, similar entre os grupos. Vacas F1 apresentaram maior produção de leite e sólidos totais. Vacas Gir tiveram significativo ganho de peso e escore de condição corporal. Vacas F1 foram mais produtivas e eficientes, em relação à porcentagem da energia secretada no leite, assim como em relação à emissão de gases de efeito estufa (GEE) por produto gerado (leite e sólidos totais). Vacas Gir têm menor exigência de energia metabolizável (115,88 kcal/ kg 0,75) e líquida (79,39 kcal/ kg 0,75) de manutenção, em relação às vacas F1 Holandês x Gir (123,14 e 88,12 kcal/ kg 0,75). Ambos os grupos genéticos requerem menor energia metabolizável de manutenção (EMm) em relação ao sugerido pelos principais comitês e tabelas internacionais de exigências nutricionais. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e lactação foi 0,70, similar entre os grupos. Vacas F1 direcionaram maior parte da energia líquida para produção de leite, em relação às vacas Gir, que direcionaram maior parte para as funções de manutenção. No quarto capítulo são apresentados os dados referentes ao perfil metabólico, desempenho e eficiência alimentar de vacas F1 Holandês x Gir e Gir do parto ao 105º dia em lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis de cada grupo genético. O consumo de matéria seca (CMS), a produção e composição de leite, o escore de condição corporal (ECC) e o peso vivo foram avaliados semanalmente, da 1ª a 15ª semana. Ácidos graxos não esterificados (AGNE), glicose, nitrogênio ureico no plasma (NUP), creatinina, proteína total, albumina, globulinas, triglicerídeos, colesterol e aspartato aminotransferase (AST) foram avaliados para estudo do perfil metabólico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas. As análises de variância foram realizadas

utilizando-se o procedimento GLM do pacote estatístico SAS. Vacas F1 apresentaram maior CMS (16,96 kg/dia), produção de leite corrigida (19,20 kg/dia), eficiência alimentar (1,13 kg leite/ kg MS), concentração de AGNE e AST, assim como maior variação no ECC, evidenciando moderada mobilização de reservas corporais. Observou-se fase ascendente da lactação nas vacas F1, ao contrário do observado nas vacas Gir. Estas, por sua vez, apresentaram maior ganho de peso e ECC com o decorrer da lactação, sendo que o CMS (11,22 kg/dia) manteve-se constante durante o período avaliado. Vacas F1 foram mais produtivas e eficientes para produção de leite, sendo hábeis em utilizar as reservas corporais no início da lactação. Vacas do grupo Gir tiveram maior aptidão para ganho de peso e condição corporal durante a lactação, em detrimento à produção de leite. No quinto capítulo avaliou-se o consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes, partição da energia, perfil metabólico e a eficiência bioeconômica de vacas F1 Holandês x Gir e Gir, submetidas a diferentes planos nutricionais. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, vazias, sendo seis de cada grupo genético. Durante os primeiros 105 dias em lactação (DEL) os animais receberam alimentação *ad libitum*. No 106º DEL foi imposta restrição de 15% no CMS, seguido por outra restrição de 30% no CMS, cada um com duração de 20 dias. Realizou-se ensaio de digestibilidade, seguido da mensuração da produção de calor (PC) em cada plano nutricional. Avaliou-se o perfil metabólico dos animais nos diferentes planos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas. As restrições nutricionais não provocaram alterações na digestibilidade dos nutrientes, sendo similares entre os grupos genéticos. O CMS e energia decresceram com o aumento das restrições nutricionais, nos dois grupos avaliados, sendo superior para vacas F1 em todos os planos nutricionais, refletindo a maior produção de leite e de sólidos. Vacas F1 emitiram menos metano em relação à produção de leite e sólidos na restrição nutricional de 15%, em relação ao período *ad libitum*. A restrição de 15% não alterou a produção de leite, o peso vivo e condição corporal nos dois grupos. Vacas Gir tiveram maior condição corporal em todos os planos nutricionais. Vacas F1 tiveram maior mobilização de reservas corporais na restrição nutricional de 30%, evidenciado pelo aumento dos AGNE. A restrição nutricional não alterou o perfil metabólico de vacas Gir. Melhor aproveitamento no uso do nitrogênio foi observado para as vacas F1 com a restrição nutricional. Vacas F1 tiveram melhor eficiência bioeconômica na restrição nutricional de 15%, podendo a mesma ser utilizada como estratégia para redução do custo alimentar.

ABSTRACT

Twelve lactating cows were used, six of the Gir genetic group (initial mean live weight of 441 kg) and six of the crossbreeding of Holstein x Gir (initial mean live weight of 535.5 kg), with the objective of determining the nutritional requirements for maintenance and lactation, as well to evaluate the metabolic profile of these genetic groups in different nutritional plans. The first chapter deals with the concept and use of energy by the animal organism, as well as the study of the metabolic profile and the lactation curve in *Bos taurus indicus* animals and their crosses. In the second chapter, the data on intake, apparent digestibility of nutrients and nitrogen balance of F1 Holstein x Gir and Gir cows are presented during the determination of the nutritional requirements of maintenance and lactation. Twelve lactating cows were used, six of each genetic group, kept in individual stalls receiving corn silage and concentrate, as recommended by the NRC (2001). The animals were evaluated from the 1st to the 15th week in lactation. The equations proposed by the NRC (2001) were used to estimate the energy density of the diets. Crossbreed cows (Holstein x Gir) showed higher dry matter intake (DMI) and other nutrients in all periods, compared to Gir. These group presented DMI stability over the evaluated periods, with a mean value of 11.22 kg DM/ day. Crossbreed cows presented lower DMI in the period 1 (16.00 kg DM / day, 3.10% live weight), in relation to the others (17.42 kg DM / day, 3.33% live weight), reflecting the differences obtained in milk production between the periods. The two genetic groups showed no differences in nutrient digestibility, nor were differences in digestibility observed between levels of consumption. The prediction equation of the digestible energy (ED) from the total digestible nutrient values (NDT) presented low prediction capacity, whereas the prediction equations of the metabolizable energy (ME) from the ED and prediction of the net energy (NE) from the NDT presented higher prediction capacity. Cows of both genotypes presented equal loss of fecal and urinary nitrogen, in relation to the total nitrogen ingested. Crossbreed cows (Holstein x Gir) presented greater efficiency of conversion of nitrogen to milk, in relation to the Gir. The different genotypes presented equal efficiency in total retention of nitrogen in products. In the third chapter, energy partitioning data and the nutritional requirements of net energy of maintenance (NEm) and lactation (NEl), as well as the efficiency of use of metabolizable energy, are presented in crossbreed Holstein x Gir and Gir cows in the initial third of lactation. Twelve empty lactating cows were used, six of each genetic

group, kept in individual stalls receiving corn silage and concentrate, as recommended by NRC (2001). Three digestibility tests were carried out, followed by measurement of the heat production (HP) in a respirometric chamber. Crossbreed cows had higher intake of crude, digestible, metabolizable and net energy in all the evaluated periods, in relation to the Gir, reflecting the higher intake of dry matter (DMI). Cows of both genetic groups had similar losses of crude energy in the form of feces (28.17%) and methane (6.37%). The metabolizability (q) of the diet had no differences between periods and genetic groups, with a mean value of 0.59. Crossbreed cows had higher net energy secreted in milk, compared to Gir. The net energy requirement for the production of 1 kg milk was 0.77 Mcal / kg of milk, which corresponds to 0.2393 kg total digestible nutrients (NDT) / kg of milk, similar between the groups. F1 cows presented higher milk production and total solids. Gir cows had significant weight gain and body condition score. Crossbreed cows were more productive and efficient, in relation to the percentage of energy secreted in milk, as well as in relation to the emission of greenhouse gases (GHG) per product generated (milk and total solids). Gir cows have lower requirement for metabolizable energy ($115.88 \text{ kcal} / \text{kg}^{0.75}$) and net ($79.39 \text{ kcal} / \text{kg}^{0.75}$) maintenance, in relation to crossbreed cows (123,14 and 88, 12 $\text{kcal} / \text{kg}^{0.75}$). Both genetic groups require lower metabolizable energy of maintenance (EMm) compared to that suggested by the major committees and international tables of nutritional requirements. The efficiency of use of metabolizable energy for maintenance and lactation was 0.70, similar between groups. Crossbreed cows directed most of the net energy to milk production, compared to Gir cows, which directed most of the maintenance functions. In the fourth chapter we present the data regarding the metabolic profile, performance and feed efficiency of crossbreed Holstein x Gir and Gir cows from calving at the 105th day in lactation. Twelve lactating cows were used, six of each genetic group. The dry matter intake (DMI), milk production and composition, body condition score (ECC) and live weight were evaluated weekly, from the 1st to the 15th week. Non-esterified fatty acids (NEFA), creatinine, total protein, albumin, globulins, triglycerides, cholesterol and aspartate aminotransferase (AST) were evaluated for metabolic profile study. The experimental design was completely randomized, with a scheme in subdivided plots. Analyzes of variance were performed using the GLM procedure of the statistical package SAS. Crossbreed cows presented higher DMI (16.96 kg / day), corrected milk production (19.20 kg / day), feed efficiency (1.13 kg milk / kg DM), NEFA and AST concentration, as well as higher variation In the ECC, evidencing

moderate mobilization of body reserves. The uptake phase of lactation was observed in crossbreed cows, unlike in Gir cows. These, in turn, presented greater weight gain and ECC with the course of lactation, and DMI (11.22 kg / day) remained constant during the period evaluated. Crossbreed cows were more productive and efficient for milk production, being able to use body reserves at the beginning of lactation. Cows from the Gir group had greater aptitude for weight gain and body condition during lactation, in detriment to milk production. In the fifth chapter, the consumption, apparent digestibility of nutrients, energy partition, metabolic profile and the bioeconomic efficiency of crossbreed Holstein x Gir and Gir cows submitted to different nutritional plans were evaluated. Twelve lactating cows were used, empty, six of each genetic group. During the first 105 days in lactation (AD) the animals were given *ad libitum* feed. In 106 ° DEL, a 15% DMI restriction was imposed, followed by a further 30% DMI restriction, each lasting 20 days. A digestibility test was performed, followed by the measurement of heat production (CP) in each nutritional plan. The metabolic profile of the animals in the different plans was evaluated. The experimental design was completely randomized, with a scheme in subdivided plots. Nutritional restrictions did not cause changes in nutrient digestibility, being similar among genetic groups. DMI and energy decreased with increased nutritional restrictions in both groups, being higher for crossbreed cows in all nutritional plans, reflecting the higher production of milk and solids. These cows emitted less methane in relation to milk and solids production in the nutritional restriction of 15%, in relation to the *ad libitum* period. The 15% restriction did not alter milk production, live weight and body condition in both groups. Gir cows had greater body condition in all nutritional plans. Crossbreed cows had greater mobilization of body reserves in the nutritional restriction of 30%, evidenced by the increase of NEFA concentrations. The nutritional restriction did not alter the metabolic profile of Gir cows. Better utilization of nitrogen was observed for crossbreed cows with nutritional restriction. These cows had better bioeconomic efficiency in nutritional restriction of 15%, and could be used as a strategy to reduce food costs.

INTRODUÇÃO GERAL

A produção leiteira no Brasil no ano de 2015 foi de 36,22 bilhões de litros, alcançando o país ao posto de 5º maior produtor mundial (USDA). Os sistemas de produção brasileiros são conhecidos pela sua heterogeneidade quanto ao clima, disponibilidade de alimentos, uso de tecnologia, tipo de rebanho, dentre outros. A pecuária leiteira, a cada dia que passa, tem se tornado altamente desafiadora, uma vez que o aumento nos custos de produção, principalmente dos alimentos utilizados nas dietas dos animais, tem provocado redução significativa da margem de lucro da atividade.

Diante das diversidades existentes entre os diferentes sistemas de produção de leite no país, várias raças e seus cruzamentos têm sido utilizadas com o objetivo de se obter um rebanho mais bem adaptado e com menores custos de produção. Estima-se que cerca de 70% da produção de leite no Brasil é proveniente de vacas mestiças Holandês x Zebu, sendo que o cruzamento mais comum é o Holandês x Gir. Embora fundamentais nos sistemas de produção nacionais, informações disponíveis sobre esses animais são escassas ou mesmo inexistentes. Valadares Filho et al. (2010) publicaram a Tabela Brasileira de Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros ou Cruzados (BR-CORTE), a qual representa um grande avanço científico na área de produção de bovinos em condições tropicais. Entretanto, a mesma não contempla animais leiteiros e seus cruzamentos, o que resulta em grande carência de conhecimentos sobre as exigências desses animais.

Apesar do processo evolutivo que tem ocorrido no campo, há ainda no país grande carência de informações quanto às exigências nutricionais de raças representativas do rebanho nacional. Desta forma, no Brasil, as formulações de dietas ainda são feitas com base nos sistemas de exigências nutricionais desenvolvidos em outros países.

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, através do acúmulo das informações geradas, a elaboração de tabelas de exigências nutricionais mais apropriadas às condições brasileiras.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o consumo, a digestibilidade dos nutrientes e o balanço de nitrogênio de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir. Determinaram-se também as exigências de manutenção e lactação e a eficiência de uso da energia metabolizável para diferentes funções produtivas. Avaliou-se também o consumo, a digestibilidade dos nutrientes, o perfil metabólico e a partição da energia em diferentes planos nutricionais, com alimentação *ad libitum* e restrita.

O presente trabalho foi organizado em capítulos, objetivando-se a futura publicação independente de cada capítulo, o que justifica a utilização de algum dado ou parâmetro avaliado em mais de um capítulo.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1. Energia – Conceito e partição energética no organismo animal

A energia é definida como o potencial para a realização de trabalho, sendo essencial para sustentar todos os processos vitais do corpo, incluindo respiração, circulação, atividade dos músculos, manutenção da temperatura corporal, processos metabólicos, entre outras funções. O seu estudo tem despertado o interesse de diversos pesquisadores ao longo da história. Em um dos primeiros trabalhos a respeito, Leonardo Da Vinci, em sua publicação “*Codex Atlânticus*” postulou que “onde a chama não possa sobreviver, nenhum animal que respira, o fará”.

Os estudos realizados pelo cientista Antoine Lavoisier (1743-1794) foram fundamentais para a melhor compreensão da bioenergética. Este cientista descobriu a existência e importância de um gás que nomeou de “*oxigène*” (oxigênio). Para Lavoisier, a respiração foi definida como um processo lento de combustão. Seus estudos levaram à criação da calorimetria indireta, (que permite a avaliação de taxas metabólicas através do consumo de oxigênio), bem como da calorimetria direta.

Avanço fundamental para o desenvolvimento da calorimetria foi a postulação da Primeira Lei da Termodinâmica pelo alemão Julius Robert Von Mayer (1814-1878) em 1842. A primeira lei, conhecida como “Lei de Conservação das Massas” ou “Princípio de Joule”, diz que a energia pode ser transferida ou transformada, mas não pode ser destruída ou criada.

No século XIX, Marcellin Berthelot (1827-1907) desenvolveu a bomba calorimétrica adiabática, tendo sua criação obedecido à primeira lei da termodinâmica de que a energia é apenas transferida e que, portanto, a energia liberada na forma de calor durante a combustão de uma substância orgânica seria equivalente à energia bruta disponível, no caso de um alimento, ou perdida pelo organismo animal, no caso de excretas. O desenvolvimento dos conceitos de bioenergética buscando relações entre trocas gasosas e produção de calor teve avanço significativo com o trabalho de Carl Von

Voith (1831-1908). Este cientista, utilizando a técnica de respirometria em circuito aberto (câmaras respirométricas), caracterizou a significância dos nutrientes individuais, que posteriormente foram individualizados em carboidratos, proteínas e lipídios. Além dos estudos na área energética, Von Voith também promoveu avanços no entendimento do metabolismo proteico, ao descobrir que o nitrogênio excretado na forma de ureia poderia ser uma medida do *turnover* proteico.

Kellner e Köhler (1900), citados por Jonhson et al. (2003), desenvolveram o conceito de “Equivalente Amido”, utilizando um sistema baseado no conceito de energia líquida de alimentos no qual o valor energético dos mesmos era apresentado em relação ao teor energético do amido, sendo utilizado por muitos anos na Europa e servindo também como base para o desenvolvimento de sistemas de alimentação posteriores.

Henry Armsby (1853-1921) e sua equipe desenvolveram diversos trabalhos utilizando a técnica respirométrica, após a criação do “Calorímetro de Armsby” (Figura 1), concluído em 1902, na “PennState University”. Em 1907 foi criado o Instituto de Nutrição Animal, sendo o calorímetro utilizado de forma contínua na condução de diversos estudos concernentes ao metabolismo energético em bovinos. Este autor reportou a importância da perda de calor como um desperdício da energia alimentar, fato que havia sido pouco enfocado nas pesquisas do passado. Assim, foi desenvolvido o conceito de energia líquida (EL), determinando a energia metabolizável (EM) como sendo a energia líquida (ou energia retida, ER) somada ao incremento calórico oriundo do alimento (IC): $EM = ER + IC$ (Armsby, 1917).

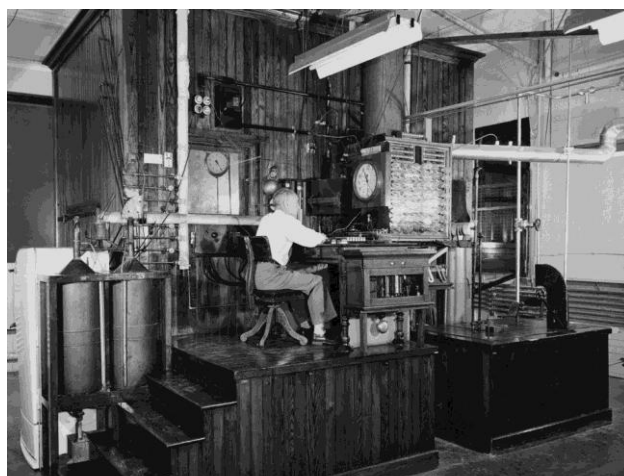


Figura 1. Calorímetro de Armsby (1917)

Fonte: Penn State University Archives

Os avanços obtidos pelo sistema proposto por Armsby no início do século XX foram notáveis, contendo boa parte dos princípios empregados para o desenvolvimento dos sistemas de energia líquida utilizados atualmente, como por exemplo, o AFRC (1993).

O próximo grande marco da calorimetria moderna, entretanto, só viria a ocorrer em 1965, com a publicação da equação de Brouwer (Brouwer, 1965). A equação permitiu o cálculo da produção de calor (PC), através do consumo de oxigênio (O_2 , L) e produção de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e do nitrogênio urinário (Nu).

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

Portanto, a associação da teoria termodinâmica de Mayer, o princípio da bomba calorimétrica desenvolvida por Berthelot (capaz de avaliar o conteúdo energético dos alimentos e da energia perdida através das fezes e da urina), e o desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos para a avaliação da produção de gases pelos animais ao longo do tempo, permitiram o refinamento dos estudos de bioenergética, incluindo a avaliação dos alimentos e a determinação das exigências nutricionais de energia.

Diversos sistemas de energia foram propostos para utilização em gado leiteiro. O Sistema Britânico de Energia Metabolizável, desenvolvido por Blaxter (1967), foi inicialmente proposto pelo Agricultural Research Council (ARC, 1965), sendo concebido para superar as deficiências do sistema “Equivalente Amido”, que era utilizado no Reino Unido. Este sistema assumia uma razão simples dos valores líquidos de energia de alimentos para as diferentes funções fisiológicas (manutenção, engorda e lactação), não considerando também o efeito do nível de alimentação na concentração de energia líquida dos alimentos.

O sistema original do ARC (1965) foi posteriormente revisado (ARC, 1980) e modificado, originando o Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1990), que foi revisado na sequência (AFRC, 1993). Ao mesmo tempo, diversos outros sistemas foram desenvolvidos na Europa (Institut National de Recherche Agronomique, INRA, 1978; Van Es, 1978), e na América do Norte (National Research Council, 1976).

Importante destacar que estes sistemas diferem quanto à metodologia para determinação das exigências nutricionais. O sistema ARC (1965, 1980) representa a

base dos sistemas vigentes baseados em respirometria calorimétrica (AFRC, 1993; CSIRO, 2007). O NRC, por sua vez, é fundamentado no “Sistema de Energia Líquida da Califórnia”, desenvolvido a partir dos estudos de abate comparativo realizados por Lofgreen e Garret (1968).

1.1. Partição energética no organismo animal

A clássica partição da energia consiste em avaliar a quantidade de energia contida em um alimento ou dieta e quantificar as perdas desta mesma energia no metabolismo animal (figura 2).

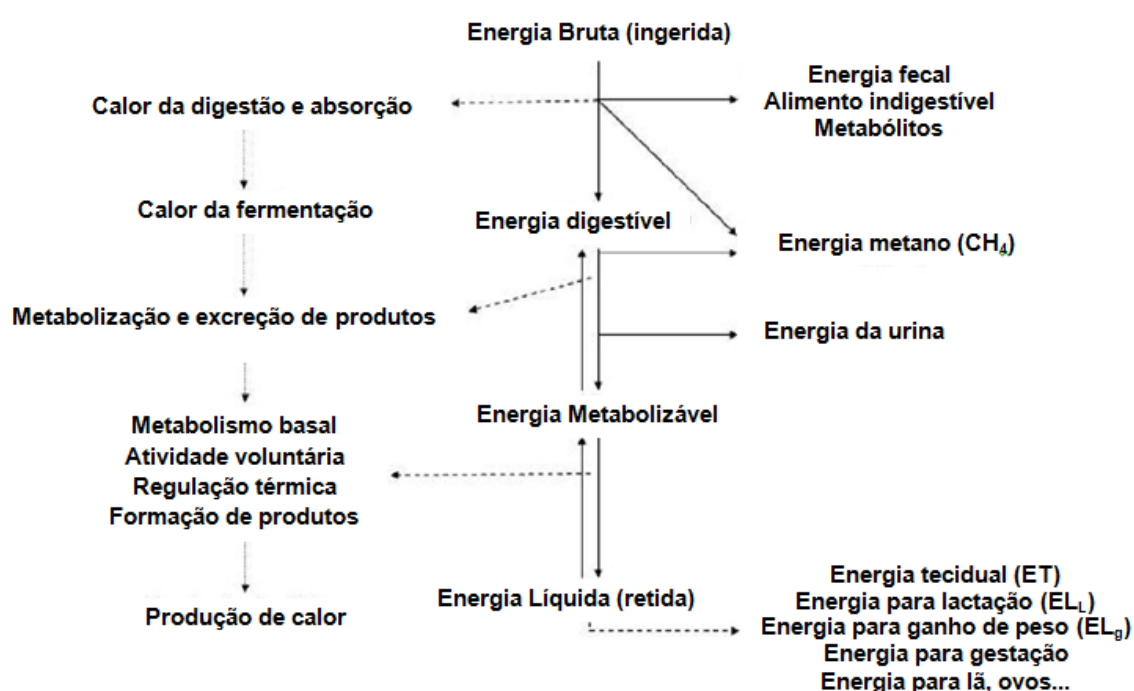


Figura 2. Partição energética nos ruminantes (Adaptado de Ferrell e Oltjen, 2008)

Os diversos sistemas de alimentação baseados em energia possuem seu ponto de partida na energia bruta (EB), a qual representa a energia total do alimento fornecido ao animal. Esta corresponde à energia liberada na forma de calor quando uma substância orgânica é completamente oxidada a dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) em ambiente rico em oxigênio (Kleiber, 1972).

A EB ingerida subtraída da EB perdida nas fezes é denominada como energia digestível (ED). A proporção de ED em relação à EB do alimento pode variar de 0,30 para forragens muito maduras a 0,90 para grãos processados e de alta qualidade. O valor da ED possui importância na avaliação do alimento ou dieta, por refletir sua

digestibilidade. Entretanto, falha ao considerar as perdas ocorridas em função de processos digestivos, podendo superestimar o valor de energia digestível para dietas de baixa digestibilidade (ricas em forragem) em relação a dietas ricas em grão, de alta digestibilidade (NRC, 2000). O NDT (nutrientes digestíveis totais), ainda muito utilizado na formulação de dietas, se assemelha à energia digestível, com a diferença de conter um fator de correção para o extrato etéreo digestível.

O NRC (2001) propõe que um quilo de NDT contém 4,4 Mcal de ED, mas deve-se ter cautela ao adotar este valor. A energia digestível sofre grande influência do nível de ingestão proporcionado ao animal, sendo especialmente notado em dietas de animais de alta produção. Em sua revisão, Reid et al. (1980) relataram que ao avaliar sete dietas compostas por forragem e concentrado, fornecidas em níveis de até cinco vezes a manutenção, houve depressão da energia digestível entre 2,1 e 6,2% (com média de 4,4%) por incremento na ingestão em relação à manutenção. O NRC (2001) menciona que o NDT de dietas com mais de 60% de digestibilidade, deve ser corrigido em função do consumo.

A energia metabolizável (EM) é definida pelo ARC (1980) como a diferença entre a energia bruta do alimento e a energia bruta perdida nas fezes, urina e gases (principalmente metano). A produção de metano em ruminantes corresponde, em média, a uma perda energética equivalente de 6% da energia bruta ingerida (Jonhson e Jonhson, 1995). Segundo Van Soest (1994), esta perda pode variar entre 5 e 12%. De acordo com Brower (1965), um litro de metano corresponde a uma perda de 9,47 kcal.

A eficiência de conversão da energia digestível em energia metabolizável é próxima de 0,80, sendo esta relação variável em função do nível de ingestão de matéria seca, idade do animal e tipo da dieta (ARC, 1980; NRC 2001). Descontando-se as perdas energéticas já mencionadas, a energia metabolizável pode então ser fracionada em duas: a energia produzida na forma de calor (PC) pelos diversos processos metabólicos e a energia retida na manutenção de funções vitais e formação de produtos (como leite e carne), podendo então ser definida como $EM = PC + \text{Energia Retida}$.

Após considerar todas as perdas energéticas, a perda de energia na forma de calor por meio do metabolismo dos alimentos e da transformação de nutrientes já metabolizados em produtos orgânicos mais complexos, deve ser descontada (Chwalibog, 2004). Assim, obtém-se o valor de energia líquida (EL). A energia líquida

de um alimento ou dieta é a parte da energia do alimento disponível para manutenção corporal e produção. O conteúdo de energia líquida de um produto de origem animal é numericamente igual ao seu conteúdo de energia bruta (por exemplo, para saber a energia líquida para lactação, bastaria avaliar a energia bruta do leite produzido) (AFRC, 1993).

1.2. Energia líquida de manutenção (EL_m) e metabolismo basal

A energia líquida para manutenção (EL_m) foi definida por diversos autores como a energia requerida para que a variação de energia corporal seja equivalente à zero (estase energética) (Ferrell e Jenkins, 1985). Alguns autores descrevem a mínima produção de calor obtida com o animal em jejum, mantido em ambiente termoneutro e com um mínimo de atividade, 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). No trabalho clássico desenvolvido por Lofgreen e Garrett (1968), os autores utilizaram bovinos em crescimento e em terminação, separando os requisitos energéticos do animal em exigência de energia líquida para manutenção (EL_m) e exigência de energia líquida para ganho (EL_g). Estes autores determinaram que a energia necessária para atender as exigências de manutenção seria equivalente a $77 \text{ Kcal/kg PCVZ}^{0,75}/\text{dia}$. O valor encontrado por Lofgreen e Garret (1968) acabou sendo adotado pelo NRC (1984; 1996; 2000).

São vários os fatores que podem influenciar os requisitos de energia para manutenção, tais como: o peso corpóreo, o nível de produção, a atividade, o ambiente, a raça, o sexo, a condição fisiológica e o nível nutricional (Fox et al., 2004).

O local de deposição de gordura é também considerado como um dos fatores que tem influência nas exigências de energia para manutenção. A atividade metabólica do tecido adiposo interno parece ser maior do que a do tecido periférico, acarretando maiores requisitos de energia para manutenção, por unidade de tamanho metabólico, nos animais com acúmulo de gordura interna, em comparação com aqueles com predominância de gordura subcutânea. Dessa forma, as raças europeias em relação às

indianas, assim como as raças de aptidão leiteira em relação às de corte, possuem maior proporção de gordura nos depósitos viscerais, que são metabolicamente mais ativos que os depósitos periféricos, conduzindo à maior exigência de energia para manutenção. Solis et al. (1988), trabalhando com vacas Aberdeen Angus, Brahman, Hereford, Holandesa e Jersey, concluíram que a distribuição das reservas de gordura entre os vários tecidos de depósito tem substancial impacto sobre as exigências de energia para manutenção nos bovinos, observando-se menor exigência em vacas zebuínas da raça Brahman. Tal resultado foi atribuído, em parte, à menor deposição de gordura interna e menor atividade metabólica dos órgãos internos desses animais.

Segundo Ferrell & Jenkins (1985), os requisitos de manutenção também podem variar devido às diferenças genéticas, sendo essa variação de moderada a altamente herdável. Potenciais genéticos para produção de leite são positivamente correlacionados com ELM, sendo que quanto maior o potencial para produção de leite, maior o requisito de manutenção. Neste trabalho, os autores relataram que essas disparidades pareciam estar menos relacionadas às diferenças na musculatura do que nas diferenças nos órgãos internos, e que o tamanho da vaca, expresso em $\text{kg}^{0,75}$, não influenciou os requisitos de manutenção.

Smith & Baldwin (1973) mostraram que fígado, coração, glândula mamária e o trato gastrointestinal estão entre os órgãos de maior atividade metabólica nos animais, sendo estes maiores em novilhas de origem leiteira, o que explicaria as maiores exigências para manutenção desses animais em relação às de corte. Essas observações podem explicar, em parte, os maiores requisitos de animais de alto potencial leiteiro em relação aos de menor potencial. Fígado, rins e coração correspondem a 2,5% do PV do animal e são responsáveis por 40% da produção de calor. Além disso, boa parte do consumo de oxigênio é representada por esses órgãos.

O NRC (2001) expressa as exigências de energia para manutenção e para lactação em unidades de energia líquida para lactação (ELI). O Sistema de Energia líquida para a lactação usa uma única unidade energética (ELI) tanto para manutenção quanto para produção de leite, uma vez que considera que a energia metabolizável (EM) é utilizada com eficiência similar para manutenção (0,62) e produção de leite (0,64) quando comparada diretamente com medidas de produção de calor.

Em relação aos valores de energia líquida para manutenção, o NRC (2001) menciona o trabalho realizado por Flatt (1995) em que, utilizando vacas com aptidão leiteira, secas e vazias, encontrou valor de 73 kcal/kg PV^{0,75} para a produção de calor em jejum destes animais. O Conselho sugere uma correção para atividade em relação ao valor descrito por Flatt (1995) de 10% e acaba por definir a exigência de energia líquida para manutenção em 80 kcal/kg PV^{0,75}.

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

Para o CSIRO (2007), sistema desenvolvido na Austrália, país em região tropical semelhante ao Brasil, os requisitos de energia líquida para manutenção são considerados como 69,76 kcal/kg PV^{0,75} com multiplicadores para *Bos taurus* (1,4), *Bos indicus* (1,2), sexo e idade. São também feitos ajustes para produção, pastoreio e estresse pelo frio.

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

Em trabalho comparando fêmeas Holandesas e zebuínas, Borges (2000), utilizando a metodologia proposta por Lofgreen e Garrett (1968), obteve exigências de ELM para as raças Guzerá e Holandesa de 61,02 e 76,42 kcal/kg de PCVZ^{0,75}, respectivamente. Esses valores correspondem à produção de calor do animal em jejum, representando a quantidade de energia líquida que deve ser ingerida para manter em equilíbrio energético, ou seja, a exigência de EL_m. As novilhas Guzerá apresentaram

exigência de EL_m aproximadamente 20% inferior à das Holandesas. Para o NRC (2000), as raças leiteiras requerem 20% mais energia para manutenção do que as raças de corte *Bos taurus*, que por sua vez requerem 10% mais que animais *Bos indicus*.

Poucos trabalhos foram realizados avaliando-se as exigências nutricionais de fêmeas leiteiras zebuínas e mestiças, pela técnica respirométrica. Silva (2011) realizou o primeiro trabalho nacional utilizando câmara respirométrica para a determinação das exigências nutricionais de fêmeas bovinas em crescimento. O autor comparou as diferentes raças, Gir, Holandês e F_1 Holandês x Gir. Os valores de EL_m encontrados foram 85,2; 96,4 e 102,3 Kcal/ $PV^{0,75}$, respectivamente, para novilhas da raça Gir, Holandesa e F_1 Holandês x Gir.

Lage (2011) determinou as exigências de energia líquida de manutenção de novilhas vazias Gir e F_1 Holandês x Gir, com peso vivo médio de 450 kg. Os valores encontrados de EL_m foram de 76,8 e 92,0 Kcal/ $PV^{0,75}$, respectivamente para animais Gir e mestiças. Observa-se, portanto, a inexistência de trabalhos realizados avaliando-se as exigências nutricionais de vacas em lactação, zebuínas e mestiças.

A energia líquida para manutenção, embora tenha fundamental importância nos sistemas de energia líquida, não pode ser determinada diretamente por meios experimentais. Basicamente, existem dois métodos para determinação da EL_m . A exigência de energia líquida para manutenção pode ser obtida pela mensuração dos requerimentos de energia do metabolismo basal (EMB), que por sua vez, corresponde à produção de calor de um animal em jejum (ARC, 1980). A utilização do metabolismo em jejum para avaliação da EL_m pode ter algumas limitações, pois pode ocasionar a deaminação de aminoácidos para suprimento de glicose e isso ocasionar distúrbios metabólicos no animal, como hipoglicemia, hiperlipidemia, hipercetônemia e hipoinsulinemia (Chowdhury e Orskov, 1994).

Outro método consiste em determinar a EL_m utilizando técnicas de regressão relatando o consumo de energia metabolizável (CEM) e a energia do leite, ajustando para um balanço energético zero (figura 3), resultando em resultados similares ao obtido com metabolismo em jejum. Neste método, as variações de peso vivo e tecido corporal que ocorrem, ou seja, o balanço energético, são ajustadas em função da disponibilização ou retenção de energia. Com a utilização deste modelo, determina-se as exigências de energia líquida para manutenção (EL_m), assim como a eficiência de uso da energia

metabolizável para lactação, denominado Kl (Moe et al., 1972; Van Es, 1975; AFRC, 1993; Kirkland e Gordon, 1999).

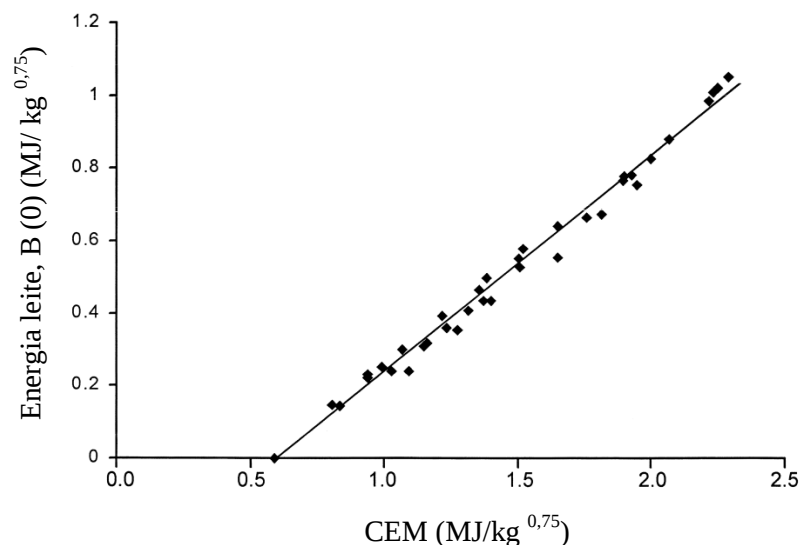


Figura 3. Regressão entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e energia excretada no leite, ajustada para um balanço energético zero (Adaptado de Kirkland e Gordon, 1999).

A energia metabolizável para manutenção (EMm) 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 EMm engloba a PC do animal alimentado, ou seja, considera o incremento calórico como forma de produção de calor, ao contrário da ELM que é obtida com o animal em jejum, ou seja, sem contabilizar a produção de calor procedente do incremento calórico.

A EMm é sempre superior à ELM, 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).

1.3 Eficiência na utilização da energia: relação entre energia metabolizável e energia líquida para manutenção (Km) e lactação (Kl)

O conhecimento da eficiência de uso da energia para os diferentes processos produtivos é um precedente indispensável para determinar as exigências dietéticas de energia, já que esta é obtida a partir da relação entre as exigências líquidas de energia e a eficiência de sua utilização. No estudo do valor energético dos alimentos, consideram-se as perdas na digestão e no metabolismo, a fim de se obter a energia líquida, que é disponível para manutenção e produção do animal (lactação, ganho de peso e gestação). O requisito de energia do animal é expresso como o somatório da energia para manutenção e produção (NRC, 2001).

De posse desse conhecimento, pode-se transformar as exigências líquidas de energia em exigências de energia metabolizável e, até mesmo, em exigências de nutrientes digestíveis totais (NDT), que apresenta valor prático, uma vez que a maioria das tabelas brasileiras de composição química de alimentos fornece o valor energético dos alimentos em termos de NDT.

A partir da partição de energia no animal, podemos obter valores que indicam qual a eficiência do animal em utilizar a energia para a manutenção e/ou produção. Os termos que possibilitam tal avaliação são conhecidos como metabolizabilidade (q) e eficiência de utilização (k). O AFRC (1993) define “ q ” (*the quality factor*) como a proporção de energia metabolizável contida na energia bruta ingerida e, a constante “ k ”, como o aproveitamento da energia metabolizável em relação à quantidade de energia líquida retida. No caso da manutenção e lactação, determinam-se, respectivamente, os valores de K_m e K_l .

Existem controvérsias quanto aos valores de eficiência de utilização da energia metabolizável para os diferentes processos fisiológicos. Segundo Tolkamp e Kyriazakis (2008), a eficiência de uso para manutenção é maior do que aquela direcionada para os processos produtivos. Segundo estes autores, as diversas funções corporais de animais mamíferos de uma mesma espécie são mais eficientes na retenção da energia metabolizável para manutenção, seguida das funções de lactação, ganho de peso e reprodução.

É importante determinar tais eficiências na utilização da energia, pois diversos são os fatores que podem influenciá-las. A variável “q”, por exemplo, sofre variações em função dos níveis de consumo, havendo maiores perdas fecais quanto maior for o consumo, devido à maior taxa de passagem e escape de material potencialmente digestível. A energia digestível pode diminuir de 2,1 a 6,2% na medida em que se aumenta o consumo de energia em relação à manutenção (Solis et al., 1988). As perdas de energia na urina tendem a ser constantes, assim como as perdas em função da produção de metano, que variam em torno de 5 a 12% na urina e de 3 a 5% para o metano (Van Soest, 1994). A tabela 1 demonstra os diferentes valores para o k_m de diferentes Comitês utilizados na nutrição de ruminantes.

Tabela 1. Valores e equações propostos por diferentes Comitês para a eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção (K_m)

Comitê	K_m
AFRC (1993) ¹	$K_m = (0,35 \cdot q_m) + 0,503$
NRC (2001) ²	$K_m = K_L = 0,644$
CNCPS (Fox et al., 2004)	$K_m = K_L = 0,64$
CSIRO (2007) ³	$K_m = (0,02 \cdot M / D) + 0,5$

¹ $q_m = EB / EM$; ² K_L = eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação;

³ M/D = energia metabolizável / kg MS da dieta;

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

O NRC (2001) adota os valores de K_m propostos pelo trabalho de Moe et al. (1972), no qual não foram encontradas grandes diferenças entre as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção (0,62) e lactação (0,64), sendo o valor de 0,64 adotado por este sistema, para ambos os processos. De modo semelhante, a versão mais recente do CNCPS (Fox et al., 2004) considera iguais as eficiências de utilização da energia metabolizável para manutenção e lactação, sendo o valor de 0,64.

A equação proposta pelo CSIRO (2007) segue a linha proposta pelo AFRC (1993). A relação “M/D” representa simplesmente a quantidade de energia metabolizável por quilograma de matéria seca da dieta. Este Comitê propõe equações

relativamente confiáveis ($r^2 > 0,93$) correlacionando a digestibilidade da matéria orgânica com os valores de M/D. Outra forma proposta para estimar a M/D é a de que a energia metabolizável da dieta corresponderia, de maneira geral, a 81% da energia digestível da mesma, podendo esta proporção chegar a 85% em dietas ricas em grãos.

Assim como uma diversidade de fatores afetam as exigências nutricionais de energia para manutenção, o mesmo ocorre para a determinação da eficiência de utilização da energia metabolizável (isto é, sua conversão em energia líquida). Fatores como nível de ingestão, função fisiológica, balanço de nutrientes, composição da dieta, condições ambientais, atividade física, sexo, trato gastrointestinal e natureza dos produtos da fermentação podem afetar a eficiência na utilização da energia metabolizável (Tedeschi et al., 2002).

Inexistem trabalhos que determinaram a eficiência de uso da energia para as diferentes funções, utilizando animais zebuínos e seus cruzamentos para exploração leiteira. Torna-se, portanto, fundamental a execução de mais estudos objetivando-se a determinação das exigências de energia para manutenção e lactação e eficiência do uso da energia para as diferentes funções, especialmente em fêmeas zebuínas e mestiças com aptidão leiteira.

1.3. Energia líquida de lactação (ELI)

A energia líquida requerida para lactação é definida como a energia contida no leite produzido. Essa energia corresponde ao somatório dos calores de combustão dos componentes individuais do leite (gordura, proteína e lactose). Dentre os componentes, a lactose é o que menos varia, estando sempre próximo de 4,84%. O calor de combustão para a gordura do leite, proteína verdadeira e lactose, são: 9,29; 5,71 e 3,99 Mcal/kg, respectivamente (NRC, 2001). Este Comitê propõe diferentes equações (2.15, 2.16 e 2.17) para cálculo da EL, de acordo com os componentes utilizados.

Todos componentes: $EL \text{ (Mcal/kg)} = 0,0929 \times \% G + 0,0547 \times \% PB + 0,0395 \times \% \text{ Lactose}$

Gordura e proteína: $EL \text{ (Mcal/kg)} = 0,0929 \times \% G + 0,0547 \times \% PB + 0,0192$

Gordura: $EL \text{ (Mcal/kg)} = 0,360 + [0,0969 (\%G)]$

2. Perfil metabólico em ruminantes

As mudanças que ocorrem durante o período de transição e início da lactação são reguladas por mecanismos homeostáticos e homeorréticos. Bauman & Currie (1980) definem a homeorrexia como sendo as mudanças coordenadas no metabolismo para conseguir suprir novos estados fisiológicos, que normalmente não sofrem influência da nutrição ou fatores externos. Portanto, ela é a responsável pela adaptação do animal às diferentes fases ao longo da vida (crescimento, gestação, lactação). A homeostase, por sua vez, pode ser definida como os processos de regulação para manter o equilíbrio metabólico em diferentes condições nutricionais ou ambientais. Esta forma de controle é importante para garantir as funções biológicas essenciais, como a sobrevivência do recém-nascido (através da produção de leite) ou a reprodução (Roche et al., 2009).

A composição bioquímica do sangue reflete de maneira confiável o equilíbrio entre o ingresso, o egresso e a mobilização dos nutrientes nos tecidos animais. A quebra da homeostase leva à diminuição do desempenho zootécnico e, dependendo do grau de desequilíbrio, a doenças da produção. Em vacas leiteiras, especialmente no terço inicial da lactação, a quebra da homeostase pode ocasionar ou predispor a ocorrência de esteatose hepática, cetose, hipocalcemia, hipomagnesemia e outras enfermidades associadas.

Portanto, a interpretação dos componentes químicos do sangue, o perfil metabólico, pode ser útil para diagnosticar desequilíbrios provenientes de falhas na capacidade do animal em manter a homeostase (González et al., 2000), assim como alterações metabólicas essenciais que ocorrem para suportar o novo estágio fisiológico.

Muitas destas alterações são inevitáveis e fazem parte da fisiologia do período de transição para a adaptação à nova condição de lactante (Ingvartsen et al., 2003; Roche et al., 2009). Podemos citar algumas mudanças como: balanço energético negativo (Drackley et al., 2005; Baumgard et al., 2006), queda no consumo alimentar voluntário (Grummer, 1995) e mudanças no metabolismo hepático (Grum et al., 1996). Porém, a intensidade destas alterações varia, constituindo fator importante que determina a saúde e produtividade da vaca até o fim da lactação (Grummer, 1995; González e Scheffer, 2003).

A partição de nutrientes durante o parto deve ser equilibrada entre manter a homeostase e redirecionar os nutrientes necessários para a lactogênese, do contrário,

podem ocorrer distúrbios metabólicos, diminuição da resposta imunológica e doenças associadas a esses desequilíbrios (deslocamento de abomaso, retenção de placenta, mastite e metrite) (Drackley et al., 2005; Kimura et al., 2006).

O estudo da composição bioquímica do sangue é antigo, principalmente vinculado à patologia clínica em casos individuais. Payne et al. (1970), ampliaram a utilização deste estudo mediante o conceito de perfil metabólico, isto é, a análise dos componentes sanguíneos aplicados a populações. O trabalho de Payne, aplicado inicialmente a rebanhos leiteiros, foi ampliado a outras espécies, com aplicações práticas no manejo alimentar (Payne e Payne, 1987). Existem diversos fatores ou situações nas quais as concentrações dos metabólitos aumentam ou diminuem no sangue. Estas variações são estudadas nos perfis metabólicos, tratando de identificar deficiências ou excessos de alguns nutrientes ou, também, de diagnosticar alterações bioquímicas que levam à diminuição da produção, entre outros (González et al., 2000).

Os resultados do perfil metabólico de um rebanho podem ser interpretados de duas formas, como a média dos valores do grupo de animais amostrados ou como a proporção de animais acima ou abaixo de um ponto de corte determinado de acordo com os valores de referência adequados para a categoria animal sob estudo. O perfil do metabólito estudado é que determina qual forma é a mais apropriada (Oetzel, 2004).

A interpretação do perfil bioquímico é complexa tanto quando se refere a rebanhos quanto a indivíduos, devido aos mecanismos que controlam o nível sanguíneo de vários metabólitos. Além disso, existe grande variação desses níveis em função de fatores como raça, idade, estresse, dieta, nível de produção, manejo, clima e estágio fisiológico (González e Scheffer, 2003).

Para uma adequada interpretação dos valores encontrados no perfil metabólico sanguíneo, deve-se ter um correto conhecimento da fisiologia e bioquímica animal, além da fonte e da função de cada um dos metabólitos avaliados. Além disso, para a correta interpretação do perfil metabólico é indispensável a utilização de valores de referência apropriados para a região e a população em particular. Na ausência desses dados, os valores referenciais a serem utilizados devem ser de zonas climáticas e de grupos de animais similares (González et al., 2000).

As análises sanguíneas e a condição corporal nos permitem avaliar o risco e a incidência de doenças metabólicas em suas formas clínica e subclínica, além de auxiliar no monitoramento do metabolismo energético, proteico e mineral (LeBlanc et al., 2005). Nos últimos anos a utilização do perfil metabólico ganhou importância, principalmente, relacionado às doenças no periparto de bovinos leiteiros, com auxílio no diagnóstico, prognóstico e prevenção (Duffield et al., 2009; Dubuc et al., 2010; Chapinal et al., 2011; Roberts et al., 2012).

Em relação aos valores de referência a serem utilizados na interpretação dos dados, destaca-se a pequena quantidade de informações e trabalhos sobre o perfil metabólico e bioquímico de animais zebuínos e seus cruzamentos. A maioria dos trabalhos executados até o momento priorizam vacas especializadas para produção de leite, especialmente da raça Holandês, sendo estes os valores de referência comumente utilizados nos trabalhos realizados em diferentes raças e seus cruzamentos.

2.1. Indicadores do *status* energético

2.1.1. Ácidos graxos não esterificados (AGNE), beta-hidroxibutirato (BHB) e glicose

Embora o ruminante não utilize a glicose como combustível universal para todas as células, este substrato é de fundamental importância para manutenção energética das células nervosas, da glândula mamária, da musculatura, dos tecidos fetais e, em menor grau, dos eritrócitos (Kaneko et al., 2008).

Enquanto nos monogástricos, parte considerável da glicose é proveniente da absorção intestinal oriunda da digestão dos alimentos, nos ruminantes, este metabólito é oriundo da gliconeogênese, ou seja, sintetizado indiretamente a partir de diferentes compostos orgânicos. Esta adaptação metabólica é derivada da situação em que os substratos energéticos, em especial os que contêm glicose, são intensamente fermentados no rúmen (Bergman, 1973).

Para a avaliação do *status* energético, não existe uma variável de eleição. Alguns autores não consideram a glicose como um indicador confiável do *status* nutricional, especialmente do *status* energético (Herdt, 1988; Herdt, 2000). Segundo estes autores, o nível de glicose plasmático é o indicador menos expressivo. Payne e Payne (1987) atribuem essa dificuldade em selecionar indicadores confiáveis para predizer o *status* energético à complexidade do metabolismo energético dos ruminantes.

Um dos pontos obscuros na literatura é a quantificação dos teores plasmáticos de glicose em bovinos, considerados como valores de referência por compêndios clássicos (Kaneko et al., 2008). Os valores de referência consagrados para glicose são 2,5 a 4,16 mmol/L, segundo Kaneko et al. (2008), e 2,0 a 3,0 mmol/L ou 45-75 mg/dL, segundo Payne e Payne (1987). Entretanto, estes valores de referência não são diferenciados entre animais adultos, jovens, lactantes, gestantes ou em fase de crescimento.

A dosagem de AGNE e BHB é considerada a melhor forma de avaliar o balanço energético negativo, sendo capaz de determinar a sua intensidade e a adaptação do organismo a ele. A concentração de AGNE reflete a magnitude de mobilização das reservas corporais (Duffield et al., 2009; Cincovic et al., 2012). Além disso, é um bom indicador para avaliar a ingestão de matéria seca tanto no pré como no pós-parto (Ospina et al., 2010). As concentrações de AGNE começam a aumentar de dois a quatro dias antes do parto, porém em animais com risco de desordens metabólicas isto pode ser antecipado. O pico normalmente ocorre, aproximadamente, três dias após o parto (Le Blanc et al., 2005).

O BHB é o corpo cetônico circulante predominante nos ruminantes e reflete a ocorrência ou não da completa oxidação dos AGNE no fígado. Além disso, o BHB é o corpo cetônico que tem maior estabilidade na amostra em relação ao acetoacetato ou acetona, apresentando maior facilidade para dosagem no plasma ou soro (LeBlanc et al., 2005; Duffield et al., 2009; Ospina et al., 2010). Entretanto, o BHB também pode ser originado do butirato produzido no rúmen e transformado em BHB na parede deste órgão (Herdt e Gerloff, 2009). Portanto, segundo González et al. (2000), o nível plasmático de β -hidroxibutirato apresenta valor limitado como indicador do déficit energético, sendo mais útil em circunstâncias em que a demanda de glicose no organismo é crítica, como no início da lactação e final de gestação.

Elevadas concentrações de AGNE e BHB podem diminuir as funções fisiológicas dos órgãos devido à sua toxicidade. Altas concentrações de AGNE aumentam a lipogênese e a cetogênese nos hepatócitos (Cadórniga-Valiño et al., 1997). Por sua vez, altas concentrações de BHB e acetoacetato diminuem as taxas hepáticas de β -oxidação, gliconeogênese e do ciclo do ácido cítrico, ou seja, podem contribuir para o agravamento do balanço energético em momentos de maior demanda metabólica.

Apesar de nem todos os efeitos das concentrações dos AGNE e do BHB serem bem conhecidos é certo que eles alteram o metabolismo dos ácidos graxos (Li et al., 2012).

Recentemente foram determinados limiares para concentrações de BHB e AGNE que estão associados à ocorrência de doenças e quedas nos índices reprodutivos e de produção (LeBlanc et al., 2005; Duffield et al., 2009; Ospina et al., 2010). Esta informação permite a avaliação do risco de ocorrência das doenças tanto em nível individual como de rebanho. Altas concentrações de AGNE sugerem balanço energético negativo acentuado, com altas taxas de lipólise depois do parto (Li et al. 2012). Uma vez que a síntese de triglicerídeos no fígado está associada e é dependente da concentração de AGNE no sangue, a sua dosagem permite nos informar o momento de desenvolvimento da esteatose hepática (Grummer, 1993).

Ospina et al. (2010) conduziram um estudo que indicou que rebanhos com mais de 15% das vacas com valores acima de 0,3 mmol/L de AGNE no plasma no pré-parto, 0,7 mmol/L de AGNE ou 1,2 mmol/L de BHB no pós-parto apresentaram menor desempenho reprodutivo e produtivo e maiores chances de adoecerem. Outros estudos encontraram níveis críticos próximos a estes, estando associados com maior incidência de deslocamento de abomaso, metrite, cetose clínica, retenção de placenta e maior chance de descarte (LeBlanc et al., 2005; Chapinal et al., 2011; Roberts et al., 2012).

Oetzel (2004) sugeriu um ponto de corte de 0,4 mmol/L de AGNE no pré-parto, sendo o desejável em ambas as análises que no máximo 10% dos animais estejam com valores acima destes níveis. Os rebanhos podem ser classificados como negativos (0 a 11% de animais positivos); incertos (12 a 24% de animais positivos) ou positivos (acima de 25% de animais positivos) para cetose subclínica e para o balanço energético negativo excessivo.

Russel e Wright (1983), avaliando diversos metabólitos para monitoramento do *status* energético, concluíram que entre glicose, β -BHB e AGNE, a glicose é a variável menos representativa (embora seja um bom indicador quando a carência energética é severa) e que AGNE é a melhor variável associada ao referido *status*. Segundo estes autores, os AGNE respondem rapidamente, sob qualquer circunstância fisiológica ou de manejo, sendo bastante sensíveis a graus moderados de déficit energético.

Peixoto (2011), trabalhando com vacas F₁ Holandês x Zebu (Holandês x Gir e Holandês x Guzará) nos primeiros 65 dias de lactação, encontrou as maiores concentrações de AGNE entre o 2º e 17º DEL, corroborando os resultados de outros trabalhos (Le Blanc et al., 2005; Ospina et al., 2010). O valor máximo encontrado foi de $0,484 \pm 0,425$ mmol/L, superior ao indicado por Oetzel (2004) como indicativo de lipomobilização.

Oliveira et al. (2014), trabalhando com animais mestiços com baixo escore de condição corporal (ECC $2,6 \pm 0,5$) no periparto, obtiveram os valores máximos de AGNE no plasma nos primeiros dois dias pós-parto, com valores de $0,862 \pm 0,44$ mmol/L. Os valores de BHB aumentaram significativamente até o 21º pós-parto, porém se mantiveram dentro dos valores de referência entre 0,579 e 1,066 mmol/L (Pogliani, 2007).

2.1.2. Triglicerídeos

Os triglicerídeos (TG) são formados por três ácidos graxos de cadeia longa ligados a uma molécula glicerol-3-fosfato. Eles podem ser formados nas células intestinais, nos adipócitos, hepatócitos, glândula mamária e rins. Sua síntese é estimulada em condições de altas concentrações de insulina e baixas concentrações de glucagon e é inibida na situação inversa. Os triglicerídeos produzidos no fígado se ligam a fosfolipídios, colesterol e apoproteínas para formar as lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDL). Esta lipoproteína transporta os triglicerídeos pelo plasma até outros tecidos. Quando os triglicerídeos são removidos das lipoproteínas pela enzima lipoproteína lipase presente em vários tecidos, ela passa a ser uma lipoproteína de baixa densidade (LDL), que posteriormente é transformada em lipoproteína de alta densidade (HDL). (Basoglu et al., 1998; Thrall et al., 2012).

Vacas que apresentam altos níveis de AGNE no sangue, que apresentam cetose ou esteatose hepática, normalmente apresentam níveis menores de triglicerídeos no plasma. Esta queda é uma consequência do acúmulo de lipídeos no fígado, que podem diminuir a síntese de lipoproteínas (Katoh, 2002), sendo que os triglicerídeos produzidos permanecem neste órgão, não sendo exportados para o sangue e utilizados por outros tecidos (Van-den-Top et al., 2005).

Os níveis normais de triglicerídeos para a espécie bovina variam entre 0 a 14 mg/dL (Kaneko et al., 2008). Porém, estudo brasileiro mostra um valor de referência para fêmeas adultas criadas no estado de São Paulo de 10,95 a 22,12 mg/dL (Pogliani, 2007). Os estados fisiológicos de gestação, parição e lactação são os que mais representam alterações nos níveis de triglicerídeos. Normalmente, as concentrações de triglicerídeos em vacas secas são menores que em vacas em lactação, e especialmente no puerpério estes valores são baixos (Pogliani, 2007).

Devido a esta grande mudança fisiológica, os valores de referência devem ser específicos para cada fase do ciclo produtivo. Pogliani (2007) sugeriu adoção dos níveis de 19,68 a 36,23 mg/dL em vacas com 6 a 9 meses de gestação e de 6,5 a 15,8 mg/dL em vacas no puerpério recente (menos de 30 dias em lactação). Vários trabalhos demonstram o aumento das concentrações de TG com o decorrer da lactação (Bertoni et al., 2008; Graber et al., 2010).

Garcia et al. (2011), trabalhando com animais mestiços, não encontraram diferenças nas concentrações plasmáticas de triglicerídeos, entre a 1ª e 9ª semana de lactação. Oliveira et al. (2014), em trabalho com animais da raça Girolando observaram aumento nas concentrações de TG após o 28º dia em lactação, quando comparado ao pós-parto imediato, resultado semelhante ao obtido por Zambrano e Marques Júnior (2009), também utilizando animais mestiços. Os autores atribuem este aumento na síntese dos triglicerídeos à melhora no *status* energético e sinalização hormonal com o decorrer da lactação.

2.1.3. Colesterol

A síntese de colesterol em ruminantes é praticamente toda realizada no fígado. É realizada a partir da acetil- CoA, processo que se inicia no citoplasma e termina no retículo endoplasmático (Kaneko et al., 2008). A enzima limitante do processo é a 3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA redutase (HMG-CoA). Sua atividade é inibida por sua fosforilação que, por sua vez, é estimulada pela concentração de monofosfato cíclico de adenosina (AMPc) nos hepatócitos. Os níveis de AMPc são, pelo menos em parte, controlados pela insulina e glucagon, sendo o primeiro responsável por seu aumento, e o segundo pela sua diminuição. Através deste mecanismo, em situações em que há altas concentrações de insulina haverá estimulação da produção de colesterol, enquanto que

em situações onde ocorram altas concentrações de glucagon vai haver diminuição da síntese (Kaneko et al., 2008).

O colesterol é um componente fundamental no metabolismo de vários órgãos e tecidos, sendo precursor dos hormônios esteroides e da vitamina D. Ele pode ser exportado pelo fígado como componente das lipoproteínas (principalmente VLDL) ou nos ácidos biliares (Thrall et al., 2012). O colesterol sintetizado no fígado é exportado como parte do VLDL para a circulação e utilizado em outros tecidos. No sangue do bovino, a maior parte do colesterol está ligada ao HDL, o qual representa 80% das lipoproteínas circulantes (Basoglu et al., 1998). A concentração de colesterol total no sangue é indicativo da concentração das lipoproteínas (Kaneene et al., 1997). Por isso, quando em baixa quantidade, pode ser indício da baixa capacidade de exportação dos TG do fígado (Holtenius, 1989). Segundo Van-den-Top et al. (2005), concentrações plasmáticas de colesterol estão correlacionadas com as concentrações de lipídeos em lipoproteínas, podendo refletir melhor função hepática, com lipidose menos severa no pós-parto. A concentração de colesterol é baixa no dia do parto e vai aumentando gradativamente nas primeiras semanas após (Cavestany et al., 2005; Van Knegsel et al., 2007).

Baixas concentrações de colesterol foram associadas com problemas metabólicos, esteatose hepática e retenção de placenta (Grum et al., 1996; Kaneene et al., 1997). Os níveis considerados normais de colesterol estão entre 80 e 120 mg/dL (Kaneko et al., 2008). Entretanto, a concentração de colesterol no plasma apresenta grande variação decorrente do sexo, raça, sistema de criação e nutrição, idade e puerpério, não sendo indicada a adoção de valores de referência gerais para animais que estão no final de gestação e início de lactação (Pogliani, 2007). Trabalho nacional executado por Pogliani (2007), cujo objetivo foi determinar valores de referência do lipidograma de bovinos, indica concentrações entre 94,63 e 146,93 mg/dL no plasma de vacas no final da gestação e entre 32,2 e 103,3 mg/dL para vacas no início de lactação.

Garcia et al. (2011), trabalhando com vacas mestiças nas primeiras nove semanas pós-parto, encontraram aumento das concentrações de colesterol com o avançar da lactação, sendo os menores valores obtidos na primeira semana pós-parto. Os resultados estão de acordo com Souza e Birgel Júnior (2009) e Zambrano e Marques Júnior (2009) que também encontraram aumento na concentração deste componente com o avançar da

lactação. Segundo Ceballos et al. (2002), a queda na concentração de colesterol no plasma no início da lactação pode ocorrer devido à mobilização de gordura, como forma de adaptação do organismo, devido à diminuição no consumo voluntário de matéria seca, crescimento fetal e preparação da glândula mamária para lactação. Oliveira et al. (2014), utilizando vacas mestiças, encontraram aumento linear do colesterol a partir do parto, assim como das lipoproteínas HDL e LDL.

2.2 Indicadores do *status* proteico

Em contrapartida às divergências quanto aos indicadores mais utilizados na avaliação do *status* energético, para os indicadores e/ou metabólitos para avaliação do *status* proteico há mais consenso na literatura. Segundo Payne e Payne (1987), a determinação da concentração de proteína total, albumina, relação albumina/globulinas, nitrogênio ureico plasmático e relação ureia/creatinina podem ser utilizados para avaliação do *status* proteico.

2.2.1. Nitrogênio ureico plasmático (NUP)

O nitrogênio ureico plasmático (NUP) é oriundo do nitrogênio amoniacal absorvido pela parede ruminal e do nitrogênio amoniacal proveniente da deaminação de aminoácidos. Das fontes listadas acima, Broderick e Clayton (1997) afirmaram que o nitrogênio oriundo da degradação proteica no rúmen é o principal contribuinte para a ureia plasmática. Quando a concentração de amônia no rúmen excede a capacidade de captura e utilização pela microbiota ruminal, a mesma é absorvida pela parede do rúmen e transportada ao fígado, por meio do sistema porta e, então, transformada em ureia.

Fatores que elevam as concentrações ruminais de amônia e o pH ruminal aumentam a transferência da amônia para o sangue. Embora mais correlacionadas com o teor de proteína degradável na dieta, as concentrações de nitrogênio ureico plasmático também são correlacionadas com o teor de proteína não degradável na dieta (Roseler et al., 1993). Herrera-Saldana e Huber (1989) demonstraram que vacas alimentadas com dietas contendo teores de proteína não degradável acima das exigências apresentavam menores concentrações ruminais de amônia e maiores concentrações de NUP. Tal fato é explicado pela maior deaminação dos aminoácidos absorvidos pelo trato digestivo, mas não aproveitados pelo organismo.

O NRC (2001) recomenda que a porcentagem de proteína bruta (PB) na dieta de vacas leiteiras varie entre 12% e 18%, dependendo do peso do animal e da produção de leite, podendo chegar a 19% de PB na dieta de animais em início de lactação. Vacas sob pastejo podem apresentar maiores concentrações de NUP, em virtude do maior consumo de proteína bruta, embora o consumo de altos teores de proteína degradável e/ou baixos teores de carboidratos não estruturais também possam contribuir para isso (Payne e Payne, 1987). A alimentação com excesso de proteína pode gerar níveis plasmáticos acima de 19 mg/dL de NUP, interferindo negativamente no desempenho reprodutivo das vacas produtoras de leite, além de perdas na eficiência de utilização do nitrogênio (Sniffen e Chalupa, 2015).

Maiores concentrações de NUP também são esperadas em condições de intenso catabolismo proteico desencadeado por balanço energético negativo em início de lactação, deficiência proteica ou subnutrição (Roseler et al., 1993). Estudos mostraram que vacas leiteiras entre 40 e 100 dias após o parto apresentaram valor médio de 13,4 mg/dL para NUP (Butler et al., 1996). Outros valores foram encontrados para vacas leiteiras com escore corporal e produção de leite distintas, sendo a média entre 7 e 23,5 mg/dL de NUP (Broderik e Clayton, 1997; Ruas et al., 2000). Neste último trabalho, trabalhando em condições brasileiras e com animais zebuínos, os autores encontraram níveis de ureia plasmática entre 15 e 33 mg/dL, que corresponde a valores entre 7 e 15 mg/dL de NUP.

2.2.2. Proteínas totais, albumina e globulinas

As proteínas sanguíneas são sintetizadas principalmente pelo fígado, estando sua taxa de síntese diretamente relacionada com o estado nutricional do animal, especialmente com os níveis de proteína e com a funcionalidade hepática (Payne e Payne, 1987). Os hormônios, o estado nutricional, o balanço hídrico, e outros fatores interferem na concentração plasmática das proteínas, sendo que os estados fisiológicos de gestação e lactação podem acarretar mudanças nas concentrações destas (Kaneko et al., 2008).

As principais proteínas plasmáticas são a albumina, as globulinas e o fibrinogênio. Segundo Gonzalez e Scheffer (2003), estão envolvidas em múltiplas funções, tais como a manutenção da pressão osmótica e da viscosidade do sangue, o transporte de hormônios, nutrientes, metabólitos e produtos da excreção, a regulação do pH

sanguíneo e a participação na coagulação sanguínea. Além disso, atuam como componente estrutural e fazem parte de enzimas e hormônios, regulando muitas das reações bioquímicas. Em razão da sua grande importância na homeostase do organismo, podem-se obter várias informações ao mensurar a proteína total e suas frações (albumina, globulina e fibrinogênio) (Kaneko et al., 2008). Em animais adultos normalmente a concentração de proteína permanece estável, podendo sofrer alterações durante a gravidez devido à necessidade extra de proteína necessária para o crescimento fetal. Os níveis normais de proteína total no soro de bovinos estão entre 6,74 e 7,46 g/dL (Kaneko et al., 2008).

No período de transição e início da lactação ocorrem alterações nas concentrações normais das proteínas totais, sendo a redução abaixo dos valores de referência o efeito mais observado (Birgel Junior et al., 2003; Cavestany et al., 2005; Garcia et al., 2010; Oliveira et al., 2014). Por abranger todas as proteínas plasmáticas, esta redução está principalmente relacionada com a redução das globulinas que ocorre no periparto, principalmente devido à transferência destas para a síntese de colostro na glândula mamária (Feitosa e Birgel, 2000; Oliveira et al., 2014).

A albumina é a grande contribuinte das proteínas totais. Outros constituintes são principalmente as imunoglobulinas, as proteínas de fase aguda, proteínas do sistema complemento, enzimas e hormônios (Thrall et al., 2012). Os valores de proteína total aumentam em casos de desidratação, inflamação e infecções crônicas. A hipoproteïnemia ocorre em casos de hemorragia, queimaduras, perda renal, deficiência da síntese proteica por falta de proteína na dieta, má absorção intestinal, perda de função hepática e em algumas infecções virais (Kaneko et al., 2008). Apesar de ser sintetizada exclusivamente no citoplasma dos hepatócitos, seu catabolismo ocorre no fígado, nos músculos e rins (Thrall et al., 2012). A albumina também tem importante função como transportador de ácidos graxos livres, aminoácidos, metais, cálcio, hormônios e bilirrubina. Além disso, também atua na regulação do pH sanguíneo (González e Scheffer, 2003).

A albumina é uma proteína de resposta de fase aguda negativa e sua concentração cai gradualmente nos quadros inflamatórios e de doenças infecciosas. Nestes casos, a ação das citocinas proinflamatórias como interleucina (IL)-1, (IL)-6 e TNF- α resultam na diminuição da síntese de albumina (Kaneko et al., 2008).

Zambrano e Marques Júnior (2009) verificaram em vacas Girolando com ECC adequado na parição uma queda na concentração plasmática de albumina durante o puerpério. Resultado semelhante foi obtido por Oliveira et al. (2014), trabalhando também com vacas mestiças, que observaram queda nas concentrações de albumina do dia do parto ao 7º DEL, aumentando posteriormente a partir do 14º DEL. Segundo os autores, esta queda poderia estar relacionada com a quantidade de proteína na dieta, aumento na demanda de aminoácidos para a síntese de proteínas lácteas ou redução da capacidade de síntese no fígado devido ao acúmulo de gordura.

As globulinas são um grupo heterogêneo de proteínas, formado por todas as proteínas presentes no soro, com exceção da albumina (Thrall et al., 2012). As proteínas deste grupo possuem características variadas e incluem as imunoglobulinas, enzimas, proteínas de fase aguda, proteínas do complemento, fatores de coagulação e proteínas carreadoras de lipídeos, íons, hormônios e vitaminas. As proteínas que compõem a fração globulina no sangue são divididas em alfa, beta e gama globulinas. Esta classificação ocorre devido à diferença na mobilidade no teste de eletroforese. A maioria destas proteínas é produzida no fígado, com a exceção das imunoglobulinas (Thrall et al., 2012). Nos ruminantes e em outras espécies, ocorre uma queda próximo ao parto na fração gama globulina, composta principalmente por imunoglobulinas, devido à transferência de imunidade para o colostro (Kaneko et al., 2008). Trabalhos nacionais utilizando vacas mestiças (Garcia et al., 2010; Oliveira et al., 2014) observaram queda das globulinas no parto e pós-parto imediatos, com aumento com o avançar da lactação.

2.3. Perfil enzimático

2.3.1. Aspartato aminotransferase (AST)

A enzima aspartato aminotransferase (AST) está presente no citoplasma e nas mitocôndrias, catalisando a transferência reversível dos grupos amino do aspartato para um α -cetoácido, formando glutamato e oxalacetato, o qual pode entrar no ciclo de Krebs e participar da gliconeogênese. Por isso, esta enzima tem papel importante na síntese e degradação de aminoácidos, assim como na participação destes na gliconeogênese, processo que assume maior importância no início da lactação. Portanto, o aumento moderado na atividade desta enzima pode estar relacionado com o catabolismo de

tecido muscular e a utilização dos aminoácidos para a gliconeogênese (Kaneko et al., 2008).

Em caso de lesão ou destruição dos hepatócitos, esta enzima é liberada para a circulação. Normalmente isso ocorre em casos de dano hepatocelular grave, os quais podem ser causados por hipóxia, mudanças metabólicas e consequente acúmulo de lipídeos no fígado (Duffield et al., 2009; Thrall et al., 2012). Um dos problemas do uso da AST para diagnóstico de lesão hepática é sua baixa especificidade, devido à presença desta enzima também nas células musculares e nos eritrócitos, com consequente aumento em casos de injúria ao tecido muscular ou hemólise (Thrall et al., 2012). Sugere-se que o aumento de AST, no dia do parto, pode também ser reflexo do esforço muscular que ocorre durante a parição, o que provocaria a lise de fibras musculares e aumentaria as concentrações séricas na fase inicial do puerpério (Souza et al., 2008). Entretanto, segundo estes autores, este aumento seria passageiro em virtude da meia vida desta enzima ser muito curta.

Alguns autores relatam o aumento da sua atividade depois do parto (Bertoni et al., 2008; Cincovic et al., 2012). Porém, no Brasil, existe uma indefinição nas pesquisas sobre o comportamento da AST durante o periparto. Alguns autores encontraram elevação da sua atividade no pós-parto (Souza et al., 2008) enquanto outros não relataram nenhuma diferença (Garcia et al., 2010). Em trabalho recente utilizando vacas mestiças, Oliveira et al. (2014) encontraram aumento nas concentrações de AST no pós-parto imediato, com valores médios de 75,05 U/L. Embora aumentados em relação ao pré-parto, estes valores estão dentro do valor de referência proposto por Kaneko et al. (2008), entre 78-132 U/L.

3. Curva de lactação em animais zebuínos e seus cruzamentos

A curva de lactação teórica corresponde à representação gráfica da produção de leite em função do tempo, podendo ser segmentada em fase ascendente, que vai do pós-parto ao pico de produção e, posteriormente, em fase de declínio, que se estende até o final da lactação (Wood, 1967). Este formato da curva de lactação é bem documentado em fêmeas de raças europeias especializadas para leite, cujo pico de produção ocorre por volta da 4ª a 8ª semana de lactação (Rowlands et al., 1982; Junqueira et al., 1997; NRC, 2001). Entretanto, estudos sobre a curva de lactação de fêmeas de raças zebuínas e seus cruzamentos são menos frequentes.

A produção de leite em gado mestiço apresenta determinadas peculiaridades quanto à fisiologia da lactação se comparada à de raças mais especializadas para a produção de leite, com destaque para animais da raça Holandês. Característica relevante em vacas F_1 é o formato da curva de lactação. Segundo Glória et al. (2011), vacas F_1 Holandês x Zebu apresentam formato de curva semelhante ao descrito na literatura para vacas de raças leiteiras europeias, caracterizadas por uma fase ascendente até o pico e uma fase descendente posterior ao pico, sendo mais curto o tempo entre o início da lactação e o pico de produção. Estes autores, avaliando 1.340 lactações de vacas F_1 Holandês-Gir (HG), Holandês-Guzerá (HGU), Holandês-Nelore (HN) e Holandês-Azebuado (HA), em diferentes ordens de parto (1ª a 5ª ordem), encontraram tempo médio até o pico de 23,3 dias, variando de 15,8 dias para as HN a 32,6 dias para as HA. A produção no pico foi de 13,97; 13,12; 11,19 e 13,75 kg/dia de leite para as vacas dos grupos HG, HGU, HN e HA, respectivamente.

De modo inverso, Oliveira et al. (2007), analisando 5.368 lactações de vacas mestiças F_1 Holandês x Gir, criadas sob diferentes sistemas de produção e com diferentes ordens de lactação, afirmaram que vacas mestiças possuem curva de lactação sem fase ascendente característica, ou seja, sem pico de produção evidenciado. Estes autores encontraram curva de lactação com aspecto linear e duração média de 270 dias.

Segundo Capuco et al. (2003), o número de células epiteliais mamárias e suas atividades secretórias determinam a forma da curva de lactação dos animais. Em bovinos o aumento da atividade secretória das células epiteliais mamárias aumenta a produção de leite até o pico da lactação. Após o pico, a redução numérica dessas células promove diminuição na produção de leite. Mais estudos são necessários para descrever o comportamento de crescimento e apoptose das células epiteliais mamárias em animais zebuínos e seus cruzamentos.

Outros fatores como gestação, ação hormonal e duração do período seco também influenciam na curva e persistência de lactação. Dentre os fatores externos, fotoperíodo, administração de somatotropina bovina recombinante, aumento da frequência diária de extração de leite e administração de antioxidantes podem aumentar a renovação e a atividade secretória das células epiteliais mamárias. Outros fatores como alta contagem de células somáticas no leite, toxinas, estresse, extração incompleta do leite durante a ordenha e baixo fluxo sanguíneo e tensão de oxigênio podem reduzir a renovação e a

atividade secretória das células epiteliais mamárias. Assim, a glândula mamária cresce quando a taxa de proliferação excede a taxa de apoptose celular, regride quando ocorre o inverso, e mantém o número de células constantes quando as taxas de proliferação e apoptose são iguais (Capuco et al., 2003).

Diversos trabalhos encontraram a fase ascendente da lactação em animais zebuínos e seus cruzamentos. Ruas et al. (2008), encontraram pico de produção aos $26,1 \pm 11,9$ dias, com produção de $16,7 \pm 2,8$ litros de leite, utilizando vacas Holandês x Zebu. Carvalho (2009), utilizando vacas F_1 Holandês x Zebu (Holandês x Gir, Holandês x Guzerá, Holandês x Azebuadas), de 3ª a 8ª ordem de parto, observou pico de produção com 56 dias de lactação, sendo a produção de $20,8 \pm 4,0$ kg/dia, na estação seca do ano. Ambos os trabalhos utilizaram o mesmo rebanho de animais mestiços.

Santos (2011), trabalhando com três grupos genéticos distintos, F_1 Holandês x Guzerá (HGUZ), F_1 Holandês x Gir (HGIR) e F_1 Holandês x Nelore (HNEL) observou fase ascendente nos diversos grupos, diferindo quanto ao dia e produção de leite no pico. O tempo entre o início da lactação e pico de produção foi de 8, 16 e 34 dias, para os animais dos grupos HGIR, HNEL e HGUZ, respectivamente. A produção de leite no pico foi 16,47, 19,46 e 19,80 kg/dia para os animais HNEL, HGIR e HGUZ, respectivamente. Peixoto (2011), avaliando vacas mestiças (F_1 Holandês x Gir e F_1 Holandês x Guzerá) com diferentes ordens de parto (3ª a 8ª), observou pico de produção de $20,4 \pm 3,7$ kg de leite no 24º dia de lactação. O período avaliado foi do parto ao 60º dia em lactação (DEL), sendo a produção média obtida no período de $18,7 \pm 3,6$ kg de leite.

Rebouças et al. (2008) estudaram a curva de 7.412 lactações de 3.416 vacas da raça Gir, comparando ordem de parto (1ª a 5ª ordem), produção de leite aos 305 dias, tempo de ocorrência do pico de produção e produção de leite no dia do pico, em animais com nível de produção alto (≥ 2.628 kg de leite na lactação) e baixo (< 2.628 kg de leite na lactação), nas estações de parição seca e chuvosa. Para os animais considerados com nível de produção alto, com ordem um e dois de parição, os autores observaram 53 e 39 dias até o pico de produção, sendo a produção de 13,12 e 13,53 kg/dia, respectivamente. Para os animais com nível de produção baixo, na estação de parição seca, o tempo até o pico de produção foi de 14 e 12 dias, sendo a produção de 8,57 e 11,41 kg/dia,

respectivamente para ordem de parição um e dois. Segundo estes autores, são vários os fatores que podem influenciar no formato da curva de lactação de animais zebuínos.

4. Escore de condição corporal (ECC)

O escore de condição corporal (ECC) constitui-se em um método fácil e confiável de estimar o estado nutricional de vacas de leite (Edmonson et al., 1989). A sua utilização durante os períodos pré e pós-parto contribui significativamente para que seja mantida a eficiência produtiva do rebanho, assegurando as condições ideais de saúde dos animais, visto a importante associação entre o escore corporal e o perfil metabólico, principalmente relacionado ao metabolismo energético e/ ou lipídico (Busato et al., 2002).

O ECC é uma forma subjetiva de avaliar as reservas energéticas do animal e tem como princípio a observação e palpação de áreas específicas do corpo do animal. Esta avaliação pode ser para determinação do peso vivo do animal, assim como predizer a quantidade de gordura corpórea presente em vacas especializadas para produção de leite (Domecq et al., 1995).

A determinação ou estimativa da quantidade de reservas corporais e gordura em vacas de leite tem fundamental importância, principalmente em virtude da sua atividade metabólica. Durante o primeiro mês de lactação as reservas corporais utilizadas podem ser energeticamente equivalentes a 33% do leite produzido (Bauman e Currie, 1980). Além disso, as mudanças no ECC durante a lactação são bons indicadores do balanço energético (Dechow et al., 2001).

A rápida perda de ECC nesse período final de gestação e após o parto está associada com o aumento da mortalidade e complicações no pós-parto, bem como à alta incidência de doenças metabólicas, infertilidade e outros problemas de saúde (Bell et al., 1995). Além disso, a perda excessiva de peso nesta fase inicial do puerpério devido ao balanço energético negativo tem importantes efeitos no desempenho reprodutivo dos animais, podendo resultar em estro silencioso ou anestro com ovários inativos, cistos ovarianos, aumento de dias abertos, queda na taxa de concepção e morte embrionária precoce (Studer, 1998).

Segundo Busato et al. (2002), vacas em boa condição corporal no periparto ($ECC > 3,25$) e que perdem até 0,75 pontos no ECC durante o período pós-parto, são

menos sujeitas a sofrer hipoglicemia e estão mais adaptadas ao aumento dos requerimentos energéticos no pós-parto. Merece ser ressaltado, ainda, que a avaliação do ECC no período seco da lactação deve ser evitado que a avaliação seja realizada em período muito próximo ao parto, pois durante a fase preparatória do parto os processos ósseos podem estar mais proeminentes, principalmente devido ao relaxamento dos ligamentos pélvicos que ocorre antes do parto. Esta mudança poderá acarretar em valores subestimados do ECC (Dechow et al., 2001).

Busato et al. (2002) encontraram que o fornecimento e a ingestão adequada de alimentos no início da lactação seria suficiente para a prevenção da ocorrência de doenças metabólicas e outros problemas associados. Entretanto, na opinião de outros autores, é de suma importância a manutenção de um escore corporal adequado durante a fase final da lactação, procurando limitar as perdas que ocorrem durante o puerpério (Studer, 1998; Dechow et al., 2001).

Considera-se como ideal que vacas de alta produção leiteira devem parir com estoque adequado de tecidos de reserva, os quais podem ser mobilizados, contribuindo para o fornecimento de energia e proteína necessário para atender os requerimentos do pico de produção de leite durante o início da lactação (Bauman e Currie, 1980).

A condição corporal ao parto está também intimamente relacionada com o consumo do animal no início da lactação. Vacas com maior condição corporal têm menos apetite e maior intervalo entre o parto e o pico de consumo. Hayirli et al. (2002) demonstraram que a ingestão de matéria seca diminui linearmente à medida que a condição corporal aumenta. Enquanto vacas magras ou com boa condição corporal apresentaram uma queda de consumo de 28 e 29% respectivamente, vacas obesas (ECC > 4,0) tiveram uma queda de 40% nas três últimas semanas antes do parto.

Pedron et al. (1993) avaliaram o escore de condição corporal ao parto (ECCP) e as mudanças do escore de condição corporal (MECC) em relação à produção e composição do leite em vacas Holandesas e verificaram que vacas com maior escore de condição corporal ao parto mobilizaram maior quantidade de reservas corporais no pós-parto. Esses autores afirmaram que estas reservas foram utilizadas para a produção de leite e não prejudicaram o desempenho reprodutivo.

Domecq et al. (1997) verificaram que um ponto de aumento no ECC entre o período seco e o parto foi associado ao acréscimo de 545,5 kg de leite nos primeiros 120 dias de lactação. Lago et al. (2001) avaliaram vacas da raça Holandês e verificaram que os animais de maior escore de condição corporal ao parto (4,0) perderam maior quantidade de reservas corporais no pós-parto. Entretanto, não observaram influência do escore de condição corporal ao parto sobre a incidência de doenças no período pós-parto.

De forma semelhante, Gallo et al. (1996) verificaram que animais de maior condição corporal no início da lactação e de alta produção mobilizaram maiores quantidades de reservas corporais para produção. Rennó et al. (2006) verificaram que vacas da raça Holandês apresentaram mobilização de reservas corporais no pós-parto em torno de - 0,80 unidades de ECC até o pico de produção, indicando maior habilidade desses animais em mobilizar reservas corporais para produção de leite. Além disso, estes autores encontraram efeito do ECC ao parto sobre a produção e composição do leite e constatarem maior produção de leite e de seus componentes em vacas de ECC 3,25 ao parto, quando comparadas com vacas com $ECC < 3,0$ ao parto. Por sua vez, Lago et al. (2001) não observaram efeito do ECC ao parto sobre a produção e o teor de gordura do leite durante os primeiros 120 dias de lactação.

Freitas Júnior et al. (2008) verificaram que vacas Holandês x Zebu com baixo ECCP ($<3,25$) mobilizaram menores quantidades de reservas corporais comparadas com vacas com $ECC \geq 3,25$ e apresentaram menores porcentagem de gordura no leite e produção leiteira corrigida para 3,5%. Estes autores encontraram ECCP de 3,71, sendo o menor valor de ECC (3,12) obtido no 50° DEL. Resultados semelhantes foram obtidos por Zambrano e Marques Júnior (2009), trabalhando com vacas Girolando do pré-parto ao 153° DEL. Estes autores encontraram os menores valores de ECC entre o 17° e 54° DEL (ECC 3,2), sendo o ECCP de 3,6.

Apenas uma medida da condição corporal não nos fornece informação sobre como está sendo o processo de mobilização. Somente a variação da condição corporal durante um período nos informa sobre a ocorrência de mobilização ou deposição de reservas corporais (Busato et al., 2002). Considerando-se as escalas propostas por diferentes autores para avaliação do ECC (Wildman e Jones, 1982; Edmonson et al., 1989; NRC, 2001), observa-se que as mesmas foram desenvolvidas para animais de raças

especializadas para produção de leite, particularmente da raça Holandês. Escalas de avaliação do escore de condição corporal próprias para animais zebuínos e seus cruzamentos ainda não foram desenvolvidas, carecendo de maiores estudos a respeito destes animais, especialmente no que se refere aos locais de deposição das reservas corporais, mobilização dos tecidos, etc.

5. 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 Farm Livestock*, v.2, Ruminants, Farnham Royal. 1965. 264p.

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.

BASOGLU, A.; SEVINC, M.; OK, M.; et al. Peri and postparturient concentrations of lipid lipoprotein insulin and glucose in normal dairy cows. *Turkish Journal of Veterinary Animal Science*, v. 22, p. 141-144, 1998.

BAUMAN, D.E.; CURRIE, W.B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, v.63, p.1514-1529, 1980.

BAUMGARD L. H.; ODENS L. J.; KAY J. K.; et al. Does Negative Energy Balance (NEBAL) Limit Milk Synthesis in Early Lactation? In: 21ST ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION & MANAGEMENT CONFERENCE, 2006, Tempe. *Proceedings*. Tempe, Arizona: University of Arizona, 2006. p. 23-24.

BELL, A. W.; SLEPETIS, R.; EHRHARDT, R. A. et al. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.78, n. 9, p. 1954-1961, 1995.

BERGMAN, E. N. Glucose metabolism in ruminantes as related to hypoglycemia and ketosis. *Cornell Veterinary*, v. 63, n. 3, p. 342-382, 1973.

BERTONI, G.; TREVISI, E.; HAN, X.; et al. Effects of inflammatory conditions on liver activity in puerperium period and consequences for performance in dairy cows, *Journal of Dairy Science*, v.91, n.9, p.3300–3310, 2008.

BIRGEL JUNIOR, E. H.; NEVES, F. S.; SALVATORE, L. C. A.; et al. Avaliação da influência da gestação e do puerpério sobre a função hepática de bovinos da raça holandesa. *Ars Veterinária*, v. 19, n. 2, p.172-178, 2003.

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

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

- BRODERICK, A.G.; CLAYTON, M. K. A statistical evaluation of animal and nutrition factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, v.80, n.11, p.2964-2971, 1997.
- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proceedings...3rd Symp. On Energy Metabolism*, EAAP Publ. N° 11. p. 441 – 443, 1965.
- BUSATO, A.; FAISSLER, D.; KUPFER, U.; et al. Body condition scores in dairy cows: associations with metabolic and endocrine changes in healthy dairy cows. *Journal of Veterinary Medicine*, v.49, p.455-460, 2002.
- BUTLER, W.R.; CHERNEY, D.J.R.; ELROD, C.C. Milk urea nitrogen: Field trial results on conception rates and dietary inputs. In: The Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 1996, Ithaca. *Proceedings...* Ithaca: Cornell University Press, p.89-94, 1996.
- C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.
- CADÓRNIGA-VALIÑO, C.; GRUMMER R. R.; ARMENTANO L. E.; et al. Effects of fatty acids and hormones on fatty acid metabolism and gluconeogenesis in bovine hepatocytes. *J. Dairy Sci.*, v. 80, p. 646-656, 1997.
- 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.
- CAPUCO, A. V.; ELLIS. S. E.; HALE, S. A.; et al. Lactation persistency: Insights from mammary cell proliferation studies. *Journal of Animal Science*, v.81, p.18-31, 2003.
- CARVALHO, B. C. *Parâmetros reprodutivos, metabólicos e produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu submetidas a dois manejos pré-parto*. 2009. 193 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CAVESTANY, D.; BLANC, J. E.; KULCSAR, M.; et al. Studies of the Transition Cow Under a Pasture-based Milk Production System: Metabolic Profiles. *Journal of Veterinary Medicine*, v. 52, p. 1-7, 2005.
- CEBALLOS, A.; VILLA, N.A.; BOHÓRQUEZ, A.; et al. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del tropico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, v. 15, p. 26-35, 2002.
- CHAPINAL, N.; CARSON, M; DUFFIELD, T. F.; et al. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *Journal of Dairy Science*, v. 94, p. 4897-4903, 2011.
- CHOWDHURY, S.A. ORSKOV, E.R. Implications of fasting on the energy metabolism and feed evaluation in ruminants. *Journal of Animal Feed Science*, v.3, p.161 – 169, 1994.
- CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. Research School of Nutrition and Physiology, 2004.
- CINCOVIC, R. M.; BRANISLAVA, B.; BILJANA, R.; et al. Influence of lipolysis and ketogenesis to metabolic and haematological parameters in dairy cows during periparturient period. *Acta Veterinaria Belgrade*, v. 62, n. 4, p. 429-444, 2012.

- DECHOW, C. D.; ROGERS, G. W.; CLAYT, J. S.; et al. Heritabilities and correlations among body condition scores, production traits, and reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, v. 84, n. 1, p. 266-275, 2001.
- DOMECQ, J. J.; SKIDMORE, A. L.; LLOYD, J. W.; et al. Validation of body condition scores with ultrasound measurements of subcutaneous fat of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.78, n. 10, p. 2308-2313, 1995.
- DOMECQ, J.J.; SKIDMORE, A.L.; LLOYD, J.W. et al. Relationship between body condition scores and milk yield in a large herd of high yielding Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.80, n.1, p.101-112, 1997.
- DRACKLEY, J. K.; DANN, H. M.; DOUGLAS, G. N.; et al. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Italian Journal of Animal Science*, v. 4, p. 323-344, 2005.
- DUBUC, J.; DUFFIELD, T.F., LESLIE, K.E.; et al. Risk factors for postpartum uterine diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.5764- 5771, 2010.
- DUFFIELD, T. F.; LISSEMORE K. D., MCBRIDE B. W.; et al. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n.2, p. 571-580, 2009.
- EDMONSON, A. J.; LEAN, I. J.; WEAVER, L. D. et al. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.72, p.68-78, 1989.
- FEITOSA, F. L. F.; BIRGEL, E. H. Variação da concentração de imunoglobulinas G e M, de proteína total e suas frações eletroforéticas e da atividade da gamaglutamiltransferase no soro sanguíneo de vaca holandesas, antes e após o parto. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 52, n. 2, p. 11-116, 2000.
- 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.; T. G. JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, v. 61, n. 3, p. 725 – 741, 1985.
- FLATT, J. P. Body composition, respiratory quotient, and weight maintenance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v.62, p.1107-1117, 1995.
- FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, v. 112, p. 29 –78, 2004.
- FREITAS JÚNIOR, J.E., ROCHA JÚNIOR, V.R., RENNÓ, F. P., et al. Efeito da condição corporal ao parto sobre o desempenho produtivo de vacas mestiças Holandês× Zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, p.116-121, 2008.
- GALLO, L.; CARNIER, P.; CASSANDRO, M. et al. Change in body condition score of Holstein cows as affected by parity and mature equivalent milk yield. *Journal of Dairy Science*, v.79, n.6, p. 1009-1015, 1996.
- GARCÍA, A. M. B.; CARDOSO, F. C.; CAMPOS, R.; et al. Metabolic evaluation of dairy cows submitted to three different strategies to diminish the effects of negative energy balance in early postpartum. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 31, p.11-17, 2011.

GLÓRIA, J. R.; BERGMANN, J. A. G.; QUIRINO, C. R.; et al. Curvas de lactação de quatro grupos genéticos de mestiças Holandês-Zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.10, p.2160-2165, 2011.

GONZÁLEZ, F. H. D.; BARCELLOS, J. O.; OSPINA, H.; et al. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. In: *Uso do perfil metabólico para determinar o status nutricional em gado de corte*. Porto Alegre: Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p. 63-74.

GONZÁLEZ, F. H. D.; SCHEFFER, J. F. S. Perfil sanguíneo: ferramenta de análise clínica, metabólica e nutricional. In: I Simpósio de Patologia Clínica Veterinária da Região Sul do Brasil, 2003, Porto Alegre. *Anais.....Porto Alegre:UFRGS*, 73-87, 2003.

GRABER, M.; KOHLER, S.; KAUFMANN T.; et al. A field study on characteristics and diversity of gene expression in the liver of dairy cows during the transition period. *Journal of Dairy Science*, v. 93, p. 5200-5215, 2010.

GRUM, D. E.; DRACKLEY J. K.; YOUNKER R. S.; et al. Nutrition during the dry period and hepatic lipid metabolism of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 79, n. 10, p.1850-1864, 1996.

GRUMMER, R. R. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 76, p. 3882-3896, 1993.

GRUMMER, R. R. Impact of changes organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Dairy Science*, v. 73, p. 2820-2833, 1995.

HAYIRLI, A.; GRUMMER, R. R.; NORDHEIM, E. V.; et al. Animal and dietary factors affecting feed intake during the pre-fresh transition period in Holsteins. *Journal of Dairy Science*, v. 85, p. 3430-3443, 2002.

HERDT, H. H. Ruminant adaptation to negative energy balance. *The Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v.16, n.2, p.215-229, 2000.

HERDT, T. H.; GERLOFF, B. J. *Fatty Liver in Dairy Cattle*. In: *Current Veterinary Therapy: Food Animal Practice*. 5. ed. St. Louis: Saunders Elsevier, 2009. p. 146-149.

HERDT, T.H. Fuel homeostasis in the ruminant. *Veterinary Clinical of North America: Food Animal Practice*, v.4, p.213-231, 1988.

HERRERA-SALDANA, R.; HUBER, J.T. Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, v.72, n.6, p.1477-1483, 1989.

HOLTENIUS, P. Plasma lipids in normal cows around partus and in cows with metabolic disorders with and without fatty liver. *Acta Veterinaria Scandinavica.*, v.30, n. 4, p. 441–445, 1989.

INGVARTSEN, K. L.; DEWHURST, R. J.; FRIGGENS, N. C.; et al. On the relationship between lactational performance and health: is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper. *Livestock Production Science*, v.83, n. 2-3, p. 277-308, 2003.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE - INRA. 1978. *Alimentation des ruminants*, INRA Pub., Versailles. 697p.

JOHNSON, D.E., FERREL, C.L., JENKINS, T.G. The history of energetic efficiency research: where have we been and where are we going? *Journal of Animal Science*, v.81, p.27 – 38, 2003.

- JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2483 -2492, 1995.
- JUNQUEIRA, L.V., NEIVA, R.S., VEIGA, R.D.; et al. Estudo das curvas de lactação de vacas Holandesas de alguns rebanhos do Estado de Minas Gerais, por intermédio de uma função gama incompleta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.26, p.1109-1118, 1997.
- KANECO, J. J.; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L.; et al. *Clinical Biochemistry of Domestic Animal*. 6. ed. Elsevier Inc., San Diego/EUA. 2008. 918p
- KANEENE, J. B.; MILLER, R. A.; HERDT, T. H.; et al. The association of serum nonesterified fatty acids and cholesterol, management and feeding practices with peripartum disease in dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 31, p. 59-72, 1997.
- KATOH, N. Relevance of apolipoproteins in the development of fatty liver and fatty liver-related peripartum diseases in dairy cows. *The Journal of Veterinary Medical Science*, v. 64, p. 293-307, 2002.
- KIMURA, K.; REINHARDT, T. A.; GOFF, J. P. Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.89, p. 2588-2595, 2006.
- KIRKLAND, R. M.; GORDON, F. J. The metabolisable energy requirement for maintenance and the efficiency of use of metabolisable energy for lactation and tissue gain in dairy cows offered a straw / concentrate ration. *Livestock Production Science*, v.61, p. 23-31, 1999.
- KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972. 428p.
- LAGE, H.F. *Partição da energia e exigência de energia líquida para manutenção de novilhas Gir e F1 Holandês x Gir*. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. *Growth of farm animals*. CAB International 1997, 321p.
- LEBLANC, S. J.; LESLIE K. E.; DUFFIELD T. F.; et al. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 88, p. 159-170, 2005.
- LI, P.; LI, X. B.; FU, S. X.; et al. Alterations of fatty acid β -oxidation capability in the liver of ketotic cows. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 1759-1766, 2012.
- LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 27, n. 3, p.793-806, 1968.
- MOE, P.W., FLATT, W.P; TYRREL, H.F. The net energy value of feeds for lactation. *Journal of Dairy Science*, v.55, 945-958, 1972.
- 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, 1981.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle* – NRC. 6.ed. Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 1984.
- 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.
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000.
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001.
- OETZEL, G. R. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 20, p. 651-674, 2004.
- OLIVEIRA, H. T. V.; REIS, R. B.; GLÓRIA, J. R. et al. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama incompleta. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, p.233-238, 2007.
- OLIVEIRA, R. S. B. R.; MOURA, A. R. F.; PÁDUA, M. F. S.; et al. Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras com baixo escore de condição corporal no periparto. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 34, p.362-368, 2014.
- OSPINA, P. A.; NYDAM, D. V.; STOKOL T.; et al. Associations of elevated nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *Journal of Dairy Science*, v. 93, p. 3596–3603, 2010.
- PAYNE, J. M.; DEW, S. M.; MANSTON, R.; et al. The use of a metabolic profile test in dairy herds. *Veterinary Record*, v.87, p.150, 1970.
- PAYNE, J. M.; PAYNE, S. *The metabolic profile*. 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 1987. p.179.
- PEDRON, O.; CHELI, F.; SENATORI, E. et al. Effect of body condition score on performance, some blood parameters, and milk fat, acid composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.76, n.9, p.2528-2535, 1993.
- PEIXOTO, R. T. *Perfil metabólico e hormonal de vacas F1 Holandês-Zebu durante o pré e pós-parto e sua relação com a reprodução*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- POGLIANI, F. C. *Valores de Referência e Influência dos Fatores Etários, Sexuais e da Gestação no Lipidograma de Bovinos da Raça Holandesa, Criados no Estado de São Paulo*. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Clínica Veterinária). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- REBOUÇAS, G. F.; GONÇALVES, T. M.; MARTINEZ, M. L.; et al. Novas funções para estimar a produção de leite, em 305 dias de lactação, de vacas da raça Gir. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.7, p.1222-1229, 2008.
- REID, J. T., WHITE, O. D., ANRIQUE, R. et al. Nutritional Energetics of Livestock: some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal of Animal Science*, v. 51, p. 1393 – 1415, 1980.
- RENNÓ, F. P.; PEREIRA, J. C.; SANTOS, A. D. F.; et al. Efeito da condição corporal ao parto sobre a produção e composição do leite, curva de lactação e mobilização de reservas corporais em vacas da raça Holandesa. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.58, n.2, p.220-233, 2006.

- ROBERTS, T.; CHAPINAL N.; LEBLANC S. J.; et al. Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 6, p. 3057-3063, 2012.
- ROCHE J. R.; FRIGGENS N. C.; KAY J. K.; et al. Berry Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 5769-5801, 2009.
- ROSELER, D. K.; FERGUSON, J. D.; SNIFFEN, C. J.; et al. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.76, n.2, p.525-534, 1993.
- ROWLANDS, G. J.; LUCEY, S.; RUSSEL, A. M.; et al. A comparison of different models the lactation curve in dairy cattle. *British Society of Animal Production*, v. 35, p. 135-144, 1982.
- RUAS, J. R. M.; CARVALHO B. C.; SILVA FILHO, J. M. et al. Efeito da base genética materna e da estação de parição sobre características produtivas de fêmeas primíparas F1 Holandês x Zebu. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, p.218-224, 2008.
- RUAS, J. R. M.; CIRO, A. A. T.; BORGES, L. E. et al. Concentrações plasmáticas de colesterol, glicose e ureia em vacas zebuínas, em relação à condição corporal e ao status reprodutivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.2036-2042, 2000.
- RUSSEL, A. J. F.; WRIGHT, I. A. The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows. *Animal Production*, v. 37, p. 335-343, 1983.
- SANTOS, S. A. *Curvas de lactação e consumo de vacas F₁ Holandês x Zebu em pastejo e confinamento*. 2011. 213 f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SILVA, R.R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. 2011. 59p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola De Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SMITH, N.E.; BALDWIN, R.L. Effects of breed, pregnancy, and lactation on weight of organs and tissues in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, n.9, v.57, p.1055-1060, 1973.
- SNIFFEN, C.J.; CHALUPA, W. Targeted Feeding to save nutrients. In: WESTERN DAIRY MANAGEMENT CONFERENCE, 2015, *Proceedings*...Reno, Nevada, 2015. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>>. Acesso em 18/12/15.
- SOLIS, J. C.; BYERS, F. M.; SCHELLING, G. T. et al. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. *Journal of Animal Science*, v. 66, n. 3, p. 764-773, 1988.
- SOUZA, R. M.; COLLONA, N. A., GARCIA, R. et al. Influência do puerpério e da fase pós-puerperal na função hepática de vacas da raça Holandesa criadas no Estado de São Paulo. *Ciência Animal Brasileira*, v.9, p.140-147, 2008.
- SOUZA, R.M.; BIRGEL JÚNIOR, E.H. Influência do puerpério e da fase pós-puerperal no lipidograma de vacas da raça holandesa criadas no Estado de São Paulo. *Brazilian Journal Veterinary Research Animal Science*, v.46, p.5-10, 2009.
- STUDER, E. A veterinary perspective of on-farm evaluation of nutrition and reproduction. *Journal of Dairy Science*, v. 81, n. 3, p. 872-876, 1998.

- TEDESCHI, L.O., BOIN, C.D., FOX, D.G. et al. Energy requirements for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *Journal Animal Science*, v. 80, p.1671–1682, 2002.
- THRALL, M. A.; WEISER, G.; ALLISON, R. W.; et al. *Veterinary hematology and clinical chemistry*. 2. ed. Ames: Wiley-Blackwell, 2012. 776p.
- TOLKAMP, B.J.; KYRIAZAKIS, I. Toward a new practical energy evaluation system for dairy cows. *Animal*, v. 3, n. 2, p. 307-314, 2008.
- VALADARES FILHO, S.C., MARCONDES, M.I., CHIZZOTTI, M.L. et al. *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados: BR-CORTE*. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 193p.
- VAN DEN TOP, A.; VAN TOL, A.; JANSEN, H.; et al. Fatty liver in dairy cows postpartum is associated with decreased concentration of plasma triacylglycerols and decreased activity of lipoprotein lipase in adipocytes. *Journal Dairy Research*, v. 72, p.129-137, 2005.
- VAN ES, A. J. H. Feed evaluation for dairy cows. *Livestock Production Science*, v.2, p.95–107. 1975.
- 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.
- VAN KNEGSEL, A. T. M.; VAN DEN BRAND, H.; GRAAT, E. A. M.; et al. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: Metabolites and metabolic hormones. *Journal of Dairy Science*, v.90, n. 3, p. 1477-1485, 2007.
- VAN SOEST, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University. 476p.
- WEBSTER, A.J.F. Energy metabolism and requirements. Digestive physiology and nutrition of ruminants. 2 ed. Corvallis: O&B Books, 1978. 229p.
- WILDMAN, O.E.E.; JONES, G.M. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*, v.65, p.34-43, 1982.
- WOOD, P. D. P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, v. 216, p. 164-165. 1967.
- ZAMBRANO, W.J.; MARQUES JÚNIOR, A. P. Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras do pré-parto ao quinto mês da lactação. *Zootecnia Tropical*. 27:475-488, 2009.

CAPÍTULO 2

CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS NUTRIENTES E BALANÇO DE NITROGÊNIO EM VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DE LACTAÇÃO

Resumo – Avaliou-se o consumo, a digestibilidade aparente dos nutrientes e o balanço de nitrogênio de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir durante determinação das exigências nutricionais de manutenção e lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). Os animais foram avaliados da 1^a à 15^a semana em lactação, sendo que na 4^a (P1), 8^a (P2) e 12^a (P3) semana foram realizados os ensaios de digestibilidade com coleta total de fezes. Utilizaram-se as equações propostas pelo NRC (2001) para estimar a densidade energética das dietas, comparando os resultados com os observados. Vacas F₁ apresentaram maior consumo de matéria seca (CMS) e demais nutrientes em todos os períodos, em relação às Gir. Estas apresentaram estabilidade do CMS ao longo dos períodos avaliados, sendo o valor médio de 11,22 kg MS/dia. Vacas F₁ apresentaram menor CMS no período 1 (16,00 kg MS/dia, 3,10% peso vivo), em relação aos demais (17,42 kg MS/dia, 3,33% peso vivo), refletindo as diferenças obtidas na produção de leite entre os períodos. Os dois grupos genéticos não apresentaram diferenças na digestibilidade dos nutrientes, assim como não foram observadas diferenças na digestibilidade entre os níveis de consumo. A equação de predição da energia digestível (ED) a partir dos valores de nutrientes digestíveis totais (NDT) apresentou baixa capacidade de predição, ao passo que as equações de predição da energia metabolizável (EM) a partir da ED e predição da energia líquida (EL) a partir do NDT apresentaram maior capacidade de predição. Vacas Gir apresentaram maior ganho de peso em todos os períodos avaliados. Vacas de ambos os genótipos apresentaram igual perda de nitrogênio fecal e urinário, em relação ao nitrogênio total ingerido. Vacas F₁ apresentaram maior eficiência de conversão do nitrogênio em leite, em relação às Gir. Os diferentes genótipos apresentaram igual eficiência na retenção total de nitrogênio em produtos.

Palavras-chave: bovinos de leite, cruzamento, eficiência, produção de leite

1. INTRODUÇÃO

O desempenho produtivo é uma função do consumo de matéria seca (CMS), do teor de nutrientes digestíveis da dieta e da eficiência do animal em converter os nutrientes em produtos animais. O consumo de alimentos é o principal determinante do ingresso de nutrientes para o atendimento das exigências de manutenção e produção. Sendo assim, o conhecimento do CMS real ou estimado é fundamental, assim como a determinação do valor nutricional dos alimentos, objetivando a formulação de dietas balanceadas.

Cerca de 70% da produção de leite no Brasil é proveniente de vacas mestiças Holandês x Zebu, sendo que o cruzamento mais comum é o Holandês x Gir (Alvim et al., 2005). Embora fundamentais nos atuais sistemas de produção brasileiros, observa-se uma carência de dados relacionados a animais zebuínos e seus cruzamentos, especialmente no que diz respeito às suas exigências nutricionais.

As informações sobre as diferenças existentes entre os processos de ingestão e digestão em animais zebuínos, taurinos e seus mestiços são escassas (Coelho da Silva e Leão, 1979), apesar do reconhecido potencial de manifestação da heterozigose em animais produtos do cruzamento entre *Bos taurus taurus* x *Bos taurus indicus* (Mackinnon et al., 1996).

Objetivou-se, portanto, avaliar o consumo e a digestibilidade dos nutrientes, assim como o balanço de nitrogênio, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local, animais utilizados, tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014, nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal (LAMACA) do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, em Belo Horizonte (MG). Os animais utilizados foram provenientes da Fazenda Experimental de Felixlândia (EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis do grupo genético F₁ Holandês x Gir e seis do grupo genético Gir, os quais corresponderam aos tratamentos experimentais.

As vacas F₁ Holandês x Gir e Gir apresentavam peso vivo médio inicial de 535,5 ± 68,89 kg e 441,1 ± 61,61 kg, respectivamente. Os animais apresentavam uniformidade quanto à condição corporal ao parto. O escore de condição corporal (ECC) foi avaliado conforme Edmonson et al. (1989).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas, sendo dois fatores avaliados, grupo genético (fator da parcela) e semanas em lactação (fator da subparcela).

As avaliações compreenderam o terço inicial de lactação, do 1º ao 105º dia em lactação (DEL). Esse terço inicial de lactação foi fracionado em três períodos, denominados período 1 (30 DEL), período 2 (60 DEL) e período 3 (90 DEL). Objetivando-se evitar a coleta de dados no período de transição (Grummer, 1995), as semanas avaliadas correspondentes aos períodos 1, 2 e 3 foram, respectivamente, a 4ª, 8ª e 12ª semana de lactação.

2.2. Manejo e dieta experimental

Os animais foram manejados em regime de confinamento, em sistema *tie-stall*, dispondo de estrados de borracha, bebedouro e cochos individuais.

A dieta (65% volumoso/ 35% concentrado) foi composta de silagem de milho e concentrado formulado à base de milho (55%) e farelo de soja (45%), além do núcleo mineral (150 gramas/dia, fornecido junto ao concentrado), calculada conforme as recomendações do NRC (2001) para atender às exigências de manutenção (considerando peso vivo médio de cada grupo genético) e produção de leite (considerando produção de leite média de cada grupo genético). A dieta foi fornecida duas vezes ao dia, *ad libitum*, às 7h 30 min e às 16 h 30 min, após a ordenha da manhã e da tarde, respectivamente, em quantidades diariamente ajustadas de forma a manter as sobras em torno de 10% do ofertado.

O teor de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) foi calculado utilizando-se a equação proposta por Sniffen et al. (1992), $NDT = PBD + 2,25 \times EED + CHOTD$, sendo que PBD, EED e CHOTD correspondem respectivamente à proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais digestíveis.

Tabela 1. Composição média da dieta experimental, expressa em % da matéria seca, oferecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir nos períodos de avaliação correspondentes aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação

Variáveis	Período		
	P1	P2	P3
MS	48,12	48,85	47,27
MO	94,41	95,02	94,75
PB	13,38	13,13	13,07
FDN cp	39,49	39,24	38,55
FDA	22,82	21,44	22,61
EE	3,12	3,02	3,00
NDT ¹	72,39	71,37	71,42
CNF	35,48	36,70	37,82
CHOT	77,52	78,95	78,67
Ca	0,44	0,42	0,49
P	0,37	0,36	0,38

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN cp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; ¹ NDT: nutrientes digestíveis totais, determinados de acordo com Sniffen et al. (1992); CNF: carboidratos não fibrosos; CHOT: carboidratos totais; Ca: cálcio; P: fósforo

2.3. Coleta de dados

2.3.1. Ensaio de digestibilidade aparente e balanço de nitrogênio

Foram realizados três ensaios de digestibilidade, correspondentes a cada período avaliado (P1 30 DEL, P2 60 DEL e P3 90 DEL), para determinação da digestibilidade dos nutrientes e densidade energética da dieta.

Os ensaios de digestibilidade aparente apresentaram duração de cinco dias em cada período. Nestes cinco dias, realizou-se coleta total de fezes, assim como pesagem e amostragem diária dos alimentos oferecidos e sobras. As amostras coletadas foram identificadas e congeladas em câmara fria a -20°C para análises químicas posteriores.

O balanço de nitrogênio foi calculado considerando-se as quantidades de nitrogênio ingerido, nitrogênio fecal, nitrogênio urinário e nitrogênio do leite (Silva e Queiroz, 2002). Procedeu-se o cálculo da eficiência de utilização do N, dividindo-se o N-total médio do leite pela ingestão média de N-total da dieta (Broderick, 2003).

2.3.2. Coleta de urina

Após a realização dos ensaios de consumo e digestibilidade aparente, foi realizada a coleta de urina dos animais. Inicialmente tentou-se a coleta total de urina, utilizando-se sonda uretral. Entretanto, em virtude do risco de possíveis contaminações e infecções e da dificuldade em manejar a sonda durante os procedimentos diários de ordenha, adotou-se a coleta *spot* de urina. Esta foi realizada em todos os animais, iniciando-se aproximadamente quatro horas após a alimentação, sendo a amostra obtida por micção espontânea ou estimulação da área vulvar (Rosenberger, 1993).

Alíquotas de 50 mL de urina (amostra *spot*) foram obtidas de todas as vacas em cada período de avaliação. A urina foi filtrada e uma alíquota de 10 mL foi imediatamente congelada para análise do teor de energia bruta. Outra amostra de urina pura foi armazenada para determinação dos compostos nitrogenados totais, ureia e creatinina, sendo estes componentes determinados utilizando-se *kits* comerciais. As análises bioquímicas para determinação da ureia e creatinina foram realizadas no Laboratório de Patologia Clínica do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinárias da Escola de Veterinária da UFMG.

A estimativa do volume urinário produzido em 24 horas foi feita de acordo com a excreção de creatinina na urina, conforme descrito por Orskov & Macleod (1982). O volume urinário foi calculado multiplicando-se o respectivo peso corporal pela excreção diária média de creatinina (mg/kg PV) e dividindo-se esse produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina *spot*. Para obtenção do valor da excreção diária de creatinina, adotou-se a média de 24,05 mg/kg PC, obtida por Chizzotti et al. (2007), em trabalho utilizando vacas em lactação.

2.3.3. Análises bromatológicas

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG. 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, dotado de peneira com crivos de 5 mm, para confecção das amostras compostas. Foi feita uma amostra composta representativa de cada um dos ensaios de digestibilidade aparente, totalizando, portanto, uma amostra de cada alimento oferecido, das sobras e

das fezes, para cada animal em cada período. Todas as amostras foram moídas em moinho “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 1 mm.

Determinaram-se MS em estufa a 105°C, matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl, extrato etéreo (EE) pelo método Soxhlet, cálcio (Ca) e fósforo (P), conforme Silva e Queiroz (2002). As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas pelo método sequencial, conforme Van Soest et al. (1991), em aparelho ANKOM com adição de amilase termoestável na determinação da FDN. A FDN corrigida (FDN_{cp}) foi obtida descontando-se os teores de cinzas e N insolúveis em detergente neutro. Os carboidratos totais (CHOT) e carboidratos não fibrosos (CNF) foram determinados segundo equações propostas por Sniffen et al. (1992). Para estimativa dos nutrientes digestíveis totais (NDT), utilizou-se a fórmula proposta por Sniffen et al. (1992).

As energias brutas dos alimentos, fezes, sobras e urina foram determinadas por meio da combustão completa da amostra em bomba calorimétrica adiabática. O cálculo da energia digestível disponível para o animal foi realizado por diferença entre os valores de energia bruta consumida e a quantidade de energia perdida nas fezes ($ED = EB - E_{fecal}$). O cálculo da energia metabolizável (EM) foi realizado considerando-se as perdas de energia associadas à urina e ao gás metano, sendo este determinado por respirometria (Rodriguez et al., 2007), conforme apresentado no Capítulo 3. O cálculo da energia líquida (EL) da dieta foi feito descontando-se da EM a energia perdida como calor pelo animal. A descrição detalhada da técnica respirométrica está apresentada no capítulo 3.

2.3.4. Nitrogênio ureico no plasma (NUP) e nitrogênio ureico no leite (NUL)

Para determinação do NUP, semanalmente foram realizadas duas coletas de sangue, por punção da veia/ artéria coccígea, utilizando-se sistema de coleta a vácuo. A coleta foi realizada no início da manhã, sempre após a ordenha e antes do arração das vacas. As médias das coletas semanais correspondentes a cada período avaliado (4ª, 8ª e 12ª semanas) foram utilizadas.

Para avaliação da composição do leite, uma vez por semana foi coletada uma amostra individual, sendo a mesma composta das duas ordenhas (manhã e tarde), conforme recomendado por Broderick e Clayton (1997). O teor de ureia foi

determinado, procedendo-se a conversão em nitrogênio ureico no leite. As amostras correspondentes às semanas avaliadas (4^a, 8^a e 12^a) foram utilizadas.

2.4. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas, sendo dois fatores avaliados, grupo genético (fator da parcela) e semanas em lactação (fator da subparcela).

As análises de variância foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS. Verificada significância pelo teste F, para interação significativa ou não, as médias dos grupos genéticos foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Consumo e digestibilidade dos nutrientes

Vacas do grupo genético F₁ apresentaram maiores consumos de matéria seca (CMS) e matéria orgânica (CMO) nos três períodos avaliados em relação às vacas Gir, (tabela 02), quando expressos em kg/dia, porcentagem do peso vivo (% PV) e em gramas por quilograma de peso metabólico (g/kg^{0,75}).

Tabela 2: Consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia, % do peso vivo e g/kg^{0,75}, digestibilidade da matéria seca (DMS), consumo de matéria seca digestível, expresso em kg/dia, g/kg^{0,75} e % do peso vivo, consumo de matéria orgânica (CMO), expresso em kg/dia, % do peso vivo e g/kg^{0,75}, digestibilidade da matéria orgânica (DMO) e consumo de matéria orgânica digestível (CMOD), kg/dia, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação

	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Peso vivo médio (kg)	522,33	525,66	530,50	441,33 b	450,66 b	467,83 a
Matéria Seca (MS)						
CMS total (kg/dia)	16,00 Ab	17,39 Aa	17,46 Aa	11,23 B	11,29 B	11,15 B
CMS (% PV)	3,10 Ab	3,34 Aa	3,32 Aa	2,43 B	2,52 B	2,40 B
CMS (g/ kg ^{0,75})	147,26 Ab	159,48 Aa	158,86 Aa	111,12 B	116,02 B	111,28 B
DMS (%)	70,53	69,19	69,82	69,82	69,80	70,20
CMSD (kg/dia)	11,28 A	12,01 A	12,18 A	7,43 B	7,87 B	7,81 B
CMSD (g/ kg ^{0,75})	104,10 A	110,78 A	110,98 A	77,65 B	81,04 B	78,09 B
CMSD (% PV)	2,16 A	2,28 A	2,30 A	1,68 B	1,75 B	1,67 B
Matéria Orgânica (MO)						
CMO total (kg/dia)	15,08 A	16,54 A	16,55 A	10,55 B	10,62 B	10,31 B
CMO (% PV)	2,89 A	3,15 A	3,12 A	2,39 B	2,39 B	2,21 B
CMO (g/ kg ^{0,75})	138,89 A	151,62 A	150,58 A	109,56 B	109,56 B	102,78 B
DMO (%)	73,39	71,66	71,64	72,00	72,30	72,30
CMOD (kg/dia)	11,07 A	11,85 A	11,86 A	7,60 B	7,68 B	7,45 B

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo (P < 0,05).

Na média dos períodos avaliados, o CMS das vacas F₁ foi 51,06% superior em relação ao das vacas Gir (tabela 2). Quando expresso em g/ kg^{0,75}, essa superioridade foi de 37,58% para vacas F₁. Avaliando-se o CMO, este foi 53% e 37% superior para vacas F₁, quando expresso em kg/dia e por g/ kg^{0,75}, respectivamente. Esta comparação comprova que outros fatores, além do peso corporal, tiveram influência no consumo dos animais de ambos os genótipos. Segundo o NRC (2001), o consumo de nutrientes por vacas em lactação, em geral, segue alguns mecanismos fisiológicos de controle, principalmente em função da produção de leite. Ou seja, o consumo de vacas em lactação é consequência da produção de leite relativa a cada animal, uma vez que há necessidade de se atender às exigências energéticas para produção de leite. Isso pode ser evidenciado em experimentos com somatotropina bovina (BST), nos quais o aumento da produção eleva o consumo de MS (Bauman, 1992), evidenciando que o consumo acompanha às demandas nutricionais dos animais (Bauman et al., 1985), o que permite supor que a limitação ao consumo foi de ordem genética, especialmente devido à produção leiteira.

Nos animais F₁, o CMS observado no período 1 foi menor que nos períodos 2 e 3, quando expresso em kg/dia, % do peso vivo e em g/ kg^{0,75}. Assim como observado para o consumo, diferenças na PLC4%G e ELI foram obtidas entre os períodos, observando-se superioridade do período 2 (20,16 kg/dia e 14,84 Mcal/dia) em relação ao período 1 (18,60 kg/dia e 13,66 Mcal/dia), sendo obtidos no P3 valores intermediários (18,84 kg/dia e 14,20 Mcal/dia). Comparando-se os períodos 2 (60 DEL) e 1 (30 DEL), o aumento de 8,68% no CMS foi convergente à maior PLC4%G (+ 8,38%) e à maior ELI (+ 8,63%) obtidas no P2. Vacas Gir não apresentaram diferenças no CMS, assim como na produção de leite corrigida para gordura e energia líquida secretada no leite.

Comparando-se as equações de predição de CMS propostas pelo NRC (2001), para as vacas F₁ obteve-se proximidade entre os valores reais observados (P1 16,00; P2 17,39 e P3 17,46 kg MS/dia) e os valores preditos pelas equações (P1 14,93; P2 16,20 e P3 16,83 kg MS/dia). Utilizando-se o modelo de predição do CMS proposto pelo AFRC (1993), observa-se uma subestimativa em todos os períodos, obtendo-se os valores de 14,73 (-8,62%), 15,45 (-12,55%) e 15,54 kg MS/dia (-12,35%), para os períodos 1, 2 e 3, respectivamente. Freitas et al. (2006), utilizando dados de vacas holandesas e mestiças Holandês x Zebu, desenvolveram equações de predição de CMS, assim como validaram as equações propostas pelo NRC (1989) e NRC (2001). Utilizando a equação

proposta por estes autores, observa-se grande proximidade com os valores obtidos no presente estudo. Nos períodos 1 e 2 a equação superestima o CMS em 9,5 e 3,7%, respectivamente, ao passo que no período 3 ocorre uma pequena subestimativa em 1,3%.

Em relação aos animais Gir, a equação de predição proposta pelo AFRC (1993) apresentou boa capacidade de estimativa. O modelo superestimou em 9% o CMS no período 1, sendo os valores preditos pela equação e observados similares nos demais períodos. O modelo do NRC (2001) superestimou em 17 e 2% e subestimou em 6% o CMS nos períodos 1, 2 e 3, respectivamente, ao passo que a equação proposta por Freitas et al. (2006) subestimou o CMS em todos os períodos (P1 - 5,6%, P2 -7,7% e P3 -9,1%).

Diversos fatores podem influenciar o CMS voluntário de vacas no início da lactação. Segundo Roseler et al. (1997), os principais fatores são o nível de produção (45%), os alimentos utilizados e o manejo adotado (22%), o peso corporal (17%), o ambiente (10%) e a condição corporal (6%). Ingvarlsen e Andersen (2000) destacaram também a importância do componente metabólico na regulação do CMS. Segundo estes autores, os fatores metabólicos são tão importantes quanto os fatores físicos na regulação do consumo. Apesar do maior interesse recente das pesquisas nessa integração entre consumo e metabolismo, o conhecimento destes fatores e suas influências em animais zebuínos e seus cruzamentos ainda é incipiente.

Quando avaliado em % do peso vivo, vacas F₁ tiveram maior consumo nos períodos 2 e 3 (3,33%) em relação ao P1 (3,10%). Vacas Gir tiveram valor médio de 2,48% do peso vivo. Costa et al. (2005) avaliaram diferentes proporções concentrado: volumoso na dieta de vacas holandesas e mestiças em confinamento, com produção de leite corrigida média de 21,22 kg/dia. Para a dieta com o nível de inclusão de volumoso (65%) mais próximo ao presente trabalho, tendo a silagem de milho como volumoso único, os autores encontraram CMS e CMO de 19,32 kg/dia e 18,22 kg/dia, respectivamente, equivalentes a 3,29% e 3,10% do peso vivo, e semelhantes aos do presente estudo. Quando o CMS foi expresso em g/ kg^{0,75} obteve-se o valor de 161,95 g/ kg^{0,75}, bem próximo ao valor médio obtido para as vacas F₁ (155,20 g/ kg^{0,75}) no presente trabalho. O NRC (1989) propõe estimativas para o CMS em animais de diferentes pesos e níveis de produção. Para vacas com 450 kg e produção diária de 10

kg, o CMS estimado seria de 2,55% do peso vivo, bem próximo ao encontrado para as vacas Gir. Para animais com 550 kg de peso e produção diária de 20 kg, o CMS estimado seria de 3,05%, um pouco inferior ao obtido nas vacas mestiças.

Os resultados de CMS, quando expressos em $\text{g/kg}^{0,75}$, permitem a comparação com outros trabalhos avaliando consumo de vacas em lactação, com dietas semelhantes. O valor médio ($155,2 \text{ g/kg}^{0,75}$) obtido para as vacas F_1 Holandês x Gir demonstram a elevada capacidade de consumo destes animais, com valores próximos aos obtidos por vacas da raça Holandês em trabalhos nacionais (Costa et al., 2005; Pereira et al., 2005; Chizzotti et al., 2007). Segundo Mackinnon et al. (1996), o mais pronunciado efeito genético sobre rebanho leiteiros é a heterose individual, sendo que a heterose derivada do cruzamento *Bos taurus taurus* x *Bos taurus indicus* origina grandes e positivos efeitos no sistema de produção. Este fator é ainda mais predominante quando se trata de características com menor herdabilidade, como por exemplo, o consumo de matéria seca. De acordo com Freeman (1975), a herdabilidade é uma variável que estima quanto da variação total de uma característica é de origem genética aditiva, e em geral o consumo apresenta grande variação nas estimativas, apresentando valores de herdabilidade pouco relevantes.

Santos (2011), comparando vacas em lactação de diferentes grupos genéticos F_1 Holandês x Zebu, obteve CMS médio de 17,56 kg/dia, correspondente a 3,38% do peso vivo, para vacas mestiças F_1 Holandês x Gir. O valor médio encontrado para CMO foi de 16,06 kg/dia, equivalente a 3,09% do peso vivo, resultados bem próximos aos obtidos pelas vacas mestiças no presente estudo. Magalhães et al. (2004), trabalhando com vacas holandesas e mestiças mais produtivas (PLC4% 27 kg/dia), encontraram valores superiores de CMS (20,03 kg/dia, 3,69% do peso vivo e $177,90 \text{ g/kg}^{0,75}$) e CMO (19,06 kg/dia e 3,51% do peso vivo).

Pereira et al. (2005) trabalharam com vacas holandesas e mestiças no terço inicial de lactação, com diferentes níveis de PB na matéria seca da dieta (12,7; 14,1; 15,5 e 16,9%). No tratamento com 14,1% de PB, os autores encontraram CMS e CMO de 18,92 kg/dia e 17,70 kg/dia, equivalentes a 3,38% e 3,09% do peso vivo, respectivamente. Quando expresso em $\text{g/kg}^{0,75}$ o valor obtido foi de $164,28 \text{ g/kg}^{0,75}$. Chizzotti et al. (2007), trabalhando com vacas de diferentes níveis de produção,

encontrou valores inferiores de CMS (15,61 kg/dia, 2,70% pv) e CMO (14,65 kg/dia) para animais do grupo de produção média (19,78 kg LC4% G).

Poucos estudos foram realizados com vacas do grupo genético Gir lactantes em condições de confinamento. Teixeira et al. (2010) avaliaram o desempenho produtivo de vacas Gir em confinamento recebendo diferentes níveis de concentrado (11,7; 23,3; 35,2 e 46,8%) e proteína bruta (11,0; 12,0; 14,0 e 16,0%), com base na matéria seca da dieta. No tratamento composto com 35,2% de concentrado e 14% de PB, o mais próximo ao presente estudo, os autores observaram CMS e CMO de 13,40 e 11,80 kg/dia, equivalentes a 3,08% e 2,70% do peso vivo, respectivamente, sendo estes valores bem superiores aos obtidos no presente estudo. Embora as vacas utilizadas por estes autores tivessem menor peso corporal (PV médio 418 kg), a produção de leite corrigida obtida (12,50 kg/dia) foi 58,62% superior em relação aos dados obtidos no presente estudo, o que provavelmente determinou o maior CMS.

O maior CMS obtido por vacas F₁ refletiu-se no maior consumo de matéria seca digestível (CMSD) e matéria orgânica (CMO), quando expressos em todas as unidades. Embora tenha sido encontrada diferença no CMS entre os períodos para vacas do grupo F₁, o mesmo não foi observado para CMSD, CMO e CMOD. Em todos os períodos avaliados, vacas F₁ apresentaram superioridade nestes parâmetros em relação às vacas Gir. Não foram observadas diferenças na digestibilidade da matéria seca (DMS) e digestibilidade da matéria orgânica (DMO) entre os grupos genéticos, assim como nos diferentes períodos, sendo os valores médios de 69,89 % e 72,22%, respectivamente.

Resultados bem próximos têm sido reportados na literatura, em estudos utilizando vacas mestiças e puras, alimentadas com silagem de milho como volumoso único. Santos (2011) obteve valores médios de DMS e DMO de 71,61 e 73,13%, respectivamente, não encontrando diferenças entre os três grupos genéticos avaliados. Costa et al. (2005) encontraram valores um pouco inferiores para DMS (66,87%) e DMO (68,30%), provavelmente em função do maior nível de consumo obtido, o que não foi observado no presente estudo. Pereira et al. (2005) obtiveram valores de 68,88 e 69,99 para DMS e DMO. Por sua vez, Chizzotti et al. (2007) obtiveram valores bem inferiores para DMS (58,22%) e DMO (60,69%). Diferenças na qualidade do volumoso interferem na digestibilidade das dietas, o que justifica as diferenças em relação à literatura.

O maior CMS das vacas F₁ refletiu-se no maior consumo dos demais nutrientes, tais como FDN_{cp}, NDT, PB, CNF, CHOT e EE. Não foram observadas diferenças entre os períodos no consumo dos nutrientes, para ambos os grupos genéticos. Vacas F₁ apresentaram superioridade no consumo de todos os nutrientes, em relação às vacas Gir, em todos os períodos avaliados (tabela3).

Santos (2011), comparando vacas em lactação de diferentes grupos genéticos (F₁ Holandês x Guzerá (HGUZ), F₁ Holandês x Gir (HGIR) e F₁ Holandês x Nelore (HNEL)), encontrou comportamento quadrático para as variáveis CMS, CMO, CFDN_{cp}, CEE e CNDT. Avaliando-se as vacas do grupo F₁ Holandês x Gir, com produção de leite média de 17,56 kg/dia, o autor obteve valores médios de CFDN_{cp} (6,81 kg/dia, 1,31% pv) e CNDT (12,75 kg/dia, 2,45% pv e 114,33 g/ kg^{0,75}) próximos aos encontrados no presente trabalho.

Após o conhecimento da composição química, a estimativa da digestibilidade é essencial para se determinar o valor nutritivo dos alimentos. Não foram encontradas diferenças na digestibilidade dos nutrientes entre os períodos avaliados, assim como diferenças entre os grupos genéticos, sendo as médias obtidas de DMS 69,89%, DMO 72,22%, DFDN_{cp} 59,61%, DPB 71,87%, DCNF 72,81%, DCHOT 71,90% e DEE 81,87%.

Segundo Moe et al. (1965) existe uma relação inversa entre o aumento no CMS e a queda no valor nutritivo da dieta em vacas de leite. De acordo com Van Soest (1994), o maior consumo pode ocasionar uma maior taxa de passagem, reduzindo o tempo de permanência dos alimentos no trato gastrintestinal, resultando em diminuição na digestibilidade da dieta, que é resultante da interação taxa de degradação x taxa de permanência da digesta nos locais de digestão. Embora os diferentes genótipos tenham apresentado diferenças quanto ao consumo, não foram observadas diferenças quanto à digestibilidade dos nutrientes.

Tabela 3: Consumo (C) e digestibilidade da fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), nutrientes digestíveis totais (NDT), proteína bruta (PB), carboidratos não fibrosos (CNF), carboidratos totais (CHOT) e extrato etéreo (EE), em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
FDN cp						
CFDN cp (kg/dia)	6,25 A	6,72 A	6,54 A	4,30 B	4,55 B	4,28 B
CFDN cp (% PV)	1,20 A	1,28 A	1,24 A	0,98 B	1,02 B	0,92 B
Digestibilidade FDN cp (%)	59,62	61,62	59,49	58,84	58,40	59,70
CFDN cp Digestível (kg/dia)	3,66 A	3,91 A	3,68 A	2,51 B	2,69 B	2,42 B
NDT						
CNDT (kg/dia)	11,52 A	12,60 A	12,57 A	7,75 B	8,05 B	7,44 B
CNDT (% PV)	2,23 A	2,43 A	2,39 A	1,77 B	1,80 B	1,57 B
CNDT (g/ kg ^{0,75})	106,41 A	115,77 A	114,48 A	81,01 B	83,13 B	72,68 B
Proteína Bruta (PB)						
CPB (kg/dia)	2,10 A	2,28 A	2,25 A	1,44 B	1,46 B	1,34 B
Digestibilidade PB (%)	71,41	71,21	71,92	72,30	72,50	71,90
Carboidratos não-fibrosos (CNF)						
CCNF (kg/dia)	5,96 A	6,64 A	6,92 A	3,62 B	3,92 B	3,65 B
Digestibilidade CNF (%)	73,45	72,48	72,92	73,15	71,99	73,12
Carboidratos Totais (CHOT)						
CCHOT (kg/dia)	12,51 A	13,73 A	13,75 A	8,20 B	8,85 B	7,96 B
Digestibilidade CHOT (%)	73,54	71,40	71,42	71,11	71,90	72,00
Extrato Étéreo (EE)						
CEE (kg/dia)	0,47 A	0,53 A	0,55 A	0,37 B	0,31 B	0,31 B
Digestibilidade EE (%)	79,81	79,64	82,31	83,86	82,80	82,80

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. CNF = 1 – (%cinzas + %PB + %EE + %FDN), de acordo com Sniffen et al. (1992); NDT = PBD + 2,25 x EED + CHOTD, de acordo com Sniffen et al. (1992). (P < 0,05).

Parte da variação na capacidade de ingestão e digestão dos alimentos tem base genética, entretanto a magnitude de sua influência é difícil de estabelecer. Segundo Weston (1982), diferentes grupos genéticos podem utilizar alimentos com variada eficiência, o que não foi observado no presente estudo. Santos (2011) também não observou diferenças na digestibilidade dos nutrientes da dieta entre os três grupos genéticos avaliados, sendo os valores encontrados para DFDNcp, DPB e DEE de 61,68, 73,06 e 81,21, respectivamente. Segundo Bauman et al. (1985), existe pequena diferença entre vacas na sua habilidade de digerir determinada dieta, principalmente quando esta é padronizada para todos os animais, como no presente estudo.

Os valores encontrados na literatura para vacas mestiças e holandesas, confinadas e recebendo dietas à base de silagem de milho, apresentam variações quanto à digestibilidade dos nutrientes. Costa et al. (2005), utilizando vacas holandesas e mestiças em confinamento, obtiveram valores de DPB, DEE, DCHOT e DCNF de 69,67, 72,28, 67,91 e 80,10, respectivamente. Pina et al. (2006), trabalhando com animais mais produtivos (PLC4%G 25 kg/dia) e com maior CMS (18,96 kg/dia), obtiveram valores semelhantes aos do presente trabalho para DMS (68,19), DMO (69,61), DPB (72,57%) e DEE (82,65). Estes autores encontraram valores de DFDN (50,87%) bem inferiores aos obtidos no presente estudo. Pereira et al. (2005), trabalhando com vacas holandesas e mestiças em nível de consumo próximo ao presente estudo ($164,28 \text{ g/ kg}^{0,75}$), encontraram valores de DPB (81,04%), DCNF (71,59%), DEE (74,42%), DCHOT (63,25%) e DCNF (67,00%). Teixeira et al. (2010), avaliando vacas Gir em confinamento, obtiveram valores bem inferiores para DMS (49,20%), DPB (53,00%), DEE (76,20%), DFDN (36,20%) e DCNF (67,00). Conforme comentado anteriormente, variações na qualidade dos alimentos utilizados justificam as diferenças encontradas em relação à literatura.

3.2. Densidade energética da dieta

Assim como a determinação das exigências nutricionais dos animais, o conhecimento do valor energético dos alimentos e da dieta é fundamental. Na tabela 4 tem-se a densidade energética da dieta para as vacas F₁ Holandês x Gir e Gir aos 30, 60 e 90 dias de lactação.

Tabela 4. Densidade energética da dieta fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação, expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED), nutrientes digestíveis totais (NDT), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) por quilograma de matéria seca (kg MS), e consumo de energia líquida, expresso em múltiplos da manutenção (x Manutenção)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
EB (Mcal/kg MS)	4,39 Bb	4,52 Aa	4,49 Bab	4,50 Ab	4,62 Aa	4,62 Aa
ED (Mcal/kg MS)	3,14	3,22	3,22	3,19 b	3,37 a	3,33 ab
NDT (%)	72,12	71,18	71,34	72,66	71,56	71,50
EM (Mcal/kg MS)	2,62	2,68	2,67	2,61	2,72	2,72
EL (Mcal/kg MS)	1,44	1,41	1,42	1,50	1,46	1,49
x Manutenção	2,31 Ab	2,56 Aa	2,58 Aa	2,09 B	2,13 B	2,09 B

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Diferenças na EB não eram esperadas, uma vez que o teor de EB da dieta refere-se ao calor de combustão da mesma, sendo dependente apenas de sua composição química. O ARC (1980) reporta um valor médio de EB de alimentos para ruminantes de 4,4 Mcal/kg MS, mesmo valor adotado pelo CSIRO (2007). Segundo o AFRC (1993), silagens de gramíneas, como a utilizada neste estudo, possuem maiores teores de EB (4,54 Mcal/kg MS) e dietas mistas apresentam valores de EB variando entre 4,4 e 4,49 Mcal/kg MS. A média da EB obtida da silagem de milho utilizada neste estudo foi de 4,46 Mcal/kg MS. Segundo Weiss (1993), a utilização da EB na nutrição é limitada, pois esta não indica a disponibilidade da energia do alimento para o animal, devido às perdas variáveis no processo de digestão e metabolização.

O valor médio de ED obtido foi de 3,25 Mcal/kg MS. A concentração de ED reflete a digestibilidade da dieta, sendo importante para avaliação da mesma. Grande parte da avaliação energética dos alimentos se baseia no cálculo do NDT, que é baseado nos ensaios de digestibilidade. O NRC (2001) sugere a conversão da ED em NDT pela divisão da ED por 4,409, assumindo que um quilograma de NDT corresponderia a 4,409 Mcal de ED para animais alimentados em nível de manutenção. Considerando o valor médio de NDT (71,73%) oferecido na dieta para as vacas no presente estudo, o valor de ED seria 3,16 Mcal/kg MS, próximo ao valor real obtido. Utilizando-se os

valores de energia digestível consumida (Mcal/dia) e o consumo de NDT (kg/dia), esta relação foi superior no presente estudo, de 4,43 e 4,78 Mcal de ED por kg NDT, respectivamente para vacas F₁ e Gir.

O NRC (2001) sugere um refinamento na conversão entre as formas de expressão da energia, considerando a influência da composição química sobre a capacidade de fornecimento de energia. A partir disso, o método se baseia em um sistema de equações aditivas, no qual, para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética, considera-se um coeficiente de digestibilidade. Entretanto, segundo alguns autores (Detmann et al., 2008; Magalhães et al., 2010), mesmo empregando as características dos alimentos efetivamente utilizados nos sistemas de produção, com suas devidas análises laboratoriais, o sistema adotado pelo NRC (2001) não tem apresentado eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais.

A figura abaixo demonstra a limitada capacidade do modelo NRC (2001) em prever os valores de ED em função do NDT determinado no presente estudo. Observa-se melhor predição em % NDT mais altas, provavelmente porque o banco de dados do NRC baseia-se em dietas com maior concentração de NDT, em relação às nacionais.

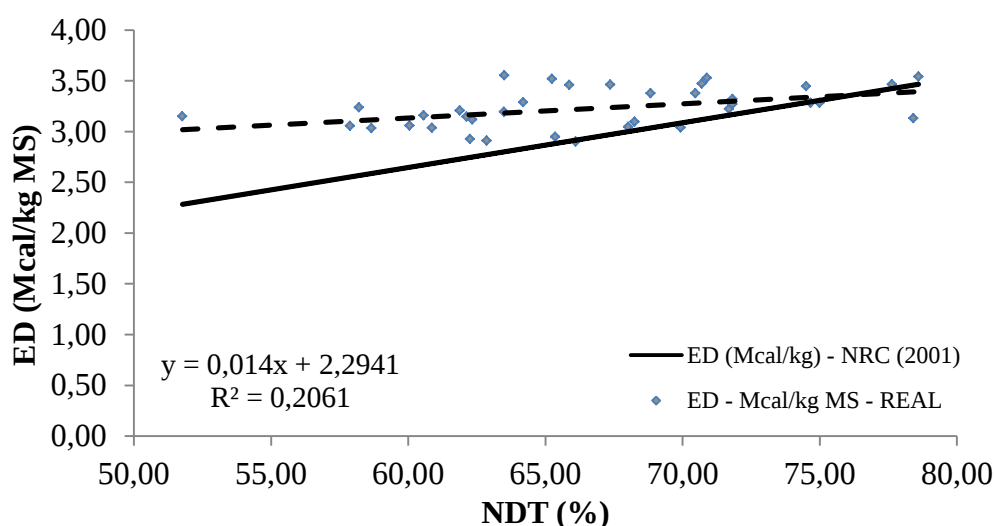


Figura 1. Relação entre a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contígua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,014x + 2,29$).

A EM é um valor mais significativo que a ED para avaliação do valor energético e exigências nutricionais, pois além a perda fecal considera as perdas energéticas urinárias e gasosas. Desse modo é uma estimativa da energia dietética disponível para o animal. Não foram encontradas diferenças na EM entre os períodos e grupos genéticos avaliados, sendo o valor médio de 2,67 Mcal/kg MS. Não foram encontradas diferenças na relação EM/ED entre os grupos genéticos, assim como entre os períodos, sendo o valor médio de 0,8222. O ARC (1980) relata que a relação EM/ED é de aproximadamente 0,82, mesmo valor sugerido pelo NRC (2001). O CSIRO (2007) sugere que esta relação é de 0,81, ao passo que o AFRC (1993) sugere valores entre 0,81 e 0,86.

O NRC (2001) propõe uma equação para estimativa da EM a partir da ED. Esta equação foi derivada de vacas com consumo de 3x a manutenção, questionando-se, portanto, sua acurácia para conversão da ED em EM para diferentes níveis de consumo. A figura abaixo demonstra a boa capacidade de predição desta equação.

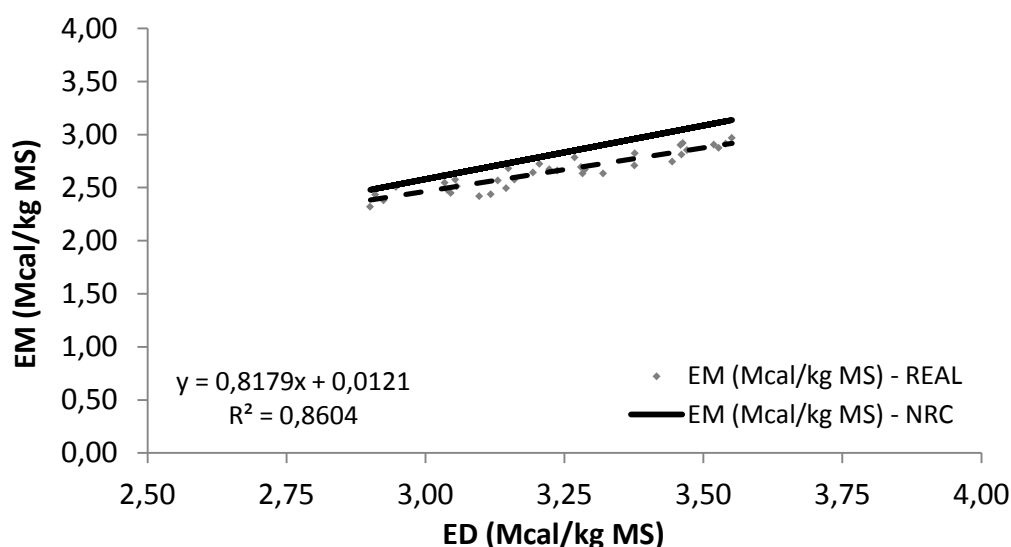


Figura 2. Relação entre a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg MS) e a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) da dieta fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contígua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,818 + 0,01$).

O valor médio obtido de EL da dieta foi de 1,45 Mcal/kg MS. A título de exemplificação, o NRC (2001) sugere para a silagem de milho, em nível de consumo de 3x a manutenção, EL de 1,45 Mcal/kg MS, decrescendo para 1,38 Mcal/kg MS em nível de consumo 4x a manutenção. Os valores obtidos de EL são iguais ao sugerido pelo NRC (2001), para nível de consumo de 3x a manutenção, embora animais de ambos os grupos genéticos tenham apresentado nível de consumo inferior a este valor. Vacas F₁ obtiveram maior consumo de energia líquida, quando expresso em múltiplos da manutenção, em relação às vacas Gir (2,10 x). Diferenças entre os períodos foram observadas nos animais mestiços, sendo o valor obtido no P1 (2,31 x) inferior aos valores obtidos no P2 (2,56 x) e P3 (2,58 x). O menor CMS (tabela 2) observado para estes animais no P1 refletiu-se no menor consumo de energia por estes animais.

O NRC (2001) propõe equação para estimar a EL a partir da concentração de NDT da dieta. De acordo com Van Soest (1994), a avaliação dos alimentos pelo sistema de EL é mais vantajosa, pois a produção de calor tende a ser alta e possuir grande variação. Conforme a tabela 4 observa-se que em todos os períodos para ambos os grupos genéticos o consumo ficou abaixo deste valor. A figura abaixo demonstra a moderada capacidade de predição da EL a partir do NDT, utilizando-se a equação do modelo NRC (2001).

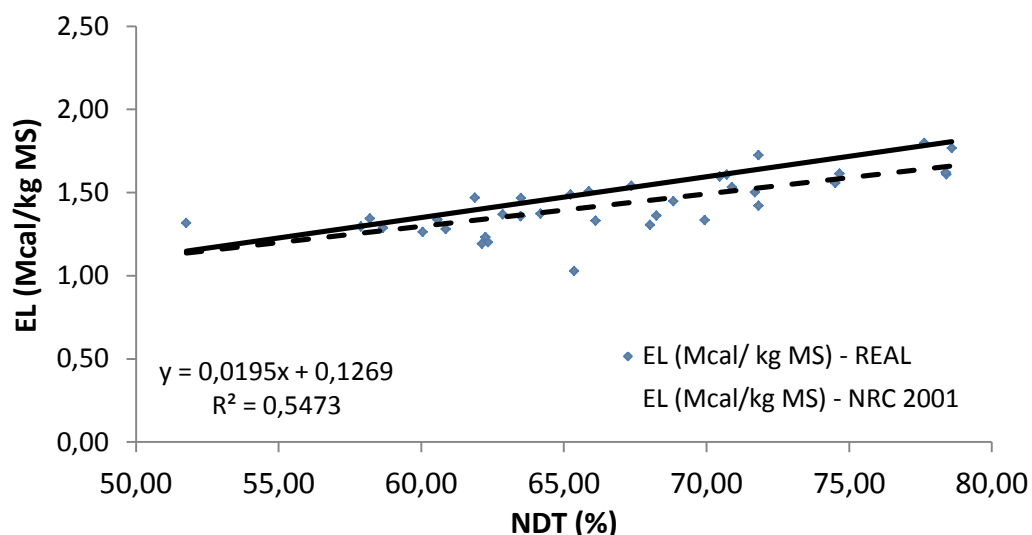


Figura 3. Relação entre a concentração de energia líquida (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, aos 30, 60 e 90 dias de lactação (linha pontilhada - -) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contígua.

3.3. Balanço de nitrogênio

Segundo Pessoa et al. (2009), o balanço de nitrogênio é importante para evitar prejuízos produtivos, reprodutivos e ambientais, uma vez que o fornecimento de grandes quantidades de proteína ou a inadequada sincronia energia-proteína no rúmen pode gerar perdas significativas.

Vacas F₁ apresentaram maior concentração de NUP e NUL, em relação às vacas Gir, no período 1. Não foram observadas diferenças entre grupos nos demais períodos avaliados (tabela 5). Os valores de NUL encontrados para ambos os grupos encontram-se dentro do intervalo proposto por Jonker et al. (1998), entre 10 a 14 mg/dL. Em trabalho nacional avaliando 7.006 lactações de vacas holandesas, Meyer et al. (2006) obtiveram o valor médio de 13,3 mg/dL. Ruas et al. (2000), trabalhando em condições brasileiras, encontraram valores entre 7 e 15 mg/dL de NUP.

Tabela 5. Concentração plasmática de nitrogênio ureico no plasma (NUP) e nitrogênio ureico no leite (NUL), expressa em mg/dL, proteína bruta ingerida (PB ing), nitrogênio ingerido (N ing), nitrogênio fecal (N fecal), urinário (N urinário), no leite (N leite) e balanço de nitrogênio, expressos em g/dia e % do N ingerido, eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite (eficiência N_{leite}) e balanço de nitrogênio (g/dia)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
NUP (mg/dL)	12,64 A	13,81 A	11,59 A	10,15 Bb	12,83 Aa	11,01 Aab
NUL (mg/dL)	13,96 Aa	11,96 Aab	11,28 Ab	10,12 Bb	11,33 Aa	11,23 Aa
PB ingerida (g/dia)	2100 A	2280 A	2250 A	1440 B	1460 B	1340 B
N ingerido (g/dia)	336,0 A	365,0 A	361,0 A	245,0 B	237,0 B	236,0 B
N fecal (g/dia)	102,3 A	99,0 A	95,0 A	69,0 B	66,0 B	62,0 B
% N ingerido	30,45%	27,12%	26,32%	28,16%	27,85%	26,27%
N urinário (g/dia)	126,5 A	129,6 A	128,7 A	82,4 B	81,6 B	82,0 B
% N ingerido	37,65%	35,51%	35,65%	33,63%	34,43%	34,77%
N leite (g/dia)	100,2 A	105,6 A	101,0 A	49,3 Ba	42,6 Bab	40,4 Bb
Eficiência N _{leite}	0,298 A	0,289 A	0,280 A	0,201 Ba	0,180 Bab	0,171 Bb
Balanço Nitrogênio	9,96 Bb	30,80 Ba	36,21 Ba	44,30 Ab	46,80 Aab	51,52 Aa

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

O maior CMS das vacas mestiças (tabela 2) refletiu-se em maior CPB e nitrogênio (354,0 g/dia), em relação às vacas Gir (239,3 g/dia). Proporcionalmente ao CMS, o N ingerido foi igual para ambos os grupos, com média de 2,13% da MS. O maior N ingerido pelas vacas F₁ refletiu-se em maior perda de N fecal (98,8 g/dia). Entretanto, quando expresso em % do N ingerido, não foi observada diferença entre os grupos, sendo o valor médio de 27,69%. Resultado semelhante foi obtido por Feitosa (2013), avaliando diferentes volumosos em substituição à silagem de milho para vacas em lactação. No tratamento controle, em vacas com CMS de 18,56 kg MS, a perda proporcional foi de 28,91%. Resultados diferentes foram obtidos em outros estudos, sendo a perda variável entre 23,90% (Cruz et al., 2006) até 34,93% (Alves et al., 2010).

Assim como para o N fecal, o N urinário foi maior para as vacas F₁ (128,31 g/dia), em relação às vacas Gir (82,02 g/dia), porém quando expresso em % do nitrogênio ingerido, o valor foi igual para ambos os grupos, com média de 35,28%.

O incorreto balanceamento de proteína e aminoácidos na dieta resulta em aumentos nas concentrações séricas de ureia e na excreção urinária de compostos nitrogenados, que podem representar também significativa perda energética. Objetivando quantificar estes compostos, esforços têm sido feitos para estimar a excreção urinária de N a partir do NUL ou NUP, que podem ser facilmente mensurados em sistemas de produção.

De acordo com Sniffen e Chalupa (2015), o consumo excessivo de proteína, N urinário e NUL são altamente correlacionados e, embora não se faça monitoramento periódico do N excretado na urina ou fezes, o NUL tem sido rotineiramente monitorado. Segundo estes autores, o excesso de N nas dietas é frequente, tendo sido observado por anos para vacas de alta produção. Segundo esses autores, para dietas contendo 17-18% de PB, buscava-se NUL entre 14 e 18 mg/dL. Porém, sabe-se que grupos de vacas de alta produção podem ser eficientemente alimentados com dieta contendo entre 14-15% de PB, buscando conseguir valores de NUL próximos a 10 mg/dL. No presente estudo, a média de PB na dieta em todos os períodos avaliados foi de 13,20%, sendo o NUL variável entre 10 e 14mg/dL. Possivelmente, em função do menor nível produtivo dos animais utilizados, quando comparados a trabalhos com vacas da raça Holandês, poder-se-ia utilizar menores teores de PB na dieta inicialmente formulada.

Colmenero e Broderick (2006) conduziram experimento clássico com vacas leiteiras, variando o teor de proteína bruta na dieta entre 13,5 e 19,4% da MS. Segundo esses autores, dietas com 16,5% de PB são capazes de suportar máximas produções de leite com mínima excreção de N para o meio ambiente em comparação às dietas com mais altas concentrações proteicas. Os autores verificaram que aumentos de 13,5 para até 19,4% de PB na dieta resultaram em aumentos lineares no consumo de PB, no teor de NUL e nas excreções de N para o meio ambiente, sem que a elevação no teor proteico da dieta tenha resultado em variações significativas no ganho de peso, produção e composição do leite dos animais. Para o nível de 13,5% de PB na dieta, próximo ao utilizado no presente estudo, estes autores encontraram CMS de 22,37 kg/dia, correspondente à ingestão diária de 483 g/N. As perdas de N fecal (196 g/dia), urinário (113 g/dia) e no leite (175 g/dia) corresponderam a 40,54, 23,25 e 36,33 % do nitrogênio ingerido.

Jonker et al. (1998) sugeriram que a excreção diária de nitrogênio urinário (NU) por uma fêmea bovina seria de 12,54 g por unidade de NUL (mg/dL). Utilizando-se este modelo, os valores estimados de NU para os animais F1 Holandês x Gir e Gir seriam de 155,49 g/N e 136,56 g/N, superestimando em 21,18 e 66,49%, respectivamente. Por outro lado, Kauffman e St-Pierre (2001) propuseram um modelo em que o peso corporal é considerado juntamente com o NUL, para estimativa da excreção de NU. Este modelo, por sua vez, superestimou em 31,70 e 55,86% a excreção urinária de nitrogênio para as vacas mestiças e Gir, respectivamente.

Resultado semelhante foi obtido por Chizzotti et al. (2007), avaliando vacas holandesas e mestiças em diferentes níveis de produção, os quais observaram pequeno ajuste nas equações de predição da excreção de NU, que superestimaram em até 207% o NU. Esses autores sugeriram equações para estimativa do NU a partir do NUP e peso vivo. Utilizando a equação que considera somente o NUP, o valor foi subestimado em 9,8% para as vacas F₁ e superestimado em 26% para as Gir. Com a equação que considera NUP e peso vivo, o modelo subestimou em 20,81% para os animais mestiços e superestimou em 8,79% para os animais Gir.

A literatura apresenta valores absolutos e relativos da perda de N urinário bem variáveis. Conti et al. (2014) obtiveram maiores valores de NU de 163,77 g/dia, proporcional a 38,67% do N ingerido. Cruz et al. (2006), trabalhando com vacas

mestiças (5/8 Holandês x Gir), obtiveram NU de 123,35 g/dia, equivalente a 32,85% do N ingerido, próximo ao obtido no presente estudo para vacas F₁. No estudo de Alves et al. (2010), a perda absoluta (94,50 g/dia) e relativa (26,62% N ingerido) foi inferior aos demais trabalhos e aos resultados obtidos neste estudo (35,28%).

Em virtude da maior produção de leite, vacas F₁ tiveram maior excreção de N no leite (102,2 g/dia) em todos os períodos, em relação às vacas Gir. Estas, por sua vez, apresentaram maior excreção no P1 (49,3 g/dia), em relação ao P3 (40,4 g/dia). A mensuração do N excretado no leite é importante para se determinar a eficiência de conversão do nitrogênio alimentar em nitrogênio do leite, sendo que o limite desta conversão ainda não foi claramente definido.

Chase (2003), na tentativa de estabelecer esta eficiência, avaliou 334 tratamentos, provenientes de 62 estudos, determinando o valor médio de 0,270. Este autor também identificou diversos fatores que afetam a eficiência com que este elemento é utilizado, tais como cruzamento, ordem de lactação, estágio de lactação, teor de proteína do leite, fonte de carboidrato e quantidade e qualidade da proteína dietética.

Observando-se a tabela 5, verifica-se que vacas F₁ tiveram maior eficiência de conversão (0,289), em relação às vacas Gir, sem diferenças entre os períodos. Comparando-se os períodos, vacas Gir apresentaram maior produção de leite e consequentemente excreção de N no período 1, ao passo que o N ingerido foi igual entre os três períodos. Sendo esta eficiência uma relação entre N excretado no leite e consumido, menor eficiência foi obtida no período 3 (0,171). É importante salientar que somente o N excretado no leite é avaliado neste cálculo, ignorando o potencial de retenção de N em outros produtos, tais como o ganho de peso, que podem ocorrer concomitantemente à lactação.

Os resultados obtidos para as vacas F₁ encontram-se bem próximos ao sugerido por Jonker et al. (1998), que observaram valor médio de $0,283 \pm 0,03$ (n = 70) para esta eficiência, ao analisarem dados referentes a 40 vacas e 10 dietas, objetivando o desenvolvimento de um modelo de predição para esta eficiência. Pereira et al. (2005) obtiveram valor de 0,253 para vacas alimentadas com dietas à base de farelo de soja, fubá de milho e silagem de milho, no terço inicial de lactação. Alves et al. (2010) obtiveram o valor médio de 0,242, utilizando vacas mestiças. Valor semelhante (0,243) foi obtido por Conti et al. (2010), trabalhando com vacas de maior produção (22 kg/dia).

Feitosa (2013) obteve o valor de 0,215, para animais com CMS semelhante às vacas F₁ deste estudo, porém com produção leiteira inferior. Cruz et al. (2006) obtiveram o valor inferior de 0,198 em vacas Girolando com menor produção leiteira (PL 15 kg/dia), valor próximo aos resultados obtidos no presente estudo para as vacas Gir.

O balanço de nitrogênio no animal, ou seja, o nitrogênio consumido menos o nitrogênio encontrado nas fezes e urina, fornece uma quantificação do metabolismo proteico (Chizzotti et al., 2007). Para este cálculo, além destas perdas, deve-se também considerar o N secretado no leite, em animais em lactação.

Em todos os períodos avaliados observa-se superioridade dos valores obtidos para os animais Gir, em relação às vacas F₁, o que ocorreu principalmente devido à maior produção de leite por estes animais. Também foram observadas diferenças entre os períodos para cada grupo genético. Vacas Gir apresentaram balanço de N maior no P3 (51,52 g/dia), em relação ao P1 (44,30 g/dia), sendo os valores obtidos no P2 (46,80 g/dia) intermediários. Esta diferença justifica-se pela maior produção e excreção de N no leite observada no P1. Vacas F₁ tiveram superioridade nos períodos 2 e 3, em relação ao período 1.

Tabela 6. Peso vivo (kg), escore de condição corporal (ECC), variação do peso vivo (kg/dia), nitrogênio total retido (NTR, gramas/dia) e eficiência de retenção do nitrogênio total (ERNT), em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir no terço inicial de lactação

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Peso Vivo (kg)	522,33	525,66	530,50	441,33 b	450,66 b	467,83 a
ECC	3,17 B	3,08 B	3,38 B	3,58 Ab	3,71 Ab	4,06 Aa
Δ PV (kg/dia)	-0,102 B	0,060 B	0,142 B	0,188 A	0,481 A	0,446 A
NTR (gramas/dia)	110,16 Ab	136,40 Aa	137,21 Aa	93,60 B	89,40 B	91,92 B
ERNT	32,79%	37,37%	38,01%	38,20%	37,72%	38,95%

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Considerando-se que o balanço positivo de N representa ganho de tecido corporal, uma vez que as outras fontes de perda deste componente já foram contabilizadas, vacas Gir apresentaram maior retenção de N em suas reservas, ou seja, em ganho de peso. Em relação ao início do estudo, estes animais apresentaram maior peso vivo e ECC no

último período avaliado, demonstrando que estes animais tiveram ganho significativo ao longo do terço inicial de lactação. Vacas Gir tiveram maior ganho de peso em todos os períodos avaliados, em relação às vacas mestiças.

Contabilizando todo o N retido, ou seja, o N excretado no leite em conjunto com o balanço de N, vacas F₁ apresentaram maior N total retido (média 127,92 g/dia), em relação às vacas Gir (média 91,64 g/dia). Entretanto, ao se avaliar a eficiência de retenção do nitrogênio total em relação ao N ingerido, observam-se valores muito próximos para ambos os grupos, sendo o valor médio de 36,05% e 38,29% para as vacas F₁ e Gir, respectivamente. Provavelmente isso ocorre pela similar eficiência com que este nutriente é utilizado para as diferentes funções fisiológicas (produção de leite x ganho de peso). Segundo o NRC (1985), a eficiência de uso da proteína metabolizável para ganho de peso varia entre 0,50 e 0,65, ao passo que o NRC (2001) sugere o valor de 0,67 para lactação. O AFRC (1993), por sua vez, sugere a eficiência de 0,59 para ganho e 0,68 para lactação. Embora os grupos genéticos avaliados tenham diferenças quanto à partição energética (produção de leite x ganho de peso), quando a eficiência é avaliada em termos de retenção de N em produtos, observa-se similaridade para ambos os grupos genéticos.

4. CONCLUSÕES

Vacas F₁ Holandês x Gir tiveram maior consumo de nutrientes em todos os períodos avaliados, em virtude da maior produção de leite.

Os diferentes grupos genéticos não influenciaram a digestibilidade dos nutrientes.

Equações de predição do CMS e estimativa da densidade energética da dieta (NRC, 2001) tiveram razoável capacidade em prever os resultados observados.

Vacas mestiças tiveram maior eficiência de retenção do nitrogênio no leite. Os diferentes genótipos apresentaram igual eficiência na retenção total de nitrogênio em produtos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.
- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL - ARC. *The nutrient requirements of ruminant livestock*, London: The Gresham Press, 1980. 351p.
- ALVES, A.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L.K. et al. Substituição do farelo de soja por farelo de algodão de alta energia em dietas para vacas leiteiras em produção: consumo, digestibilidade dos nutrientes, balanço de nitrogênio e produção leiteira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.3, p.532-540, 2010.
- ALVIM, M. J, PACIULLO, D. S. C, CARVALHO, M. M. et al. 2005. Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/racas.htm> Acessado em 12 de Dezembro de 2015.
- BAUMAN, D. E. Bovine somatotropin: Review of an emerging animal technology. *Journal of Dairy Science*, v.75, p.3432–3451, 1992.
- BAUMAN, D. E.; McCUTCHEON, S.; STEINHOURET, W. et al. "Sources of variation and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cow: a review." *Journal of Animal Science*, v.60, p.583-592, 1985.
- BRODERICK, G.A.; CLAYTON, M.K. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.2964-2971, 1997.
- BRODERICK, G.A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.86, n.4, p.1370-1381, 2003.
- CHASE, L.E. Nitrogen utilization in dairy cows – what are the limits of efficiency? *Proceedings...Cornell Nutrition Conference*, Syracuse, NY. Cornell University, p.233-244, 2003.
- CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Consumo, digestibilidade e excreção de ureia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.1, p.138-146, 2007.
- COELHO DA SILVA, J.F.; LEÃO, M.I. *Fundamentos de nutrição dos ruminantes*. Piracicaba: Livroceres, 1979. 380p.
- COLMENERO, J.J.; BRODERICK, G. A. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.89, n.5, p.1704-1712, 2006.
- CONTI, L. H. A.; JESUS, E. F.; PEREIRA, A. S. C. et al. Balanço de nitrogênio e composição do leite de vacas alimentadas com ureia e farelo de soja e dois teores de proteína em dietas com cana-de-açúcar. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 51, n. 3, p. 242-251, 2014.
- COSTA, M.G.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Desempenho Produtivo de Vacas Leiteiras Alimentadas com Diferentes Proporções de Cana-de-Açúcar e Concentrado ou Silagem de Milho na Dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.6, p.2437-2445, 2005.

- CRUZ, M. C. S.; VÉRAS, A. S.; FERREIRA, M. A. et al. Balanço de nitrogênio e estimativas de perdas endógenas em vacas lactantes alimentadas com dietas contendo palma forrageira e teores crescentes de ureia e mandioca. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.28, n.1, p.47-56, 2006.
- C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria:Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.
- DETMANN, E. ; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*, v.143, p.124-147, 2008.
- EDMONSON, A. J., LEAN, J., WEAVER, L., et al. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.72, p.68-78, 1989.
- FEITOSA, E.M.S. Síntese de proteína microbiana e balanço de nitrogênio em vacas leiteiras alimentadas com raspa de mandioca e silagem de milho em substituição à palma Forrageira. 2013. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Garanhuns.
- FLATT, W. P.; MOE, P. W.; MUNSON, A. W.; et al. Energy utilization by high producing dairy cows. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. In: Blaxter, K. L.; Kielanowski, J.; Thorbeck, G. *Energy Metabolism of Farm Animals*. Oriel Press.1969.
- FREEMAN, A. Genetic variation in nutrition of dairy cattle. In: The effect of Genetic Variance on Nutritional Requirements of Animals. p.19-46. 1975. National Academy of Sciences, Washington, D. C.
- FREITAS, J. A.; LANA, R. P.; MAGALHÃES, A. et al. Prediction and validation of dairy cattle performance in Brazilian conditions. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v.14, p.128-134, 2006.
- GRUMMER, R. R. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2820-2833, 1995.
- INGVARTSEN, K.L. e ANDERSEN, J.B. Integration of Metabolism and Intake Regulation: A Review Focusing on Periparturient Animals. *Journal of Dairy Science*, v. 83, p. 1573-1597, 2000.
- JONKER, J.S.; KOHN, R.A.; ERDMAN, R.A. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.81, n.10, p.2681-2692, 1998.
- KAUFFMAN, A.J.; ST-PIERRE, N.R. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, v.84, p.2284-2294, 2001.
- MACKINNON, M.J.; THORPE, W.; BAKER, R.L. Sources of genetic variation for milk production in a crossbred herd in the tropics. *Animal Science*, v.62, p.5-16, 1996.
- MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, J.M.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Cana-de-Açúcar em Substituição à Silagem de Milho em Dietas para Vacas em Lactação: Desempenho e Viabilidade Econômica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, n.5, p.1292-1302, 2004.

- MEYER, P.M.; MACHADO, P.F.; COLDEBELLA, A. et al. Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio ureico no leite de vacas da raça Holandesa. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.1114-1121, 2006.
- MOE, P.W.; REID, J.T.; TYRREL, H.F. et al. Effect of level of intake on digestibility of dietary energy by high-production cows. *Journal of dairy Science*, v. 48, p.1053–1061. 1965.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1989. 158p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2001. 381p.
- ØRSKOV, E.R.; MACLEOD, N.A. The determination of the minimal nitrogen excretion in steers and dairy cows and its physiological and practical implications. *British Journal of Nutrition*, v.47, p.625-636, 1982.
- PEREIRA, M.L.A.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Consumo, digestibilidade aparente total, produção e composição do leite em vacas no terço inicial da lactação alimentadas com níveis crescentes de proteína bruta no concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.3, p.1029-1039, 2005.
- PESSOA, R. A. S.; LEÃO, M. I.; FERREIRA, M. A. et al. Balanço de compostos nitrogenados e produção de proteína microbiana em novilhas leiteiras alimentadas com palma forrageira, bagaço de cana de açúcar e uréia associados a diferentes suplementos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 5, p. 941-947, 2009.
- PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Síntese de proteína microbiana e concentrações de uréia em vacas alimentadas com diferentes fontes de proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.4, p.1552-1559, 2006.
- RODRÍGUEZ, N.M; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.2, p.495-500, 2007.
- ROSELER, D. K.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. et al. Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.878-893, 1997.
- ROSENBERGER, G. Exame clínico dos bovinos. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993. C. 8, p. 229 – 240.
- RUAS, J. R. M.; CIRO, A. A. T.; BORGES, L. E. et al. Concentrações plasmáticas de colesterol, glicose e ureia em vacas zebuínas, em relação à condição corporal e ao status reprodutivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.2036-2042, 2000.
- SANTOS, S. A. 2011. Curvas de lactação e consumo de vacas F₁ Holandês x Zebu em pastejo e confinamento. Tese de Doutorado em Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 213p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos* (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; Van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.

- SNIFFEN, C.J.; CHALUPA, W. Targeted Feeding to save nutrients. In: WESTERN DAIRY MANAGEMENT CONFERENCE, 2015, *Proceedings...* Reno, Nevada, 2015. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>>. Acesso em 18/12/15.
- TEIXEIRA, R.M.A.; LANA, R.P.; FERNANDES, L.O. et al. Desempenho produtivo de vacas da raça Gir leiteira em confinamento alimentadas com níveis de concentrado e proteína bruta nas dietas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.11, p.2527-2534, 2010.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v.74, n.9, p.3583 – 3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. London: Comstock Publishing Associates, 1994. 476p.
- WEISS, W.P. Predicting energy values of feed. in. symposium: prevailing concepts in energy utilization by ruminants. *Journal Dairy Science*, v.76, p.1802-1811, 1993.
- WESTON, R. Animal factors affecting feed intake. In: NUTRITIONAL LIMITS TO ANIMAL PRODUCTION FROM PASTURES, 1982, Sta. Lucia. *Proceedings...* Sta. Lucia: Queens, 1982. p.193-98.

CAPÍTULO 3

PARTIÇÃO ENERGÉTICA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ENERGIA PARA MANUTENÇÃO E LACTAÇÃO DE VACAS F₁ HOLANDÊS X GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DA LACTAÇÃO

Resumo – Objetivou-se avaliar a partição da energia e determinar as exigências de energia líquida de manutenção (ELm) e lactação (ELl), assim como a eficiência de uso da energia metabolizável, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir no terço inicial de lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, vazias, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). Foram realizados três ensaios de digestibilidade, seguidos por mensuração da produção de calor (PC) em câmara respirométrica. Vacas F₁ tiveram maior consumo de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em todos os períodos avaliados, em relação às Gir, refletindo o maior consumo de matéria seca (CMS). Vacas dos dois grupos genéticos tiveram perdas similares de energia bruta na forma de fezes (28,17%) e metano (6,37%). A metabolizabilidade (q) da dieta não teve diferenças entre períodos e grupos genéticos, sendo o valor médio de 0,59. Vacas F₁ tiveram maior energia líquida secretada no leite, em relação às Gir. A exigência de energia líquida para produção de 1 kg leite foi de 0,77 Mcal/kg de leite, o que corresponde a 0,293 kg nutrientes digestíveis totais (NDT) / kg de leite, similar entre os grupos. Vacas F₁ apresentaram maior produção de leite e sólidos totais. Vacas Gir tiveram significativo ganho de peso e escore de condição corporal. Vacas F₁ foram mais produtivas e eficientes, em relação à porcentagem da energia secretada no leite, assim como em relação à emissão de gases de efeito estufa (GEE) por produto gerado (leite e sólidos totais). Vacas Gir têm menor exigência de energia metabolizável (115,88 kcal/kg^{0,75}) e líquida (79,39 kcal/kg^{0,75}) de manutenção, em relação às vacas F₁ (123,14 e 88,12 kcal/kg^{0,75}). Ambos os grupos genéticos requerem menor energia metabolizável de manutenção (EMm) em relação ao sugerido pelas tabelas internacionais. A eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção e lactação foi 0,70, similar entre os grupos. Vacas F₁ direcionaram maior parte da energia líquida para produção de leite, em relação às vacas Gir, que direcionaram maior parte para as funções de manutenção.

Palavras-chave: calorimetria, cruzamento, eficiência, energia líquida, metabolismo

1. INTRODUÇÃO

A eficiência produtiva e econômica dos sistemas de produção de leite no Brasil é altamente dependente de medidas racionais de manejo alimentar dos animais. Por ser o componente de maior custo operacional no processo de produção, a alimentação requer atenção especial. A determinação precisa das exigências nutricionais dos animais aliado ao conhecimento do valor nutricional dos alimentos disponíveis são ferramentas básicas para a formulação de dietas adequadas, visando o aumento das eficiências produtiva, econômica e ambiental. A real importância em se determinarem as exigências nutricionais dos bovinos leiteiros no Brasil, notadamente os animais zebuínos e mestiços, está em se obterem informações mais próximas da necessidade de cada nutriente pelo animal, nas condições brasileiras.

Cerca de 70% da produção de leite no Brasil é proveniente de vacas mestiças Holandês x Zebu, sendo que o cruzamento mais comum é o Holandês x Gir, mais conhecido como "Girolando" (Alvim et al., 2005). Embora fundamentais nos atuais sistemas de produção brasileiros, observa-se uma carência de dados relacionados a fêmeas zebuínas e seus cruzamentos, especialmente no que diz respeito às suas exigências nutricionais.

Não obstante a quantificação das exigências nutricionais, mostra-se fundamental também a avaliação das eficiências de utilização da energia e dos nutrientes para as funções produtivas, quais sejam, manutenção, produção de leite e ganho de peso, ou mesmo a eficiência de utilização da energia disponibilizada a partir da mobilização das reservas corporais, processo este bastante comum no início da lactação.

Objetivou-se, portanto, avaliar a partição energética e determinar as exigências nutricionais de energia para manutenção e lactação de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e animais utilizados

O experimento foi realizado no período entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014, nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal (LAMACA) do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG. Os animais utilizados eram provenientes da Fazenda Experimental de Felixlândia

(EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Foram utilizadas 12 vacas em lactação, vazias, sendo seis do grupo genético F₁ Holandês x Gir e seis do grupo genético Gir.

As vacas F₁ Holandês x Gir apresentavam peso vivo médio inicial de 535,5 ± 68,89 kg e as vacas Gir peso vivo médio inicial de 441,1 ± 61,61 kg. Os animais, por terem participado de estudo anterior avaliando suas exigências nutricionais para gestação, apresentavam uniformidade quanto à condição corporal ao parto.

O período avaliado compreendeu o terço inicial de lactação, do 1º ao 105º dia em lactação (DEL). O terço inicial de lactação foi fracionado em três períodos, denominados período 1 (30 DEL), período 2 (60 DEL) e período 3 (90 DEL). Objetivando-se evitar a coleta de dados no período de transição (Grummer, 1995), as semanas avaliadas correspondentes aos períodos 1, 2 e 3, foram respectivamente a 4ª, 8ª e 12ª semana de lactação.

2.2. Manejo e dieta experimental

Os animais foram manejados em regime de confinamento, em sistema “*tie-stall*”, dispondo de estrados de borracha, bebedouro e cochos individuais. Os tratamentos experimentais corresponderam aos dois grupos genéticos - F₁ Holandês x Gir e Gir.

A dieta (65% volumoso/ 35% concentrado) era composta de silagem de milho e um concentrado à base de milho (55%) e farelo de soja (45%), além do núcleo mineral (150 gramas/dia, fornecido junto ao concentrado), calculada conforme as recomendações do NRC (2001) para atender as exigências de manutenção e produção. A dieta foi fornecida duas vezes ao dia, *ad libitum*, às 7h 30 min e às 16 h 30 min, após a ordenha da manhã e da tarde, respectivamente, em quantidades diariamente ajustadas de forma a manter as sobras em torno de 10% do ofertado.

Tabela 1. Composição média da dieta experimental, expressa em % da matéria seca, oferecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir nos períodos de avaliação correspondentes aos 30 (P1), 60 (P2) e 90 (P3) dias de lactação

Variáveis	Período		
	P1	P2	P3
MS	48,12%	48,85%	47,27%
MO	94,41%	95,02%	94,75%
PB	13,38%	13,13%	13,07%
FDN cp	39,49%	39,24%	38,55%
FDA	22,82%	21,44%	22,61%
EE	3,12%	3,02%	3,00%
NDT ¹	72,39%	71,37%	71,42%
CNF	35,48%	36,70%	37,82%
CHOT	77,52%	78,95%	78,67%
Ca	0,44 %	0,42%	0,49%
P	0,37 %	0,36%	0,38%

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN cp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; NDT: nutrientes digestíveis totais (Sniffen et al., 1992); CNF: carboidratos não fibrosos; CHOT: carboidratos totais; Ca: cálcio; P: fósforo

O NDT foi calculado utilizando-se a equação proposta por Sniffen et al. (1992), $NDT = PBD + 2,25 \times EED + CHOTD$, sendo que PBD, EED e CHOTD correspondem respectivamente à proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais digestíveis.

2.3. Coleta de dados

2.3.1. Ensaio de digestibilidade aparente

Durante o experimento foram realizados três ensaios de digestibilidade aparente, correspondentes a cada período avaliado (P1 30 DEL, P2 60 DEL e P3 90 DEL). Os ensaios de digestibilidade aparente tiveram cinco dias de duração cada, havendo o fornecimento da dieta nos mesmos horários do período de adaptação (7h 30min e 16h 30 min). Durante este período, de cinco dias, realizou-se coleta total de fezes, assim como pesagem e amostragem diária dos alimentos oferecidos e sobras. As amostras coletadas foram identificadas e congeladas em câmara fria a -20°C para análises químicas posteriores.

2.3.2. Coleta de urina

Após a realização dos ensaios de consumo e digestibilidade aparente, foram realizadas as coletas de urina dos animais. Inicialmente tentou-se a coleta total de urina, utilizando-se sonda uretral. Entretanto, em virtude do risco de possíveis contaminações e infecções e da dificuldade em manejar a sonda durante os procedimentos diários de ordenha, adotou-se a coleta *spot* de urina. Esta foi realizada em todos os animais, iniciando-se aproximadamente quatro horas após a alimentação do período da manhã, sendo a amostra obtida por micção espontânea ou estimulação da área vulvar (Rosenberger, 1993).

Alíquotas de 50 mL de urina (amostra *spot*) foram obtidas de todas as vacas em cada período. A urina foi filtrada e uma alíquota de 10 mL foi imediatamente congelada para análise do teor de energia bruta da urina, que foi determinado em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995).

A estimativa do volume urinário produzido em 24 horas foi feita de acordo com a excreção de creatinina na urina, conforme descrito por Orskov & Macleod (1982). O volume urinário foi calculado multiplicando-se o respectivo peso corporal pela excreção diária média de creatinina (mg/kg PC) e dividindo-se esse produto pela concentração de creatinina (mg/L) na amostra de urina *spot*. Para obtenção do valor da excreção diária de creatinina, adotou-se a média de 24,05 mg/kg PC, obtida por Chizzotti et al. (2007), em trabalho nacional utilizando vacas em lactação.

2.3.3. Fracionamento energético, determinação das exigências de energia líquida para manutenção e lactação, e eficiência de utilização da energia

Após o ensaio de digestibilidade aparente e coleta de urina, iniciaram-se os procedimentos para determinação da produção de calor (PC) dos animais na câmara respirométrica. Os procedimentos e as especificações do sistema utilizado foram descritos por Rodriguez et al. (2007).

Nesse sistema o animal é alojado em uma câmara com sistema de vedação que não permite qualquer troca gasosa entre o ar no interior desta e o ar externo, a não ser pelo próprio sistema de circulação de ar. Durante cada período de mensuração um equipamento automatizado canaliza uma alíquota de ar para os analisadores de O₂, CO₂ e metano. Estas concentrações, multiplicadas pelo volume de ar que passou pela câmara

durante o tempo de mensuração, permite calcular quanto de O₂ foi consumido e quanto de CO₂ e metano foram produzidos.

A energia bruta (EB) foi determinada através de combustão completa da amostra da dieta oferecida e das sobras em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995). Da mesma forma, foi realizada a combustão das amostras de fezes para determinação da EB fecal. A energia digestível (ED) disponível para o animal foi determinada pela diferença entre os valores de energia bruta consumida e a quantidade de energia perdida nas fezes ($ED = EB - E_{\text{fecal}}$).

Para o cálculo da energia metabolizável (EM), foram consideradas as perdas de energia associadas à urina e ao gás metano (CH₄). A perda de energia urinária foi possível pela combustão das amostras de urina utilizando-se o calorímetro adiabático, sendo este valor aplicado à produção de urina diária. A quantificação da energia perdida na forma de metano foi obtida pela mensuração em câmara respirométrica, por período de 22 horas. Considerou-se que cada litro de metano, segundo Brouwer (1965), possui equivalente calórico de 9,45 kcal. A EM foi calculada como $EM = ED - E_{\text{urina}} - E_{\text{metano}}$. A metabolizabilidade (q) da dieta foi calculada por meio da relação entre a energia metabolizável (EM) e a energia bruta (EB) ingerida (AFRC, 1993).

Para a obtenção da energia líquida (EL) da dieta, procedeu-se a mensuração da energia perdida pelo animal como calor, em câmara respirométrica. A produção de calor (PC) foi obtida utilizando-se a equação proposta por Brouwer (1965), que considera o volume de gases consumidos e produzidos pelo animal, além do nitrogênio excretado pela urina (NU). Determinam-se os volumes (em litros) de oxigênio (O₂) consumido e dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) produzidos. A partir destes valores, a produção de calor foi determinada utilizando a seguinte equação (Brouwer, 1965): $PC = (3,866 \times O_2) + (1,200 \times CO_2) - (0,518 \times CH_4) - (1,431 \times Nu)$.

A ELM foi determinada a partir da regressão entre o consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em kcal/PM e a energia excretada no leite, ajustada para um balanço energético igual a zero (AFRC, 1990). Neste modelo, o intercepto representa o valor determinado para a exigência de energia líquida de manutenção (ELM), sendo a inclinação da reta o valor da eficiência de uso da energia metabolizável (EM) para

lactação, Kl. Conforme proposto pelo NRC (2001), consideraram-se iguais os valores de eficiência de uso da EM para lactação (Kl) e eficiência de uso da EM para manutenção (Km). A energia metabolizável para manutenção (EMm) e a energia metabolizável para lactação (EMl) foram determinadas dividindo-se os valores de energia líquida de manutenção (ELm) e lactação (ELl) pelas suas respectivas eficiências (K).

Para determinação da energia líquida total do leite (Mcal/dia) utilizou-se a produção diária, em kg de leite, multiplicada pelo valor de energia líquida para cada kg de leite produzido (Mcal/kg de leite). A energia líquida do leite foi calculada pela equação utilizada pelo NRC (2001), que considera os componentes do leite: $EL \text{ (Mcal/kg)} = 0,0929 * \% \text{ Gordura} + 0,0547 * \% \text{ Proteína Bruta} + 0,0395 * \% \text{ Lactose}$

Para determinação da energia líquida para lactação (ELl), as vacas foram ordenhadas duas vezes ao dia (6h 30min e 16h), sendo manejadas utilizando-se tronco de contenção, com o bezerro ao pé. Para descrição da curva de produção de leite e determinação da produção diária das vacas, assim como a composição do leite, foi realizada a ordenha total dos animais três vezes por semana, com a presença do bezerro ao pé, sem a amamentação. Nos dias de coleta total foi feita a administração de 0,5 ml de ocitocina exógena (Ocitocina Sintética®, 10 UI/ml), aplicada imediatamente antes do procedimento de ordenha, por via intravenosa.

Para avaliação da composição do leite, uma vez por semana foi coletada uma amostra individual, sendo representativa das duas ordenhas (manhã e tarde). Os seguintes itens foram avaliados: proteína (%), gordura (%), lactose (%), extrato seco total (%) e ureia. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise da Qualidade do Leite (LabUFMG) da Escola de Veterinária da UFMG.

A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LCG4%) foi calculada pela equação: $(0,4 * \text{kg de leite produzido}) + (15 * \text{kg de gordura produzida})$, de acordo com o NRC (2001).

O balanço de energia (BE) foi calculado como a diferença entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e a produção de calor alimentado (PCA) somada à excreção de energia líquida no leite (ELI): $BE = CEM - (PCA - EL_{\text{lactação}})$.

A energia líquida total (ELT) foi calculada como a soma entre a energia líquida para manutenção (ELM) e a energia retida em produtos (ERP), que considera a energia líquida para lactação (ELI) mais o balanço de energia (BE). Valores positivos de BE significaram ganhos de energia na forma de tecidos/ reservas corporais, ou ganho de peso. Valores negativos de BE significaram perdas de energia na forma de tecidos/ reservas corporais, ou seja, mobilização corporal. O incremento calórico (IC) foi calculado como a diferença entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e a energia líquida total (ELT). A energia retida em produtos (ERP) foi calculada como a soma entre o balanço de energia e a energia líquida do leite, expressos em Mcal/dia.

A avaliação do escore de condição corporal (ECC) foi feita semanalmente, classificando-se os animais de 1 a 5, com subunidades de 0,25 (Edmonson et al., 1989). Os animais foram pesados duas vezes por semana, em dias consecutivos, sempre após a ordenha da manhã e antes do arração.

Utilizou-se o modelo proposto pelo NRC (2001) para estimar as variações de peso vivo em função do balanço energético observado, comparando os valores estimados pelo modelo com os valores reais obtidos.

2.4. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas, sendo dois fatores avaliados, grupo genético (fator da parcela) e semanas de lactação (fator da subparcela), assim como a interação entre os mesmos. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS. Verificada significância pelo teste F, para interação significativa ou não, as médias dos grupos genéticos foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Partição Energética

Vacas F₁ Holandês x Gir tiveram maior consumo de matéria seca (CMS) em todos os períodos avaliados, em relação às vacas Gir, o que refletiu em maior consumo de energia bruta (CEB) e energia digestível (CED). Quando expresso em quilocalorias por peso metabólico (kcal/ kg^{0,75}), vacas F₁ tiveram CEB 18,5, 25,7 e 27,8% superior às vacas Gir nos períodos 1, 2 e 3, respectivamente. Os valores médios de CEB (717,74 kcal/PM) e CED (514,66 kcal/PM), obtidos nos períodos 2 e 3 para os animais F₁, encontram-se próximos aos valores obtidos em trabalhos avaliando vacas da raça Holandês de alta produção leiteira (Yan et al., 1997a; Xue et al., 2011), o que demonstra o alto potencial de consumo destes animais, provavelmente potencializado pela expressão da heterose individual (Mackinnon et al., 1996).

Tabela 2: Peso vivo (kg), escore de condição corporal (ECC), consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia e % do peso vivo, consumo de energia bruta (CEB), expresso em Mcal/dia, kcal/PM e Mcal/kg MS, energia perdida nas fezes (E. Fecal), expressa em Mcal/dia e % da EB ingerida e consumo de energia digestível (CED), expresso em Mcal/dia, kcal/PM e Mcal/kg MS

Variáveis	Grupo Genético					
	P1	F1 P2	P3	P1	GIR P2	P3
Peso Vivo (kg)	522,33	525,66	530,50	441,33 b	450,66 b	467,83 a
ECC	3,17 B	3,08 B	3,38 B	3,58 Ab	3,71 Ab	4,06 Aa
CMS total (kg/dia)	16,00 Ab	17,39 Aa	17,46 Aa	11,23 B	11,29 B	11,15 B
CMS (% PV)	3,10 Ab	3,34 Aa	3,32 Aa	2,54 B	2,52 B	2,40 B
Energia Bruta (EB)						
CEB (Mcal/dia)	70,24 Ab	78,74 Aa	78,37 Aa	50,53 B	52,25 B	51,50 B
CEB (Kcal/ kg ^{0,75})	644,97 Ab	721,73 Aa	713,74 Aa	526,93 B	536,22 B	515,24 B
EB (Mcal/kg MS)	4,39 Bb	4,53 Aa	4,49 Bab	4,50 Ab	4,63 Aa	4,62 Aa
Energia Digestível (ED)						
E. Fecal (Mcal/dia)	19,94 A	22,69 A	22,07 A	14,66 B	14,18 B	14,35 B
E. Fecal (% da EB)	28,30%	28,68%	28,23%	28,90%	27,11%	27,80%
CED (Mcal/dia)	50,30 Ab	56,05 Aa	56,29 Aa	35,85 B	38,07 B	37,14 B
CED (kcal/ kg ^{0,75})	462,69 Ab	515,9 Aa	513,41 Aa	373,8 B	390,95 B	372,33 B
ED (Mcal/kg MS)	3,14	3,22	3,22	3,19 b	3,37 a	3,33 ab

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Entre os períodos avaliados, vacas F₁ tiveram maior CEB e CED nos períodos 2 e 3, em relação ao período 1, reflexo do maior CMS. Vacas F₁ tiveram maior perda de energia nas fezes (média de 21,57 Mcal/dia), do que às vacas Gir (14,40 Mcal/dia). Entretanto, quando expressa em % da EB ingerida, a perda de energia fecal foi igual para os dois grupos genéticos, com média de 28,17%. Estes valores refletem os resultados médios encontrados para digestibilidade da matéria seca (DMS) em ambos os grupos genéticos, de 69,89%. A DMS foi semelhante entre os grupos genéticos e períodos avaliados, assim como não houve interação entre ambos.

O percentual de energia perdida pelas fezes é muito variável, principalmente em função da qualidade da dieta (CSIRO, 2007). Xue et al. (2011), avaliando efeito de grupo genético e nível de concentrado na eficiência de uso da energia, obtiveram perdas de 22,3% da energia nas fezes, em vacas holandesas e F₁ Jersey x Holandês. Yan et al. (1997a) avaliaram 221 vacas holandesas em lactação, com produção de leite média de 23,7 kg/dia e recebendo dieta à base de silagem de milho (60%) e concentrado (40%). Esses autores encontraram CMS, CEB e CED médios de 17,00 kg/dia e 75,50 e 57,40 Mcal/dia, respectivamente, próximos aos valores encontrados para vacas F₁ no presente trabalho. Esses autores obtiveram perda fecal de 23,98%, inferior ao presente estudo. Nos animais que tiveram maior CEB, valor médio de 110 Mcal/dia, a perda de energia nas fezes correspondeu a 28,93% da EB, demonstrando a influência do nível de consumo sobre a perda de energia fecal e na proporção de energia digestível.

No estudo clássico de Flatt et al. (1967), os autores avaliaram o balanço completo de energia em vacas em lactação recebendo dietas com diferentes proporções de volumoso: concentrado. Para o tratamento com 60% de volumoso, os autores obtiveram CEB e CED de 60,68 e 42,20 Mcal/dia, respectivamente, sendo que a perda de energia nas fezes foi de 30,45%, próximo ao do presente estudo.

Diferenças na EB não eram esperadas, uma vez que o teor de EB da dieta refere-se ao calor de combustão da mesma, sendo dependente apenas de sua composição química. Maiores valores de EB da dieta foram observados para animais Gir nos períodos 1 e 3, em relação às vacas mestiças. Não foram observadas diferenças quanto ao valor de ED da dieta, entre os genótipos avaliados. Para as vacas Gir, maior ED foi observada no período 2 em relação ao período 1, sendo os valores do período 3 intermediários. Embora não tenham sido observadas diferenças quanto à perda de

energia fecal entre os períodos, observa-se uma superioridade numérica de 3,4% no P1, em relação ao P2, o que foi suficiente para provocar diferenças na ED, quando expressa em Mcal/kg MS.

Tabela 3: Produção de metano, expressa em litros/dia, litros/kg MS, litros/kg MOD, Mcal/dia e % da EB, energia perdida pela urina, expressa em Mcal/dia e % da EB, consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em Mcal/dia e Mcal/kg MS, e energia metabolizável (EM) da dieta, expressa em Mcal/kg MS

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Produção de Metano						
CH4 (litros/dia)	462,46 Ab	547,06 Aa	573,34 Aa	340,91 B	343,6 B	328,56 B
CH4 (litros/kg MS)	28,98	31,56	32,87	30,12	30,28	29,23
CH4 (litros/kg MOD)	39,74	43,95	45,76	44,21	42,04	40,58
CH4 (Mcal/dia)	4,37 Ab	5,17 Aa	5,41 Aa	3,22 B	3,24 B	3,10 B
CH4 (% EB)	6,23%	6,58%	6,93%	6,32%	6,18%	5,98%
Energia Urina (Mcal/dia)	3,97	4,20	4,29	3,29 b	4,14 a	3,66 ab
Energia Urina (% EB)	5,75 A	5,38 B	5,55 B	6,58 A	7,96 A	7,13 A
CEM (Mcal/dia)	41,95 Ab	46,67 Aa	46,58 Aa	29,33 B	30,68 B	30,38 B
EM (Mcal/ kg MS)	2,62	2,68	2,67	2,61	2,72	2,72

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Não foram observadas diferenças entre os grupos genéticos para a perda de energia na urina. Entretanto, quando expressa em % do CEB, maior perda foi obtida nas vacas Gir (7,22%) em relação às vacas mestiças (5,56%). Os valores obtidos estão um pouco acima do proposto por Van Soest (1994), segundo o qual as perdas de energia pela urina são relativamente constantes e podem variar de 3 a 5% da EB ingerida.

O maior CMS refletiu-se na maior produção de metano (litros/dia) por vacas mestiças, em relação às Gir, em todos os períodos avaliados. Entre os períodos, vacas F₁ tiveram maior produção nos últimos dois períodos (média de 560,2 litros/dia), também em virtude do maior consumo. Alguns trabalhos relataram que a variação no CMS é responsável por 52 a 64% da variação na produção de CH₄ diária, em animais alimentados *ad libitum* (Pinares-Patiño et al., 2007; Hammond et al., 2009). Isso ocorre principalmente devido à maior quantidade de matéria orgânica disponível para

fermentação. Quando expressa em % do CEB, entretanto, não foram observadas diferenças entre grupos, sendo o valor médio de 6,37%. Segundo Van Soest (1994), as perdas pela produção de metano encontram-se entre 5 e 12% da EB consumida (CEB). Johnson et al. (1994) observaram produção de 548,2 litros CH_4 /dia (5,7% da EB) para vacas em lactação. Yan et al. (1997a) obtiveram perda média de 5,01 Mcal/dia, equivalente a 6,63% do CEB, ao passo que Flatt et al. (1967) encontraram perda de 3,30 Mcal/dia (5,4 % EB).

Para as vacas F_1 foram obtidas diferenças em relação aos períodos, sendo o valor obtido no P1 (4,37 Mcal/dia) inferior à média obtida nos demais períodos (5,29 Mcal/dia). Não foram observadas diferenças entre os períodos para as vacas Gir, sendo o valor médio de 3,19 Mcal/dia. Considerando-se a energia líquida necessária para produção de 1 kg de leite corrigido para 4% de gordura obtida para as vacas de ambos os grupos (0,7786 Mcal/kg leite), a perda de energia na forma de metano seria suficiente para a produção de 6,20 e 4,10 litros de leite por dia, respectivamente para vacas F_1 e Gir, demonstrando a relevância da perda de energia que ocorre na forma deste gás.

Segundo Kurihara et al. (1999), a relação entre emissão de CH_4 (g/d) e consumo de matéria seca é positiva, mas caracterizada por alta variabilidade entre os animais. De acordo com Blaxter e Clapperton (1965), quando o alimento é fornecido em baixos níveis de consumo, a emissão de CH_4 (ECH_4/CEB) aumenta à medida que aumenta a digestibilidade. Entretanto, quando o consumo é elevado (acima de 2x a manutenção), as emissões de CH_4 diminuem proporcionalmente com o aumento da digestibilidade da dieta. Ou seja, embora aumente de forma absoluta, quando expresso em proporção do CMS ou CEB, geralmente observa-se decréscimo dessa relação, o que pode estar relacionado com a diminuição da digestibilidade da MS observada em maiores níveis de consumo (Moe e Tyrrell, 1979). Embora as vacas mestiças tenham apresentado maiores níveis de consumo, em relação às vacas Gir, não foram observadas diferenças quanto à digestibilidade dos nutrientes, assim como na perda de energia na forma de metano, em relação à energia bruta ingerida.

Um aspecto importante relacionado ao nível de consumo é a taxa de passagem do alimento. Uma diminuição no tempo de retenção da digesta no rúmen poderia reduzir a produção de CH_4 . Tedeschi et al. (2003) mencionaram que aumentando a taxa de passagem ruminal em 50% a produção de CH_4 sofreu redução de 30%. Quando expressa

em proporção da energia digestível, a diminuição das perdas de CH₄ foram de 1,6 % para cada unidade de aumento no consumo de ração acima da exigência de manutenção. No presente trabalho, embora as vacas mestiças tenham apresentado maior consumo acima das exigências de manutenção, em relação às Gir, não foram observadas diferenças nas perdas proporcionais de metano em relação ao CED, sendo o valor médio de 8,90%. Quando expresso em função dos nutrientes consumidos (MS e MOD), não foram observadas diferenças entre os genótipos e entre os períodos avaliados, sendo os valores médios de 30,51 litros CH₄/kg MS e 42,71 litros CH₄/kg MOD.

A figura 1 ilustra a relação entre o consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) e a produção de metano, obtida para as vacas de ambos os grupos genéticos no período avaliado.

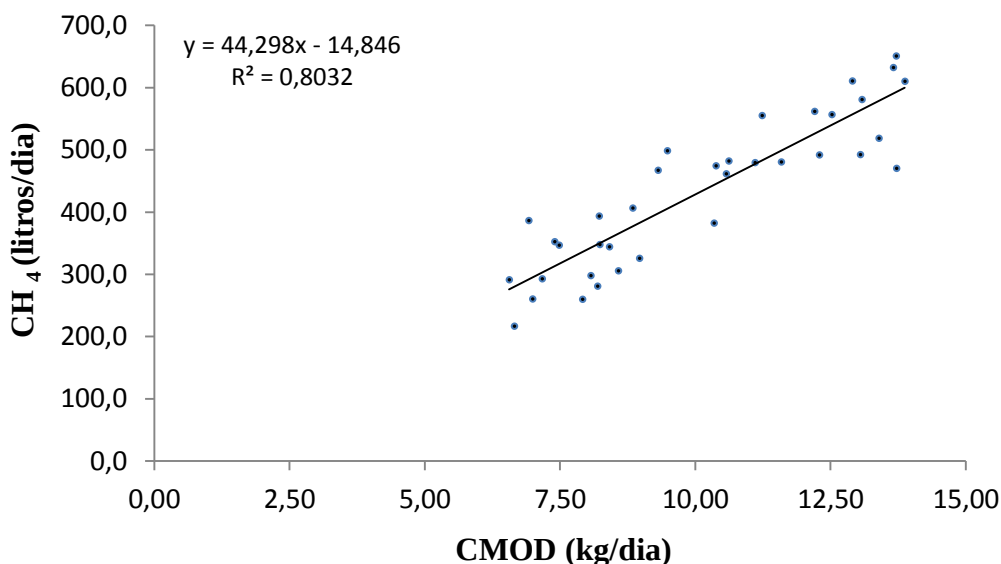


Figura 1. Relação entre o consumo de matéria orgânica digestível (CMOD, kg/dia) e a produção de gás metano (litros/dia) por vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.

Segundo Kaharabata et al. (2000), uma vaca leiteira pesando aproximadamente 600 kg pode apresentar produção total variando de 268 a 450 g de CH₄, sendo a energia perdida na forma de metano suficiente para produzir entre 4,55 e 7,65 kg de leite com 4% de gordura, respectivamente. Utilizando os valores médios de emissão de metano das vacas F₁ (527,62 litros/dia) e Gir (337,69 litros/dia), a produção total seria de 376,8 g e 241,2 g de CH₄/dia, respectivamente para as vacas mestiças e Gir, próximo ao sugerido por estes autores.

Inexistem trabalhos nacionais avaliando a emissão de metano por vacas em lactação utilizando a técnica respirométrica. Embora diferente quanto à técnica de mensuração, pois estimou a emissão de metano pelo método SF-6, Primavesi et al. (2004) realizaram estudo avaliando vacas mestiças e holandesas lactantes em pastejo e encontraram produção de metano média diária de 331 e 403 gramas, respectivamente. Quando expresso em % do CEB, os valores foram de 10,6 e 8,3%, sendo superior para os animais mestiços em função do menor CMS.

Além da mensuração da produção de metano a fim de se descrever a partição energética e determinar o valor de energia metabolizável (EM) da dieta, também é importante a sua quantificação em função da sua contribuição para os gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2006). Sabe-se que o CMS é determinante da quantidade de metano produzida, assim como existe uma alta correlação entre produção animal x ingestão de alimentos. Dessa forma, objetivando-se a mitigação da emissão deste gás, a simples redução do consumo não seria uma estratégia viável do ponto de vista produtivo. Mais interessante, portanto, em relação à emissão absoluta de metano (litros/dia ou g/dia), é a avaliação da emissão do gás em função dos produtos gerados como g CH₄/kg leite e g CH₄/kg sólidos totais.

Salienta-se a importância da obtenção destes resultados, utilizando-se a técnica respirométrica, em vacas em lactação consumindo dietas à base de silagem de milho. A determinação destes valores em função dos nutrientes consumidos, assim como em função dos produtos gerados, permitirá o desenvolvimento de estratégias mitigatórias da emissão deste gás mais próximas e adequadas aos sistemas de produção nacionais, em vista da particularidade das dietas que são utilizadas nos mesmos, assim como os grupos genéticos predominantes.

Vacas F₁ tiveram maior PLC4%G e produção de sólidos totais em todos os períodos, em relação às vacas Gir, assim como produção de metano, expressa em litros e g/dia. Entretanto, ao se avaliar a relação metano produzido x produto gerado, observa-se superioridade para as vacas Gir, em todos os períodos. Ou seja, vacas deste grupo emitiram mais metano por produtos gerados. Entretanto, é importante destacar que este cálculo pode penalizar as vacas Gir, uma vez que somente a produção de leite e sólidos totais foi considerada, desconsiderando-se outros produtos, como o ganho de peso.

Tabela 4: Produção de metano, expressa em litros/dia e kg/dia, produção de leite corrigida para 4% de gordura (PLC4%G), produção de sólidos totais (ST), expressa em kg/dia, relação kg CH₄ x kg sólidos totais, gramas de CH₄ x kg de leite e relação litros CH₄ x litros LC4%G (LCH₄/ LC4%G)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
CH ₄ (litros/dia)	462,46 Ab	547,06 Aa	573,34 Aa	340,91 B	343,60 B	328,56 B
CH ₄ (kg/dia)	0,330 Ab	0,391 Aa	0,410 Aa	0,244 B	0,245 B	0,235 B
PLC4% Gordura	18,60 Ab	20,15 Aa	18,83 Aab	8,54 B	7,71 B	7,37 B
ST (kg/dia)	2,34 Ab	2,55 Aa	2,41 Aab	1,12 Ba	0,98 Bab	0,93 Bb
kg CH ₄ / kg ST	0,141 B	0,153 B	0,170 B	0,217 A	0,250 A	0,252 A
g CH ₄ / Kg leite	17,76 B	19,39 B	21,75 B	28,51 A	31,83 A	31,84 A
LCH ₄ / LLC4% G	24,88 B	27,51 B	30,55 B	40,58 A	45,91 A	45,99 A

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Avaliando-se a relação metano x sólidos totais produzidos, vacas Gir tiveram valor médio de 0,240 g CH₄ por cada 100 gramas de sólidos totais do leite, valor 54,84% superior ao obtido por vacas mestiças (0,155 g CH₄/100 g ST). Avaliando-se a relação litros metano x LC4%G, vacas Gir (44,16 litros CH₄/litro leite) apresentaram superioridade de 59,77% em relação às vacas mestiças (27,64 litros CH₄/litro leite). A exigência de energia líquida para produção de 1 kg de leite foi de 0,7786 Mcal, igual para ambos os grupos genéticos. Considerando-se o valor energético de 9,65 kcal por litro de metano (Brouwer, 1965), observa-se que o equivalente a 53,6% da energia necessária para produção de 1 kg leite foi perdido na forma de metano por vacas Gir, ao passo que esta perda representou 33,53% para vacas mestiças. Estes resultados demonstram a importância e o impacto do nível produtivo na relação GEE/produto gerado.

Quando expresso em g CH₄/kg leite, mesma tendência foi observada, sendo o valor obtido para vacas Gir (30,72 g CH₄/kg leite) superior às vacas F₁ (19,63 g CH₄/kg leite). No trabalho de O'Hara et al. (2003), os autores calcularam as emissões de metano relativas a produtos, com dietas que tinham diferentes digestibilidades. Para vacas com produção de 20 kg/leite/dia e CMS de 17,5 kg/dia, a produção foi de 296 gramas CH₄/dia, sendo a relação de 14,8 g CH₄/kg leite produzido. Esses valores são inferiores

aos encontrados para as vacas F_1 no presente estudo. Segundo O'Hara et al. (2003), quanto maior a ingestão acima da manutenção, ou quanto maior o nível de produção, menor será o CH_4 emitido por unidade de produto e assim, maior eficiência será observada em relação a este GEE.

Os resultados obtidos no presente trabalho são respaldados pelo trabalho de Yan et al. (2010), que avaliaram dados obtidos de 20 estudos de metabolismo energético, envolvendo 579 vacas em lactação, de diferentes genótipos, com variação no mérito genético, ordem e fase da lactação e peso vivo. Estes autores estudaram as taxas de emissão de metano em relação a variáveis de eficiência energética e produtividade animal. Segundo esses autores, a seleção de vacas leiteiras com elevados níveis de produção e maior eficiência de utilização da energia representa a estratégia mais eficiente de mitigação da emissão de metano. Diversos outros estudos corroboram com estes resultados (Beauchemin et al., 2008; Capper et al., 2009; Pinares-Patiño et al., 2009).

Assim como o gás metano, o gás carbônico (CO_2) também é denominado como um GEE, sendo sua produção significativa na fermentação ruminal. Utilizando-se os dados de produção diária de CO_2 obtidos pela técnica respirométrica, assim como o CH_4 , cálculos da emissão em carbono equivalente (C.eq) foram realizados. O IPCC (2006) sugere a avaliação dos GEE em função deste parâmetro, uma vez que as diferenças quanto aos potenciais calóricos destes gases são consideradas. Procedendo-se a conversão de ambos os gases para kg de carbono equivalente, obtiveram-se os valores de 5,17 e 3,55 kg C.eq/dia, respectivamente, para vacas F_1 e Gir. Entretanto, quando expresso em kg C.eq/kg leite, a emissão por vacas Gir (0,4522) foi 68% superior em relação às vacas F_1 (0,2695).

A energia líquida para manutenção (ELm) e a eficiência de utilização da EM para lactação (Kl) foram determinadas por regressão entre o consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em $kcal/kg^{0,75}$, e a energia secretada no leite, ajustada para o balanço energético igual a zero, conforme proposto pelo AFRC (1990). Este modelo foi também sugerido por outros autores, por corrigir a energia secretada no leite em função do balanço energético e das variações ocorridas no tecido corporal (Yan et al., 1997a; Kirkland e Gordon, 1999; Agnew e Yan, 2000). Nas figuras 2 e 3 abaixo estão os gráficos obtidos para os dois grupos genéticos. O intercepto representa o valor

determinado para a exigência de energia líquida de manutenção (ELm), sendo a inclinação da reta o valor da eficiência de uso da energia metabolizável (EM) para lactação, Kl.

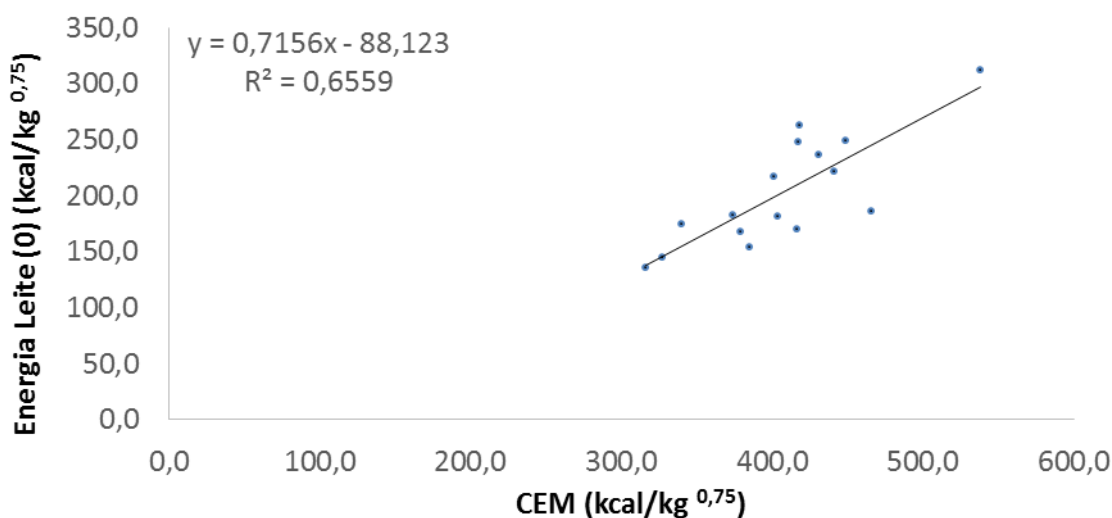


Figura 2. Relação entre o CEM (kcal/ kg^{0,75}) e a energia secretada no leite, ajustada para o balanço energético igual a zero (kcal/ kg^{0,75}) de vacas F₁ Holandês x Gir, no terço inicial de lactação

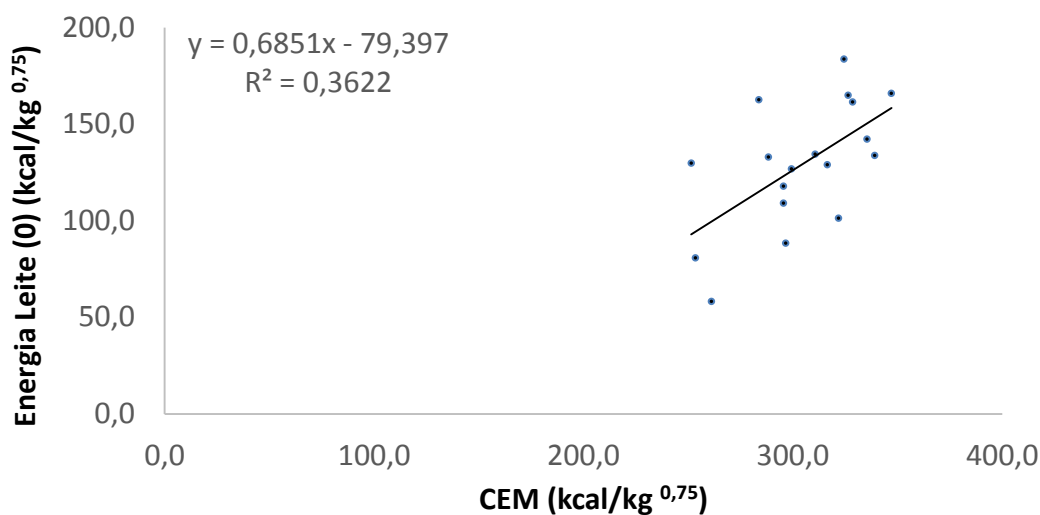


Figura 3. Relação entre o CEM (kcal/ kg^{0,75}) e a energia secretada no leite, ajustada para o balanço energético igual a zero (kcal/ kg^{0,75}), de vacas Gir no terço inicial de lactação

Vacas F₁ apresentaram maior exigência de energia líquida para manutenção (ELm 88,12 kcal/ kg^{0,75}) em relação às vacas Gir (ELm 79,39 kcal/ kg^{0,75}). O valor obtido

para as vacas F₁ foi 10% superior ao sugerido pelo NRC (2001), de 80 kcal/ kg^{0,75}. O ARC (1980) sugeriu o valor de 71,65 kcal/ kg^{0,75}.

Moe et al. (1972) avaliaram 543 ensaios de balanço energético com vacas em lactação em manutenção e lactantes, com o objetivo de determinarem a eficiência com que a energia da dieta era utilizada para a lactação. A quantidade de energia necessária para a manutenção de uma vaca lactante não gestante, em equilíbrio energético e em condições de atividade física limitada, foi de 73 kcal ELM/kg kg^{0,75}. Van Es (1975) determinou o valor de 70 kcal/ kg^{0,75}, sendo ambos os valores determinados utilizando-se técnicas de regressão.

As exigências de energia para manutenção podem variar cerca de 20 a 30% em função de diferenças genéticas, sejam elas entre indivíduos da mesma raça ou entre animais de raças ou genótipos diferentes, sendo uma característica de moderada a alta herdabilidade (Carstens et al., 1988). Dentre outros fatores, o peso vivo e a composição do mesmo influenciam fortemente as exigências de ELM.

Em revisão avaliando o impacto dos diferentes sistemas de energia para vacas em lactação, Agnew e Yan (2000) reportaram que a ELM seria mais influenciada pela massa de proteína corporal, ao invés do peso vivo do animal, conforme sugerido por Ferrel e Jenkins (1985). Birnie (1999) relatou uma significativa e negativa relação entre a produção de calor em jejum e o ECC em vacas leiteiras, indicando uma menor taxa metabólica por kg de peso vivo em vacas mais gordas, em relação às magras. Segundo Oldham e Emmans (1990), a maior parte do custo energético associado à manutenção resulta do processo contínuo de síntese, degradação e substituição dos tecidos (turnover).

Animais de ambos os grupos genéticos não apresentaram diferenças quanto ao peso vivo, entre os períodos avaliados. Entretanto, diferenças no ECC foram observadas, sendo que vacas Gir tiveram maior condição corporal em todos os períodos, em relação às mestiças. Além do ECC, o maior consumo observado nos animais mestiços também pode influenciar suas exigências de manutenção, uma vez que determina maior taxa de atividade metabólica de importantes órgãos e tecidos, tais como o trato gastrointestinal e fígado (Seal e Reynolds, 1993). Estes fatores em conjunto, possivelmente, foram responsáveis pelos maiores valores de ELM encontrados para as vacas F₁ Holandês x Gir.

Não foram observadas diferenças no Kl entre os grupos genéticos, sendo o valor médio de 0,70. Segundo o NRC (2001), a eficiência de conversão da energia metabolizável em energia líquida para manutenção (Km) é igual ao Kl, sendo sugerido o valor de 0,65 para ambos. Considerando-se, portanto, iguais os valores de Kl e Km obtidos para ambos os grupos, a energia metabolizável para manutenção (EMm) foi determinada. Vacas F₁ apresentaram maior (123,14 kcal/ kg^{0,75}) EMm, em relação às vacas Gir (115,88 kcal/ kg^{0,75}). Segundo Ferrel e Jenkins (1985), o potencial genético para produção de leite é positivamente correlacionado às exigências de EMm. Diversos valores são reportados na literatura para EMm e Kl, sendo os valores citados na tabela 5 sempre superiores aos obtidos para as vacas F₁ e Gir do presente estudo. Estes resultados indicam uma maior partição da energia para leite nos animais estudados, uma vez que os mesmos apresentaram necessidades de manutenção inferiores aos taurinos estudados na literatura internacional.

Munger (1991), avaliando três grupos genéticos diferentes, encontrou valores de EMm de 112,2, 126,6 e 133,7 kcal/ kg^{0,75}, para vacas Simental, Holstein e Jersey, respectivamente. Freetly et al. (2006) obtiveram valor de 146 kcal/ kg^{0,75}, avaliando vacas de corte em lactação de diferentes genótipos, com nível de produção entre 4,7 e 13,3 kg/dia. No estudo de Agnew e Yan (2000), avaliando dados obtidos em sete revisões, o valor médio encontrado para EMm foi 136,14 kcal/ kg^{0,75} e Kl de 0,64.

Tabela 5: Comparação entre a energia metabolizável de manutenção (EMm) e a eficiência de conversão da energia metabolizável em energia líquida do leite (Kl), obtida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação, com valores propostos por diferentes tabelas internacionais

Fonte	EMm (kcal/ kg ^{0,75})	Kl
Vacas F1 Holandês x Gir	123,14	0,715
Vacas Gir	115,88	0,685
AFRC (1990)	145,93	0,663
AFRC (1993)	140,44	0,640
INRA (1989)	148,56	0,674

A superioridade nos valores de Kl obtidos para ambos os genótipos, em relação aos valores propostos pelos modelos acima, pode estar relacionada aos menores custos

de manutenção (EMm) encontrados nos animais de ambos os grupos genéticos avaliados no presente estudo. Essa hipótese foi inicialmente proposta por Moe (1981), que avaliou estudos publicados nas duas décadas anteriores. Segundo este autor, valores de Kl mais elevados (0,69 a 0,70) eram devidos principalmente aos menores custos de manutenção dos animais que eram estudados. Esse autor ainda projetou àquela época que com o avanço do melhoramento genético e obtenção de vacas de maior potencial produtivo, maiores exigências de manutenção seriam obtidas, resultando em diminuição nos valores de Kl para estes animais.

Por outro lado, Agnew e Yan (2000) sugeriram que não existem evidências de que o mérito genético da vaca influencie o Kl, porém afirmaram que vacas de alto mérito genético têm a habilidade de direcionar mais energia para o leite que vacas com baixo ou médio mérito genético. Em trabalhos avaliando vacas de alto, médio e baixo mérito genético para produção de leite também não foram encontradas diferenças no Kl (Gordon et al., 1995; Ferris et al., 1999). Yan et al. (1997a) reportaram valores entre 0,60 e 0,67 para vacas em lactação de diferentes níveis produtivos. Da mesma forma, Yan et al. (2006), trabalhando com vacas de diferentes genótipos, também não encontraram diferenças quanto ao Kl ao longo da lactação, embora os genótipos avaliados tenham apresentado diferenças quanto à ingestão de energia e partição da mesma entre produção de leite e ganho de peso. Flatt et al. (1967) avaliaram diversas estratégias nutricionais em vacas holandesas de alta produção, não encontrando nenhuma influência entre as dietas na eficiência de uso da EM para produção de leite. Estes autores também concluíram que os valores de Kl não seriam afetados pela produção de leite, assim como pelo estágio da lactação.

O AFRC (1990) propôs equações para estimativa dos valores de Kl e Km a partir dos valores de metabolizabilidade (EM/EB) da dieta. Utilizando-se estas equações, os valores estimados foram de 0,62 e 0,71 para Kl e Km, respectivamente, sendo este último bem próximo ao valor adotado neste estudo.

Deduzindo-se do CEB as perdas de energia nas fezes, urina e gases, determinou-se o consumo de energia metabolizável (CEM) pelos animais. Vacas F₁ tiveram maior CEM nos períodos 2 e 3 (46,62 Mcal/dia, 426,98 kcal/ kg^{0,75}), em relação ao período 1. Em todos os períodos avaliados, estas tiveram maior CEM em relação às vacas Gir (30,13 Mcal/dia, 308,61 kcal/ kg^{0,75}) (tabela 6).

Utilizando-se o modelo do NRC (1989) e considerando como peso vivo médio e produção de leite corrigida para gordura os valores de 550 kg PV e 20 kg/leite/dia (F_1) e 450 kg PV e 8,5 kg/leite/dia (Gir), a exigência de EM estimada por este modelo seria de 40,05 e 23,66 Mcal/dia, respectivamente para as vacas mestiças e Gir. Em relação aos valores estimados por este modelo, vacas mestiças tiveram CEM 4,75% superior no período 1 e 16,40% superior nos períodos 2 e 3. Para vacas Gir, a superioridade do CEM observado em relação ao estimado foi de 27,35%, não apresentando diferenças entre os períodos avaliados.

Não foram observadas diferenças entre grupos genéticos e períodos na metabolizabilidade da dieta, sendo o valor médio de q igual a 0,59. Reid et al. (1980) citaram que a metabolizabilidade da dieta tem seu valor estabelecido principalmente em função da qualidade da dieta, mas também em função do balanço energético ao qual o animal está submetido. Segundo o AFRC (1993), o q pode ser variável de acordo com a densidade energética da dieta. Para dietas com EM equivalente a 2,4 Mcal/kg, adota-se um q de 0,53. Aumentando-se a densidade energética da dieta, ocorre um aumento nos valores de q , chegando a 0,64 para dietas contendo 2,9 Mcal de EM/kg. Em trabalhos utilizando volumosos de melhor qualidade, valores bem superiores de q são encontrados. Xue et al. (2011), avaliando animais puros (Holandês) e mestiços (F_1 Holandês x Jersey), também não observaram diferenças quanto aos genótipos, obtendo valor médio de q igual a 0,66, em dietas com digestibilidade da matéria seca acima de 79%. Yan et al. (1997a) reportaram valores de q entre 0,48 (dieta com 100% de volumoso) e 0,67 (com inclusão de concentrado).

Não foram observadas diferenças entre grupos genéticos e períodos avaliados para a relação ED/EM, sendo o valor médio encontrado de 0,8222, igual ao proposto pelo ARC (1980) e NRC (2001). Segundo o AFRC (1993), esta relação pode variar entre 0,81 a 0,86. Yan et al. (1997a) encontraram valores entre 0,83 e 0,85. No trabalho de Xue et al. (2011), o valor médio foi de 0,86, trabalhando com vacas de diferentes genótipos.

Tabela 6: Consumo de energia metabolizável (CEM, Mcal/dia e kcal/ kg^{0,75}), q (EM/EB) (metabolizabilidade da dieta), relação ED/EM, energia metabolizável para manutenção (EMm,) e para produção de leite (EMI), expressa em Mcal/dia, EM da dieta, expressa em Mcal/kg MS, produção de calor alimentado (PCA), expressa em Mcal/dia e kcal/ kg^{0,75}, energia líquida para lactação (ELI) e para manutenção (ELm), expressa em Mcal/dia, energia líquida para produção de leite (ELI), expressa em Mcal/kg leite, incremento calórico da dieta (IC), expresso em Mcal/dia, kcal/ kg^{0,75}, Mcal/kg MS e % EB, energia retida (ER) e energia líquida total (ELT), expressas em Mcal/dia, energia líquida da dieta, expressa em Mcal/kg MS e consumo de energia líquida, em múltiplos da manutenção (x manutenção)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
CEM (Mcal/dia)	41,95 Ab	46,67 Aa	46,58 Aa	29,33 B	30,68 B	30,38 B
CEM (kcal/ kg ^{0,75})	385,57 Ab	429,15 Aa	424,81 Aa	305,91 B	315,00 B	304,93 B
qm	59,70%	59,33%	59,31%	58,19%	58,78%	59,05%
ED/EM	83,27%	83,21%	82,63%	81,86%	80,58%	81,76%
EMm (Mcal/dia)	13,43 A	13,49 A	13,59 A	11,13 Bb	11,31 B ab	11,62 Ba
EMI (Mcal/dia)	19,09 Ab	20,73 Aa	19,83 Aab	9,36 B	8,32 B	7,93 B
EM (Mcal/kg/MS)	2,62	2,68	2,67	2,61	2,72	2,72
Energia Líquida (EL)						
PCA (Mcal/dia)	28,58 A	31,78 A	31,47 A	20,59 B	21,98 B	21,74 B
PCA (Kcal/ kg ^{0,75})	261,15 A	291,46 A	285,75 A	213,11 B	225,26 B	218,03 B
ELI (Mcal/dia)	13,66 Ab	14,83 Aa	14,19 Aab	6,41 B	5,70 B	5,43 B
ELI (Mcal/kg/leite)	0,7646	0,7646	0,7690	0,7815	0,7958	0,7960
EL m (Mcal/dia)	9,61 A	9,65 A	9,72 A	7,62 Bb	7,74 Bab	7,96 Ba
IC (Mcal/dia)	18,97 A	22,11 A	21,74 A	12,50 B	14,23 B	13,78 B
IC (Kcal/ kg ^{0,75})	173,63 Ab	203,31 Aa	197,58 Aab	129,82 B	145,87 B	138,64 B
IC (Mcal/kg MS)	1,19 b	1,27 a	1,23 ab	1,11 b	1,25 a	1,24 a
IC (% EB)	27,01%	28,08%	27,56%	24,74%	27,33%	26,96%
ER (Mcal/dia)	-0,29 B	0,06 B	0,91 B	2,33 A	3,00 A	3,20 A
ELT (Mcal/dia)	22,98 A	24,55 A	24,83 A	16,83 B	16,45 B	16,60 B
EL (Mcal/kg MS)	1,44	1,41	1,42	1,50	1,46	1,49
x Manutenção	2,31 Ab	2,56 Aa	2,58 Aa	2,09 B	2,13 B	2,09 B

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. (P < 0,05).

Para fins comparativos, estudos nacionais avaliando as exigências nutricionais de vacas em lactação pela técnica respirométrica são inexistentes. Vacas F₁ apresentaram

maior exigência de EMm (13,50 Mcal/dia) em relação às vacas Gir. Estas, por sua vez, tiveram maior EMm no período 3 (11,62 Mcal/dia), em relação aos demais períodos (11,22 Mcal/dia), provavelmente em função do maior peso vivo observado naquele período (467,83 kg). A exigência de EM para produção de leite (EMI) foi maior para vacas F₁ no período 2, em relação ao período 1, acompanhando a maior produção de leite (tabela 4) obtida no período. Vacas F₁ tiveram maior EMI em relação às vacas Gir, em todos os períodos.

Vacas F₁ tiveram maior produção de calor alimentadas (PCA, 30,61 Mcal/dia, 279,45 kcal/kg^{0,75}) em todos os períodos, em relação aos animais Gir (21,44 Mcal/dia, 218,80 kcal/kg^{0,75}). A PCA (Mcal/dia), quando expressa em % do CEM, foi igual entre os grupos genéticos, sendo o valor médio de 70,15%. Este resultado encontra-se dentro do intervalo encontrado por Yan et al. (1997 b), que avaliaram vacas em lactação e encontraram valores entre 66 e 73%. No trabalho de Xue et al. (2011), esta proporção foi menor, variando entre 61 e 66%. Existe uma alta correlação entre o nível de ingestão de energia e a produção de calor do animal (Flatt et al., 1967; Yan et al., 1997a; Agnew e Yan, 2000), uma vez que esta é resultante de todas as atividades metabólicas e digestivas do animal. Na figura abaixo está a relação obtida entre o CEM e a PCA, em ambos os grupos genéticos.

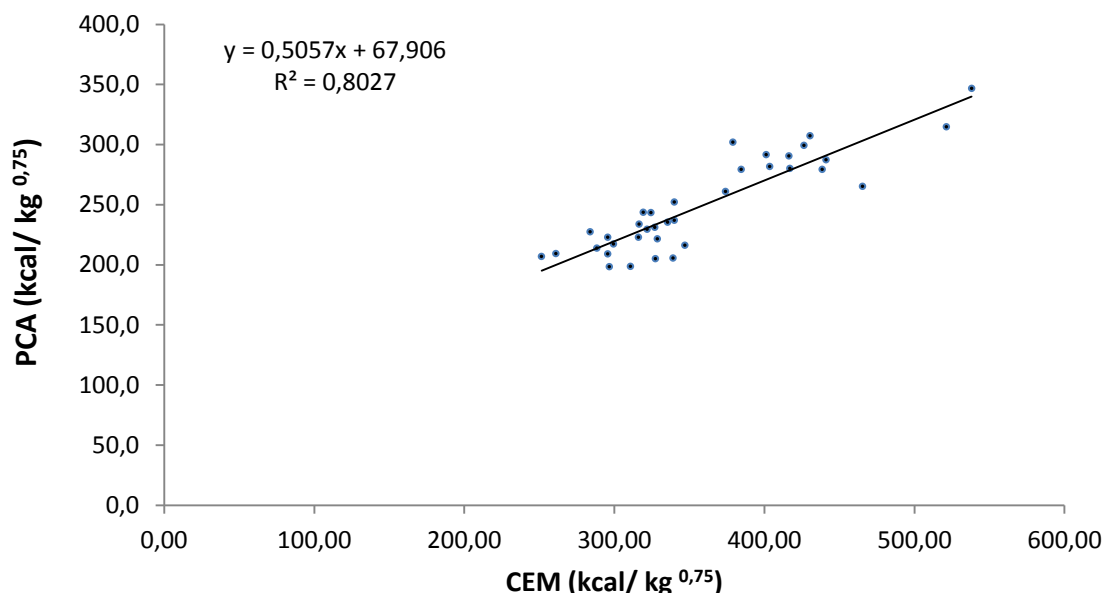


Figura 4. Relação entre o CEM (kcal/kg^{0,75}) e a produção de calor alimentado (kcal/kg^{0,75}) de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação

A energia líquida do leite, em Mcal/kg de leite, não variou entre os grupos genéticos, sendo o valor médio obtido de 0,7786 Mcal/Kg leite. Não foram observadas diferenças quanto à composição do leite entre grupos genéticos e períodos avaliados, sendo os valores médios de 4,34% de gordura, 3,60% de proteína e 13,42% de extrato seco total.

Embora seja a unidade mais correta para se expressar a exigência por kg de leite produzido, valores de energia líquida encontram-se pouco disponíveis na literatura. Geralmente, a unidade mais comumente utilizada nos cálculos é a exigência em NDT, ou seja, kg de NDT por kg de leite. Considerando-se os valores de EL do leite obtidos para ambos os grupos, assim como os valores de Kl, a exigência de EM por kg de leite seria de 1,07 e 1,15 Mcal, respectivamente para animais F_1 e Gir. Utilizando-se a relação ED/EM obtida em cada grupo, os valores de ED seriam de 1,29 Mcal (F_1) e 1,41 Mcal (Gir). Para a conversão em kg NDT/ kg de leite, utilizou-se os valores da relação NDT/ED obtidos em cada grupo, assim como o proposto pelo NRC (2001).

Segundo este modelo, a conversão da ED em NDT pode ser feita através da divisão da ED por 4,409, pois em teoria, um quilo de NDT corresponde a 4,409 Mcal de ED. Utilizando-se este valor fixo, a exigência em kg de NDT por kg de leite seria de 0,292 e 0,320, respectivamente para vacas F_1 e Gir. Por sua vez, utilizando os valores obtidos no presente estudo de 4,43 Mcal/ kg NDT para vacas F_1 e 4,78 Mcal/ kg NDT para vacas Gir, esta exigência seria inferior, de 0,291 e 0,295 kg NDT/kg de leite, para vacas F_1 e Gir, respectivamente. O NRC (2001) sugere o valor médio de 0,330 kg NDT/kg de leite, próximo ao recomendado por Moe e Tyrrell (1972), de 0,341 kg NDT/kg de leite.

Em função da maior produção de leite, vacas F_1 tiveram maior exigência de ELI em relação às vacas Gir, assim como maior exigência total de ELm (9,66 Mcal/dia). Vacas Gir, por sua vez, da mesma forma que foi observado para EMm, tiveram maior valor de ELm no período 3 (7,96 Mcal/dia) do que nos períodos 1 e 2, em função do maior peso vivo. Em relação à ingestão de energia metabolizável, a ELI representou 31,81% do CEM para vacas mestiças e 19,67% para as vacas Gir. De maneira inversa, a ELm representou 25,80% do CEM para vacas Gir, valor superior ao encontrado para as vacas mestiças (21,48%).

Yan et al. (2006) avaliaram a partição da energia entre produção de leite e ganho de peso em diferentes grupos genéticos submetidos a dois planos nutricionais. Segundo esses autores, vacas holandesas de maior produção tiveram maior habilidade para direcionar a energia para o leite, em detrimento ao ganho de tecido. Estes animais, na média, tiveram excreção de energia no leite de 38,31% do CEM, enquanto os animais mestiços tiveram valor inferior, de 35,42%. Por sua vez, estes tiveram maior retenção de energia na forma de tecido corporal, em relação aos animais puros. No trabalho de Xue et al. (2011), a proporção do CEM excretada no leite foi de 32,5%, sem diferenças entre os grupos genéticos avaliados (Holandês e mestiços Jersey x Holandês), valor bem próximo ao obtido por vacas F₁ no presente estudo.

Segundo o NRC (2001), a exigência de manutenção seria de 3,97 e 3,42 kg/NDT/dia para animais de 550 e 450 kg de peso, respectivamente. No presente trabalho, as exigências de ELM seriam 3,71 kg NDT/dia para vacas F₁ e 3,16 kg NDT/dia para vacas Gir, valores estes inferiores aos sugeridos pelo modelo acima.

É interessante avaliar as diferenças proporcionais que os gastos com manutenção e produção de leite assumem em ambos os genótipos avaliados no presente estudo. Vacas em lactação tem uma exigência diária de nutrientes para manutenção e produção de leite. De acordo com Bauman et al. (1985), a exigência de manutenção não se altera em função da produção leiteira e, por conseguinte, a mesma pode ser avaliada como um “custo fixo” necessário para manutenção das funções vitais. Assumindo-se que a composição do leite se mantém constante, a exigência de nutrientes por unidade de produção de leite (Mcal/kg leite) também não se alteraria, havendo, portanto, aumento da exigência total de energia em função da maior produção de leite, o que poderia ser considerado um “custo variável” de produção.

Vacas leiteiras de maior produção exigem mais nutrientes por dia do que um animal de menor produção. Entretanto, comparando-se os dados obtidos de ambos os grupos genéticos avaliados, observa-se que os animais Gir utilizaram 46,76% da energia líquida total (ELT) para suas funções de manutenção, ao passo que 40,09% foi direcionado para produção de leite, sendo o restante destinado para ganho de peso. Para as vacas F₁, a proporção foi de 59,00% para produção de leite e 40,10% para funções de manutenção, sobrando menos de 1% para ganho de peso. Considerando-se apenas a energia secretada no leite, vacas F₁ exigiram 1,25 Mcal de energia líquida/ kg LC4%G, enquanto que

vacas Gir exigiram 2,11 Mcal/kg LC4%G. Observa-se, portanto, que o aumento da produção diluiu o custo fixo (manutenção) por mais unidades de produção de leite, reduzindo-se a necessidade de energia total por kg de leite produzido. Esses valores encontram-se próximos aos obtidos por Bauman et al. (1985), que compararam vacas com produção leiteira de 7 e 29 kg/dia, que apresentaram exigência de EL de 2,2 Mcal e 1,1 Mcal/kg de leite, respectivamente. Segundo estes autores e VandeHaar and St-Pierre (2006), o aumento da eficiência produtiva é conhecido como “efeito de diluição da manutenção”.

Em virtude do maior CMS e ingestão de energia, maior incremento calórico (IC) foi obtido nos animais F₁, em relação às Gir. Quando expresso em função da matéria seca ingerida, não foram observadas diferenças entre os grupos genéticos. Em relação aos períodos, menores valores de IC foram encontrados no período 1. Quando expresso em % do CEB, não foram observadas diferenças entre grupos e períodos, sendo o valor médio de 26,95%, próximo ao sugerido por Van Soest (1994), segundo o qual o IC pode representar de 20 a 30% da EB ingerida para animais em manutenção, 30% para animais em lactação e até 42% para animais em engorda. Na figura 5 estão ilustradas a partição energética, com suas respectivas perdas proporcionais da energia bruta ingerida, em animais de ambos os grupos genéticos em todos os períodos avaliados.

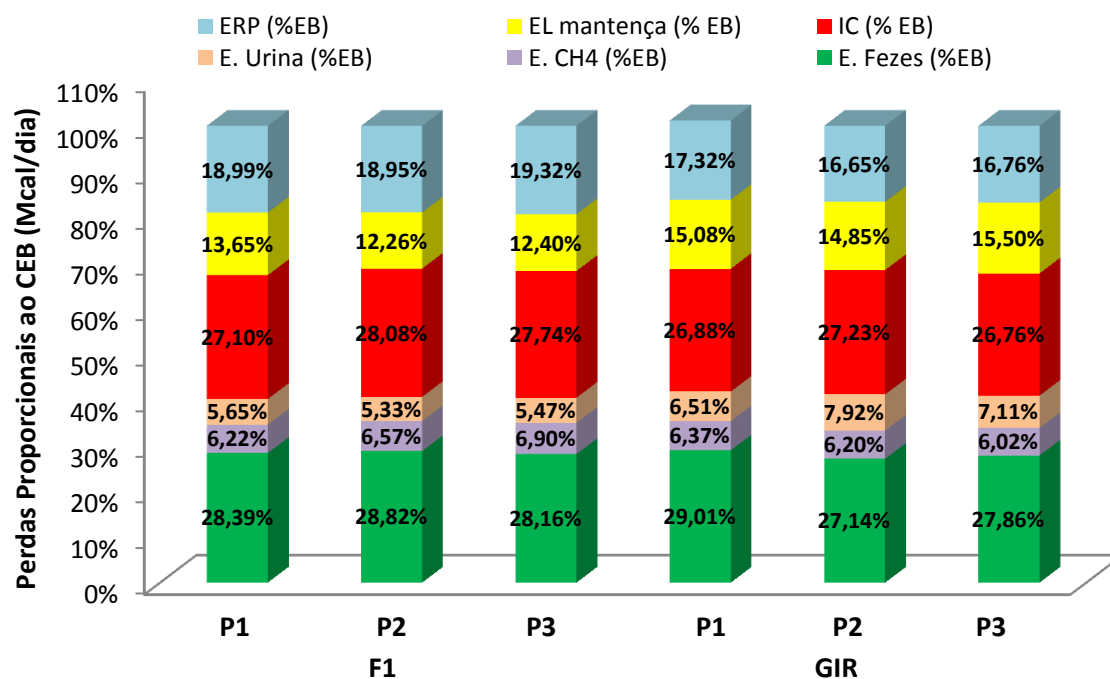


Figura 5. Partição energética e perdas proporcionais, em relação ao consumo de energia bruta (CEB), de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação

O balanço energético (BE) foi calculado como a diferença entre o CEM e o somatório da PCA mais a ELI (tabela 7). Vacas F₁ tiveram valor negativo no período 1 e positivo nos demais. Valor negativo para BE significa que o animal estava em déficit energético, com perda de energia e mobilizando suas reservas corporais. Vacas Gir tiveram valores positivos em todos os períodos avaliados.

Segundo Moe e Tyrrell (1972), existe uma grande dificuldade na determinação das exigências nutricionais de vacas em lactação, assim como na interpretação dos ensaios de digestibilidade, principalmente devido às alterações que ocorrem no peso vivo durante a lactação. A mudança de peso corporal não necessariamente reflete com precisão as mudanças nas reservas de tecido corporal. Por sua vez, a mobilização não detectada da reserva de energia pode afetar significativamente a quantidade de alimento necessária por unidade de leite produzido. Utilizando-se dados do modelo NRC (2001) e as variações de peso vivo observadas no presente estudo, comparações foram realizadas (tabela 7). Segundo este modelo, para vacas com ECC de 3,0 e 3,5, a energia gerada por cada kg de peso vivo mobilizado seria de 4,68 e 5,10 Mcal, respectivamente, enquanto que para ganho de 1 kg de peso vivo, seriam necessários 5,34 e 5,84 Mcal/dia. Ou seja, devido à variação na composição do ganho, maior quantidade de energia seria necessária para o mesmo ganho de peso, quando se aumenta o ECC. De maneira similar, maior quantidade de energia é gerada a partir de 1 kg de peso vivo perdido quando o ECC é maior.

Tabela 7: Balanço de energia real (Mcal/dia), variação de peso vivo observada (kg/dia), energia retida em produtos (ERP, Mcal/dia), variação de peso vivo e balanço de energia estimados pelo NRC (2001)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
BE Real (Mcal/dia)	-0,29 B	0,06 B	0,91 B	2,33 A	3,00 A	3,20 A
Δ PV Real (kg/dia)	-0,102 B	0,060 B	0,142 B	0,188 A	0,481 A	0,446 A
ERP (Mcal/dia)	13,37 A	14,89 A	15,11 A	8,75 B	8,70 B	8,63 B
Δ PV Calculado NRC (2001)	-0,056	0,010	0,155	0,399	0,513	0,547
BE Calculado NRC (2001)	-0,52	0,35	0,83	1,10	2,81	2,60

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os tempos avaliados no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo tempo. ($P < 0,05$).

Vacas Gir tiveram balanço de energia positivo e superior às F_1 , assim como maior ganho de peso vivo em todos os períodos. Não foram observadas diferenças entre períodos, para ambos os genótipos. Vacas Gir apresentaram significativo ganho de peso ao longo dos períodos, sendo o peso vivo observado no período 3 superior aos demais.

Para os animais F_1 , no período 1, o BE negativo de 0,29 Mcal/dia correspondeu à perda de peso vivo de 102 gramas/dia, valor um pouco superior ao estimado pelo modelo utilizado, de 56 gramas/dia. Nos períodos 2 e 3, o BE foi positivo e correlacionou-se com ganhos de 70 e 142 gramas/dia, respectivamente. Utilizando-se o modelo a estimativa foi de 10 e 155 gramas/dia, valores que não diferiram tanto dos observados. Vacas Gir tiveram BE positivo em todos os períodos, que representaram ganhos de 188, 481 e 446 gramas/dia, respectivamente para os períodos 1, 2 e 3. Os valores obtidos nos últimos dois períodos foram bem próximos aos valores estimados pelo NRC (2001), respectivamente de 513 e 547 gramas/dia.

É importante salientar, contudo, que os valores observados e estimados pelo modelo utilizado encontram-se coerentes, sobretudo indicando o *status* energético dos animais nos diferentes períodos. Além disso, destaca-se que este modelo foi desenvolvido utilizando dados provenientes integralmente de experimentos realizados com animais de raças taurinas, especializadas para produção leiteira, que diferem quanto ao ECC, composição corporal e partição energética em relação aos animais utilizados no presente estudo.

De acordo com Xue et al. (2011), poucas informações são disponíveis na literatura avaliando o efeito dos cruzamentos e da heterose na eficiência energética e na partição da energia entre leite e tecido corporal. Esses autores realizaram estudo avaliando cruzamentos entre raças europeias, especializadas para produção de leite (Holandês e Jersey). Trabalhos avaliando a influência de cruzamentos entre raças taurinas e zebuínas na eficiência de utilização ou na partição da energia em vacas leiteiras em lactação são escassos.

Olson et al. (2010) avaliaram o balanço energético de vacas primíparas Holandês, Jersey e F_1 Holandês x Jersey, assim como os prováveis efeitos da heterose no consumo e na partição da energia. Segundo esses autores, a heterose foi desfavorável em relação às exigências de manutenção, porém teve efeitos positivos quanto ao direcionamento da energia para produção de leite. Além disso, esses autores sugeriram que animais

mestiços podem ter vantagens no balanço energético, como retorno mais rápido ao balanço de energia positivo, quando comparados aos animais puros. Este resultado é semelhante ao encontrado por Friggens et al. (2007), que avaliaram a influência de diversos cruzamentos na partição da energia. Segundo esses autores, diferentes grupos genéticos podem variar quanto à partição energética, corroborando com os resultados observados no presente estudo.

A energia retida em produtos (ERP) foi maior para as vacas mestiças (14,45 Mcal/dia), em relação às Gir (8,69 Mcal/dia). Esta forma de cálculo torna mais justa a comparação entre diferentes animais e grupos genéticos, principalmente aqueles que diferem quanto à partição energética, pois considera também a energia que é retida em tecido corporal. Conforme observado pelo balanço energético (BE), apesar da menor produção leiteira, vacas Gir tiveram significativo ganho de peso durante os períodos avaliados, apresentando maior peso vivo no último períodos. A figura abaixo demonstra o direcionamento da energia líquida total para as diversas funções, nos animais avaliados.

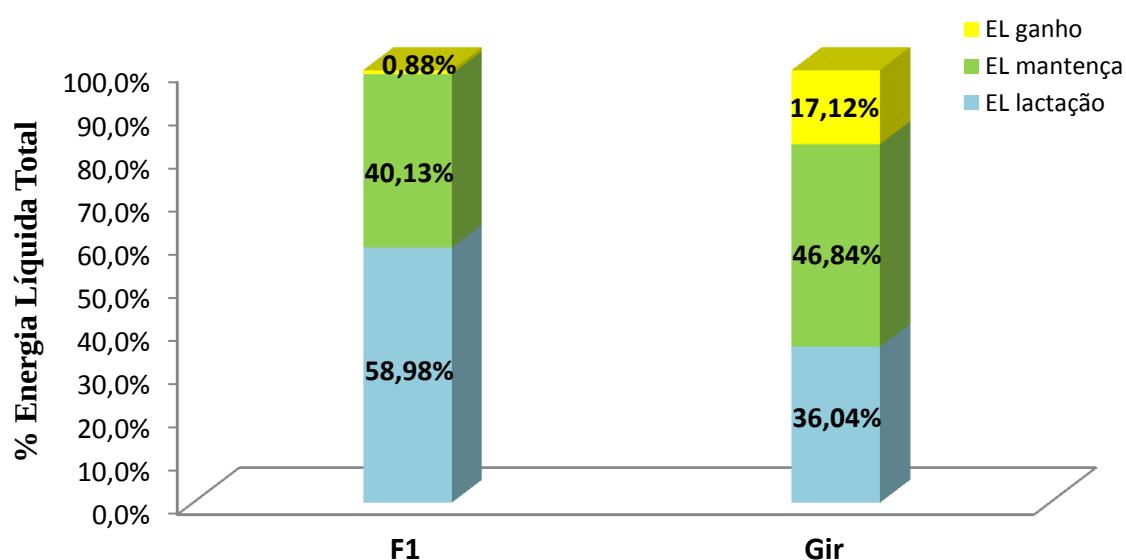


Figura 6. Proporção da energia líquida total (ELT) destinada para lactação, manutenção e ganho de peso, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação

De acordo com Hart (1983), essa diferença na partição energética entre vacas de maior e menor mérito genético está associada às concentrações de insulina no sangue. Segundo este autor, durante o terço inicial de lactação, as concentrações de insulina são significativamente maiores no plasma de vacas de menor mérito genético que estão com

excedente de energia, em relação aos animais de maior mérito genético que estão em déficit energético. Esta diferença na insulinemia tende a diminuir com o avanço da lactação, o que pode refletir nas diferenças entre o direcionamento da energia para o leite ou tecido corporal. Embora no presente estudo dosagens de insulina não tenham sido realizadas, pode-se sugerir que este efeito tenha ocorrido, em vista dos valores obtidos para peso vivo, escore de condição corporal e balanço de energia das vacas de menor mérito genético (Gir).

Além da insulina, diversos outros hormônios influenciam, sendo a partição de nutrientes na lactação um processo complexo (Bauman e Currie, 1980). Segundo estes autores, a partição energética entre produção de leite e ganho de peso é influenciada por mecanismos de controle homeorrético, que diferem ao longo da lactação, sendo que a ação hormonal determinante no início da lactação pode ser diferente da ação hormonal para manutenção da mesma, especialmente devido à ação da prolactina. Com o avançar da lactação a ação deste hormônio na partição de nutrientes e lactogênese é menos intensa. Ou seja, no início da lactação, a prolactina em associação ao hormônio do crescimento (GH) coordena o metabolismo lipídico no tecido adiposo e fígado, reduzindo a lipogênese e aumentando a lipólise, de modo a direcionar os nutrientes para a glândula mamária, uma vez que a lactação é a prioridade fisiológica neste momento. Com o avançar da lactação, o papel da prolactina torna-se menos relevante. Além disso, neste momento, as maiores concentrações de insulina determinam um estímulo à lipogênese, tanto no fígado (TG, colesterol) quanto no tecido adiposo, além da queda da lipólise (Bauman e Currie, 1980).

A energia líquida total (ELT) foi maior para os animais F₁ (24,12 Mcal/dia) em relação às vacas Gir (16,63 Mcal/dia), refletindo a maior exigência de energia líquida para manutenção e a maior produção de leite. Em relação ao CEB, a energia líquida total correspondeu a 19,08 e 16,91%, respectivamente para vacas F₁ e Gir. Em relação à densidade energética da dieta, o valor de EL foi igual entre nos dois grupos genéticos e em todos os períodos avaliados, 1,45 Mcal/kg MS.

4. CONCLUSÕES

Vacas F₁ Holandês x Gir apresentaram maior produção de leite e sólidos totais, assim como maior consumo de energia, quando expresso em todas as unidades, no terço inicial de lactação.

Vacas Gir têm menor exigência de energia metabolizável ($115,88 \text{ kcal/ kg}^{0,75}$) e líquida ($79,39 \text{ kcal/ kg}^{0,75}$) de manutenção, em relação às vacas F₁ Holandês x Gir ($123,14$ e $88,12 \text{ kcal/ kg}^{0,75}$). Ambos os grupos genéticos requerem menor EMm em relação ao sugerido pelas tabelas internacionais.

Vacas F₁ foram mais produtivas e eficientes, em relação à porcentagem da energia secretada no leite, assim como em relação à emissão de gases de efeito estufa (GEE) por produto gerado (leite e sólidos totais).

Os genótipos não diferiram quanto à eficiência de utilização da energia metabolizável para lactação, sendo o valor médio de 0,70 (Kl).

Vacas F₁ Holandês x Gir direcionaram maior parte da energia líquida para produção de leite, em relação às vacas Gir, que direcionaram maior parte para as funções de manutenção. Vacas Gir tiveram significativo ganho de peso e escore de condição corporal no terço inicial de lactação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, R. E. e T. YAN. The impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science*, v.66, p.197–215, 2000.
- 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.
- ALVIM, M. J, PACIULLO, D. S. C, CARVALHO, M. M. et al. 2005. Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/racas.htm>. Acessado em 12 de Dezembro de 2015.
- BAUMAN, D. E.; CURRIE, W. B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, v.63, p.1514–1529, 1980.
- BAUMAN, D. E.; McCUTCHEON, S.; STEINHOURET, W. et al. "Sources of variation and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cow: a review." *Journal of Animal Science*, v.60, p.583-592, 1985.
- BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M., O'MARA, F. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.48, p. 21–27. 2008.
- BIRNIE, J. W. *Factors affecting the fasting heat production of non-lactating dietary cattle*. 128p. Ph.D. Thesis, The Queen's University of Belfast, Belfast. 1999.

- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proceedings...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.
- CAPPER, J.L.; CADY, R.A.; BAUMAN, D.E. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science*, v.87, p.2160–2167, 2009.
- CARSTENS, G. E., JHONSON, D. E.; JHONSON, K.A.; HOTOVOY, S. K.; SZYMANSKI, T. J. Genetic variation in energy expenditures of monozygous twin beef cattle at 9 and 20 months of age. In: *Energy Metabolism of Farm Animals, Proceedings....11th Symposium*. 1988. EAAP Publ. No. 43:72.
- CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Consumo, digestibilidade e excreção de ureia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.1, p.138-146, 2007.
- EDMONSON, A. J., LEAN, J., WEAVER, L., et al. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.72, p.68-78, 1989.
- FERRELL, C.L., JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, v.61, n.2, p.725-741, 1985.
- FERRIS, C. P., GORDON, F. J.; PATTERSON, D. C. et al. The effect of genetic merit and concentrate proportion in the diet on nutrient utilization by lactating dairy cows. *Journal of Agricultural Science*, v.132, p.483–490. 1999.
- FLATT, W. P.; MOE, P. W.; MUNSON, A. W. et al. Energy utilization by high producing cows. II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. In: *Energy Metabolism of Farm Animal*, EAAP, v.12. Warsaw, Poland. 1967.
- 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.
- FREETLY, H. C.; NIENABER, J. A.; BROWN-BRANDL, T. Partitioning of energy during lactation of primiparous beef cow. *Journal Animal Science*, v.84, p.2157-2162, 2006.
- FRIGGENS, N. C.; BERG, P.; THEILGAARD, I. R. et al. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence of genetically driven body energy change. *Journal Dairy Science*, v.90, p.5291–5305, 2007. HART, I. C. Endocrine control of nutrient partition in lactating ruminants. *Proceeding... Nutrition Society*, v.42, p.181–194, 1983.
- GORDON, F. J.; PORTER, M. G.; MAYNE, E. F. et al. The effect of forage digestibility and type of concentrate on nutrient utilization for lactating dairy cattle. *Journal Dairy Research*, v.62, p.15–27, 1995.
- GRUMMER, R. R. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2820-2833, 1995.
- HAMMOND, K. J.; MUETZEL, S.; WAGHORN, G. C. et al. The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass. *Proceedings..... N.Z. Soc. Anim. Prod.*, v.69, p.174–178, 2009.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (eds). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, 2006. chap. 10, p. 747-846.
- JOHNSON, K.; HUYLER, M.; WESTBERG, H. et al. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environmental Science Technology*, v. 28, p. 359-362, 1994.
- KAHARABATA, S. K.; SCHUEPP, P.; DESJARDINS, R. L. Estimating methane emissions from dairy cattle housed in a barn and feedlot using an atmospheric tracer. *Environmental Science Technology*, v. 34, n. 15, p. 3296-3302, 2000.
- KIRKLAND, R. M.; GORDON, F. J. The metabolisable energy requirement for maintenance and the efficiency of use of metabolisable energy for lactation and tissue gain in dairy cows offered a straw / concentrate ration. *Livestock Production Science*, v.61, p. 23-31, 1999.
- KURIHARA, M.; MAGNER, T.; McCRABB, H. et al. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, v.81, p.227- 234, 1999.
- MACKINNON, M.J.; THORPE, W.; BAKER, R.L. Sources of genetic variation for milk production in a crossbred herd in the tropics. *Animal Science*, v.62, p.5-16, 1996.
- MOE, P.W.; REID, J.T.; TYRREL, H.F. et al. Effect of level of intake on digestibility of dietary energy by high-production cows. *Journal of Dairy Science*, v. 48, p.1053-1061. 1965.
- MOE, P.W.; FLATT, W. P.; TYRRELL, H. F. Net energy value of feeds for lactation. *Journal of Dairy Science*, v.55, p.945-958. 1972.
- MOE, P.W.; TYRRELL, H.F. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.55, n.4, p.480-483, 1972.
- MOE, P. W.; TYRREL, H. F. Methane production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 62, p.1583-1586. 1979.
- MOE, P.W. Energy metabolism of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.64, p.1120-1139. 1981.
- MUNGER, A. Milk production efficiency in dairy cows of different breeds. *Proceedings....Energy Metabolism Symposium*, v.58, p.292-295. 1991.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1989. 158p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2001. 381p.
- O'HARA, P.; FRENEY, J.; ULYATT, M. Abatement of agricultural non-carbon dioxide greenhouse gas emissions: a study of research requirements. *Ministerial Group on Climate Change, the Minister of Agriculture and the Primary Industries Council*. New Zealand: Crown Copyright - Ministry of Agriculture and Forestry, 2003. 170p.
- OLDHAM, J.D.; EMMANS, G.C. 1990. *Animal performance as the criterion for feed evaluation*. In: Wiseman, J., Cole, D.J.A. (Eds.), *Feedstuff Evaluation*. Butterworth, London. p. 73-90.

- OLSON, K.M.; CASSELL, B.G.; HANIGAN, M.D. Energy balance in first-lactation Holstein, Jersey, and reciprocal F1 crossbred cows in a planned crossbreeding experiment. *Journal of Dairy Science*, v.93, n.9, p.4374–4385, 2010.
- ØRSKOV, E.R.; MACLEOD, N.A. The determination of the minimal nitrogen excretion in steers and dairy cows and its physiological and practical implications. *British Journal of Nutrition*, v.47, p.625-636, 1982.
- PINARES-PATINÑO, C. S.; WAGHORN, G. C.; MACHMULLER, A. et al. Methane emissions and digestive physiology of non-lactating dairy cows fed pasture forage. *Canadian Journal Animal Science*, v.87, p.601–613. 2007.
- PRIMAVESI, O.; RODRIGUES, A.; BARBOSA, P. F. et al. *Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal*. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste (Circular Técnica, 39), 21 p. 2004.
- REID, J. T., WHITE, O. D., ANRIQUE, R. et al. Nutritional Energetics of Livestock: some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal of Animal Science*, v. 51, p. 1393 – 1415, 1980.
- RODRÍGUEZ, N.M; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.2, p.495-500, 2007.
- ROSENBERGER, G. Exame clínico dos bovinos. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993. C. 8, p. 229 – 240.
- SEAL, C. J.; REYNOLDS, C. K. Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants. *Nutrition Research Reviews*, v.6, p.185-208, 1993.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos* (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; Van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P. Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. *Journal of Environmental Quality*, v.32, n.5, p.1591-1602, 2003.
- VAN ES, A. J. H. Feed evaluation for dairy cows. *Livestock Production Science*, v.2, p.95–107. 1975.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. London: Comstock Publishing Associates, 1994. 476p.
- VANdeHAAR, M.J.; N. St- PIERRE. Major advances in nutrition: Relevance to the sustainability of the dairy industry. *Journal of Dairy Science*, v.89, p.1280-1291. 2006.
- XUE, B.; YAN, T.; FERRIS, C.F. et al. Milk production and energy efficiency of Holstein and Jersey-Holstein crossbred dairy cows offered diets containing grass silage. *Journal of Dairy Science*, v.94, n.3, p.1455–1464, 2011.
- YAN, T.; GORDON, F. J.; AGNEW, R. E. et al. The metabolizable energy requirements for maintenance and the efficiency of utilization of metabolisable energy for lactation by dairy cows offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science*, v.51, p.141-150, 1997 (a).

- YAN, T.; GORDON, F. J.; FERRIS, C. P. et al. The fasting heat production and effect of lactation on energy utilization by dairy cows offered forage-based diets. *Livestock Production Science*, v.52, p.177-186, 1997 (b).
- YAN, T.; MAYNE, C.S.; KEADY, T.W.J. et al. Effects of Dairy Cow Genotype with Two Planes of Nutrition on Energy Partitioning Between Milk and Body Tissue. *Journal of Dairy Science*, v.89 n.3, p. 1031–1042, 2006.
- YAN, T.; MAYNE, C.S.; GORDON, F.G. et al. Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, n.6, p. 2630–2638, 2010.

CAPÍTULO 4

PERFIL METABÓLICO, DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ALIMENTAR DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR NO TERÇO INICIAL DE LACTAÇÃO

Resumo – Avaliaram-se o perfil metabólico, o desempenho e a eficiência alimentar de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir do parto ao 105º dia em lactação. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). O consumo de matéria seca (CMS), a produção e composição de leite, o escore de condição corporal (ECC) e o peso vivo foram avaliados semanalmente, da 1ª a 15ª semana. Ácidos graxos não esterificados (AGNE), glicose, nitrogênio ureico no plasma (NUP), creatinina, proteína total, albumina, globulinas, triglicerídeos, colesterol e aspartato aminotransferase (AST) foram avaliados para estudo do perfil metabólico. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o procedimento GLM do pacote estatístico SAS. Vacas F₁ apresentaram maior CMS (16,96 kg/dia), produção de leite corrigida (19,20 kg/dia), eficiência alimentar (1,13 kg leite/ kg MS), concentração de AGNE e AST, assim como maior variação no ECC, evidenciando moderada mobilização de reservas corporais. Observou-se fase ascendente da lactação nas vacas F₁, ao contrário do observado nas vacas Gir. Estas, por sua vez, apresentaram maior ganho de peso e ECC com o decorrer da lactação, sendo que o CMS (11,22 kg/dia) manteve-se constante durante o período avaliado. Vacas F₁ foram mais produtivas e eficientes para produção de leite, sendo hábeis em utilizar as reservas corporais no início da lactação. Vacas do grupo Gir tiveram maior aptidão para ganho de peso e condição corporal durante a lactação, em detrimento à produção de leite.

Palavras-chave: bovinos de leite, metabolismo, nitrogênio ureico, produção de leite

1. INTRODUÇÃO

O início da lactação em vacas leiteiras é acompanhado por baixo consumo de matéria seca (CMS) e baixa disponibilidade de energia, sendo que ambos aumentam lentamente nas primeiras semanas após o parto. No mesmo período, a produção de leite

aumenta vertiginosamente. Consequentemente, as exigências energéticas do animal no período inicial da lactação não são atendidas, o que é conhecido como balanço energético negativo (BEN) (Grummer, 1995).

O controle do metabolismo durante a lactação envolve basicamente dois tipos de regulação, homeostase e homeorrese. O primeiro envolve a manutenção de equilíbrio fisiológico no ambiente interno, tal como manutenção da temperatura corporal e pressão sanguínea. O controle homeorrético corresponde às mudanças coordenadas no metabolismo de vários tecidos, necessárias para suportar um estado fisiológico, garantindo assim um fluxo uniforme de nutrientes. Um exemplo é o BEN associado à mobilização de reservas corporais, predominantemente localizadas nos tecidos adiposo e muscular. Ocorre ordenação na partição de nutrientes direcionados à glândula mamária, que é a prioridade fisiológica no início da lactação (Bauman & Currie, 1980).

As alterações fisiológicas que ocorrem no terço inicial da lactação estão diretamente relacionadas às mudanças observadas no metabolismo do animal, tais como perda de condição corporal, elevação dos valores de ácidos graxos não esterificados (AGNE) e corpos cetônicos no plasma. Neste ponto, uma vez que a composição bioquímica do sangue reflete de maneira confiável o equilíbrio entre o ingresso, o egresso e a mobilização dos nutrientes nos tecidos animais, destaca-se o uso do perfil metabólico (PM) para avaliar o metabolismo e o *status* nutricional (González et al., 2009).

Objetivou-se avaliar o perfil metabólico, o desempenho, o escore de condição corporal e a eficiência alimentar de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e animais utilizados

O experimento foi realizado no período entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014, nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal (LAMACA) do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG. Os animais utilizados eram provenientes da Fazenda Experimental de Felixlândia (EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Foram utilizadas 12

vacas em lactação, vazias, sendo seis do grupo genético F₁ Holandês x Gir e seis do grupo genético Gir.

As vacas F₁ Holandês x Gir apresentavam peso vivo médio inicial de 535,5 ± 68,89 kg e as vacas Gir peso vivo médio inicial de 441,1 ± 61,61 kg. Os animais, por terem participado de estudo anterior avaliando suas exigências nutricionais para gestação, apresentavam uniformidade quanto à condição corporal ao parto e estavam adaptadas às instalações experimentais.

2.2. Manejo e dieta experimental

Os animais foram manejados em regime de confinamento, em sistema “*tie-stall*”, dispondo de estrados de borracha, bebedouro e cochos individuais. Os tratamentos experimentais correspondiam aos grupos genéticos - F₁ Holandês x Gir e Gir.

A dieta (65% volumoso/ 35% concentrado) era composta de silagem de milho e concentrado à base de milho (55%) e farelo de soja (45%), além do núcleo mineral (150 gramas/dia, fornecido junto ao concentrado), calculada conforme as recomendações do NRC (2001) para atender às exigências de manutenção e produção. A dieta foi fornecida duas vezes ao dia, *ad libitum*, às 7h 30 min e às 16 h 30 min, após a ordenha da manhã e da tarde, respectivamente, em quantidades diariamente ajustadas de forma a manter as sobras em torno de 10% do ofertado.

O NDT foi calculado utilizando-se a equação proposta por Sniffen et al. (1992), $NDT = PBD + 2,25 \times EED + CHOTD$, sendo que PBD, EED e CHOTD correspondem respectivamente à proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais digestíveis.

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir no terço inicial de lactação

Variáveis	%
MS	48,08
MO	94,73
PB	13,19
FDN cp	39,09
FDA	22,29
EE	3,05
NDT	71,73
CNF	36,67
CHOT	78,38
Ca	0,45
P	0,37

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN cp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; NDT: nutrientes digestíveis totais (Sniffen et al., 1992); CNF: carboidratos não fibrosos; CHOT: carboidratos totais; Ca: cálcio; P: fósforo

2.3. Coleta de dados

Com o objetivo de descrever a curva de CMS durante o período avaliado, as sobras foram pesadas diariamente, amostradas e congeladas em freezer a – 20 °C. As amostras de concentrado e silagem de milho foram coletadas semanalmente para análises químicas posteriores.

A avaliação do escore de condição corporal (ECC) foi feita classificando-se os animais de 1 a 5, com subunidades de 0,25 (Edmonson et al., 1989). O ECC foi avaliado no dia previsto do parto e semanalmente, até a 15ª semana pós-parto. Os animais foram pesados duas vezes por semana, em dias consecutivos, sempre após a ordenha da manhã e antes do arraçãoamento.

Na primeira semana pós-parto, no 3º dia de lactação, as vacas foram apartadas de seus bezerros, com os quais passaram a ter contato apenas no momento das ordenhas, durante a qual foi oferecido um quarto mamário para o aleitamento do bezerro. As vacas foram ordenhadas duas vezes ao dia (6h 30min e 16h), sendo manejadas utilizando-se tronco de contenção, com o bezerro ao pé. Para descrição da curva de produção de leite e determinação da produção diária das vacas, assim como a composição do leite, foi realizada a ordenha total dos animais três vezes por semana, com a presença do bezerro

ao pé, sem a amamentação. Nos dias de coleta foi feita a administração de 0,5 ml de ocitocina exógena (Ocitocina Sintética®, 10 UI/ml), aplicada em todos os animais imediatamente antes do procedimento de ordenha, por via intravenosa.

Para avaliação da composição do leite, uma vez por semana foi coletada uma amostra individual, sendo representativa das duas ordenhas (manhã e tarde). Os seguintes itens foram avaliados: proteína (%), gordura (%), extrato seco total (%) e ureia (mg/dL). As análises foram realizadas no Laboratório de Análise da Qualidade do Leite (LabUFMG) da Escola de Veterinária da UFMG.

As concentrações de gordura, proteína e lactose foram determinadas por leitura de absorção infravermelha utilizando-se o equipamento Bentley 2000®. O teor de nitrogênio ureico no leite (NUL) foi calculado multiplicando-se o valor de ureia por 0,4667. A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LCG4%) foi calculada pela equação: $(0,4 \times \text{kg de leite produzido}) + (15 \times \text{kg de gordura produzida})$, de acordo com NRC (2001).

2.4. Avaliação do Perfil Metabólico

A partir do parto (1º DEL), duas vezes por semana foram realizadas coletas de sangue, por punção da veia/ artéria coccígea, utilizando-se sistema de coleta a vácuo. A coleta era realizada no início da manhã, sempre após a ordenha e antes do arraçoamento.

Após a coleta, os tubos foram centrifugados por dez minutos a 1600 g em centrífuga Centerbio®, sendo o soro/plasma separado em microtubos tipo *ependorf* (0,5 mL), que foram armazenados à - 20° C, para posteriores análises bioquímicas. As dosagens bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Patologia Clínica do Departamento de Clínica e Cirurgia da Escola de Veterinária da UFMG, utilizando-se Analisador Bioquímico Cobas Mira Plus®, a 37°C, previamente calibrado e aferido com soro controle.

Para estudo do perfil energético foram determinadas as concentrações séricas de ácidos graxos não esterificados (AGNE), glicose, triglicerídeos e colesterol. Para análise do perfil proteico foram determinadas as concentrações séricas das proteínas totais, ureia, creatinina, albumina e globulinas. Para avaliação do perfil enzimático determinou-se a concentração da enzima aspartato aminotransferase (AST).

A dosagem dos metabólitos foi feita em kits comerciais pelos métodos - colorimétrico (glicose, AGNE, triglicerídeos), fotométrico (colesterol, creatinina, albumina, proteínas totais), enzimático (ureia) e cinético UV-IFCC (AST). A concentração sérica de globulina foi determinada pela diferença entre as concentrações de proteína total e albumina. O hematócrito foi determinado pela técnica dos microtubos capilares.

2.5. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas, sendo dois fatores avaliados, grupo genético (fator da parcela) e semanas de lactação (fator da subparcela).

Os parâmetros analisados, antes de serem submetidos à análise de variância, foram submetidos ao teste de normalidade de Kolgomorov & Smirnov. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o procedimento GLM do pacote estatístico SAS. Verificado significância pelo teste F, para interação significativa ou não, as médias dos grupos genéticos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vacas F₁ Holandês x Gir e Gir apresentaram diferenças quanto ao CMS, produção de leite, curva de lactação, ECC e variação do peso vivo, no terço inicial de lactação. Na figura abaixo está representada as curvas de lactação e produção de leite obtidas nos animais de ambos os grupos genéticos, no terço inicial de lactação.

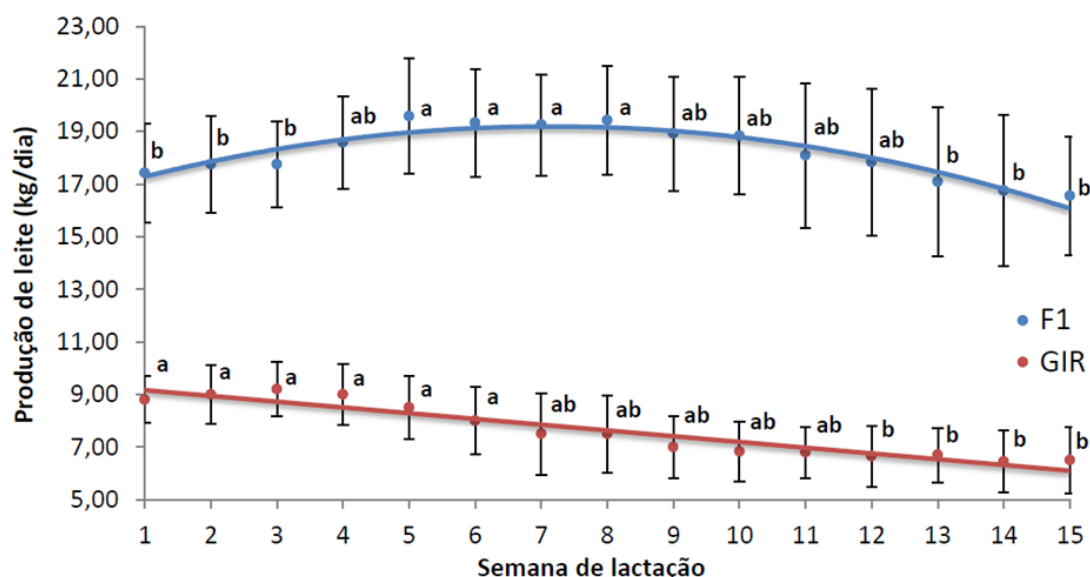


Figura 1: Produção de leite (kg/dia), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente ($P < 0,05$). Equações de regressão: F₁ ($y = -0,0506x^2 + 0,7226x + 16,609$; $R^2 = 0,89$) / Gir ($y = -0,2187x + 9,3784$; $R^2 = 0,90$).

A curva de lactação teórica corresponde à representação gráfica da produção de leite em função do tempo, podendo ser segmentada em fase ascendente, que vai do pós-parto ao pico de produção e posteriormente uma fase de declínio que se estende até o final da lactação (Wood, 1967). Essa segmentação, entretanto, ainda não é claramente definida em algumas raças utilizadas para produção leiteira, sobretudo em animais zebuínos e seus cruzamentos. No presente trabalho, animais F₁ apresentaram a fase ascendente de lactação, sendo o pico de produção observado na 7^a semana de lactação (49-56 DEL), com $19,58 \pm 2,18$ kg/dia. A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LC4%G) foi máxima no mesmo período, sendo o valor médio observado de $21,27 \pm 3,76$ kg/dia e $4,54 \pm 0,38$ % de gordura. A produção de leite no pico de lactação foi 10% superior à do início da lactação (1^o ao 21^o DEL). Após o pico de produção, a queda mensal observada em relação à produção máxima foi de 3,37% ($18,92 \pm 1,77$

kg/leite) e 12,78 % ($17,08 \pm 3,04$ kg/leite) nos primeiros dois meses, respectivamente. Em relação ao final do período avaliado (15ª semana, 105º DEL), a queda foi de 14,47% ($16,75 \pm 3,25$ kg/leite). Durante o período avaliado, vacas do grupo F₁ apresentaram produção de leite média de 18,57 kg/dia e produção corrigida para gordura de 19,20 kg/dia.

Resultados nacionais avaliando curvas de lactação de animais F₁ são controversos. Oliveira et al. (2007), analisando 5.368 lactações de vacas mestiças F₁ Holandês x Gir não observaram a fase ascendente da curva de lactação, ao contrário do observado no presente estudo. Estes autores observaram queda mensal de 8,1% na produção de leite ao longo da lactação. Por sua vez, Glória et al. (2010), analisando 1.340 lactações de vacas mestiças de quatro grupos genéticos distintos (F₁ Holandês x Gir, Holandês x Guzerá, Holandês x Nelore e Holandês x azebuadas), observaram a fase ascendente do início da lactação ao pico de produção. O tempo médio para alcance do pico variou de 9,4 a 46 dias, sendo que a média para o grupo genético F₁ Holandês-Gir, o mesmo utilizado no presente trabalho, foi de 22,7 dias. Santos (2011), trabalhando com três grupos genéticos (F₁ Holandês x Guzerá (HGUZ), F₁ Holandês x Gir (HGIR) e F₁ Holandês x Nelore (HNEL)) distintos observou que vacas do grupo F₁ Holandês x Gir apresentaram a fase ascendente de produção, sendo o pico obtido logo no 8º dia de lactação, com produção de 19,46 kg/dia.

Animais do grupo genético Gir não apresentaram a fase ascendente de lactação, sendo a produção de leite máxima obtida logo na primeira semana de lactação, com média de $8,90 \pm 0,89$ kg/dia. A produção de leite corrigida foi máxima no mesmo período, sendo o valor médio diário de $9,39 \pm 1,66$ kg/leite e $4,36 \pm 0,22$ % de gordura. Vacas Gir apresentaram, ao final do período avaliado (105 DEL), queda de 28% na produção em relação à produção inicial observada. Ao longo do período avaliado, as vacas do grupo Gir apresentaram produção de leite média de 7,43 kg/dia e 8,02 kg/dia LCG4%.

Herrera et al. (2008) avaliaram 2.440 lactações de vacas Gir, do 5º ao 305º DEL. Para o período considerado como o terço inicial de lactação, os autores observaram produção média de $9,86 \pm 3,47$ kg/dia, sendo observada curva ascendente de produção, com pico próximo ao 60º DEL ($10,32 \pm 3,63$ kg/dia).

Rebouças et al. (2008) estudaram a curva de 7.412 lactações de 3.416 vacas da raça Gir, comparando ordem de parto, produção de leite aos 305 dias, tempo de ocorrência do pico de produção e produção de leite no dia do pico, em animais com nível de produção alto e baixo. Para os animais considerados como nível alto de produção, com ordem um e dois de parição, os autores observaram 53 e 39 dias até o pico, sendo a produção de 13,12 e 13,53 kg/dia, respectivamente. Para os animais com nível de produção baixo, o tempo até o pico de produção foi de 14 e 12 dias, sendo a produção de 8,57 e 11,41 kg/dia, respectivamente para ordem de parição um e dois. Segundo esses autores, embora a caracterização da curva de lactação já esteja bem definida em animais de raças especializadas para produção de leite, o conhecimento acerca de vacas zebuínas ou mestiças sugere que as mesmas provavelmente tendem a apresentar curvas de lactação diferentes. No presente trabalho observamos comportamentos distintos entre as curvas de lactação dos grupos genéticos avaliados, assim como diferença em relação às raças puras especializadas para produção de leite.

O consumo de nutrientes por vacas em lactação, em geral, segue alguns mecanismos fisiológicos de controle, principalmente em função da produção de leite. Segundo o NRC (2001), o consumo de vacas em lactação é consequência da produção de leite relativa a cada animal, uma vez que há a necessidade de se atender às exigências energéticas para produção de leite. Assim, observa-se aumento no consumo em resposta à elevação na demanda energética durante a lactação.

Segundo este modelo, logo após o parto a ingestão de matéria seca aumenta diariamente até chegar ao ponto máximo por volta da 12^a a 14^a semana de lactação, enquanto o pico de produção de leite ocorre por volta de 4 a 6 semanas pós-parto. É importante destacar que estes dados foram obtidos em vacas especializadas da raça Holandês. Esta diferença na curva de produção de leite e ingestão de matéria seca faz com que o animal experimente, durante um período, um desequilíbrio nutricional. No presente estudo observou-se que vacas F₁ apresentaram diferenças quanto ao CMS sugerido pelo modelo NRC (2001), uma vez que o pico de consumo foi observado mais precocemente, na 8^a semana de lactação. A figura abaixo ilustra a curva de CMS obtida no terço inicial de lactação para animais de ambos os grupos genéticos.

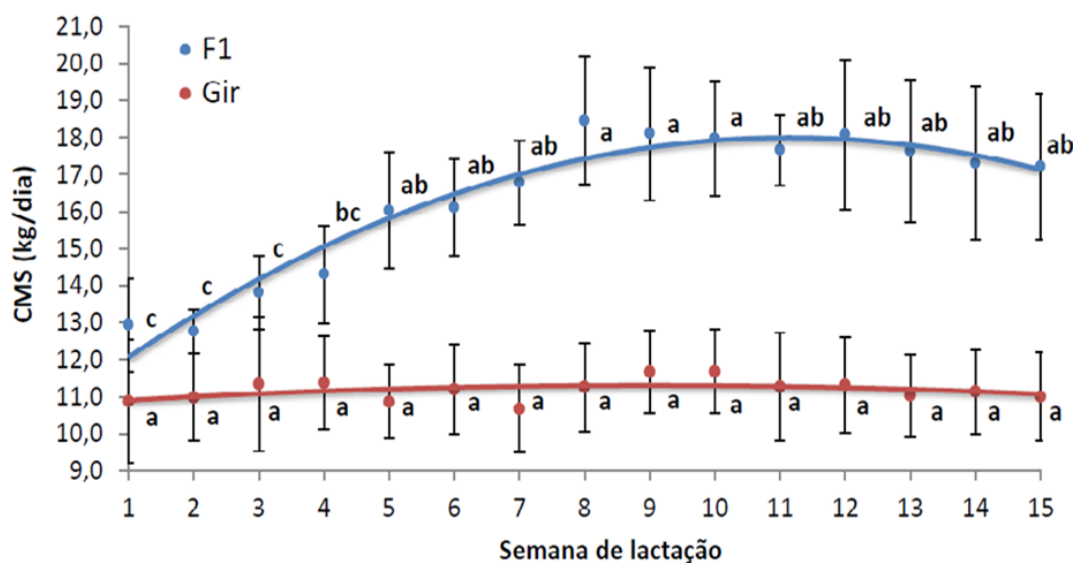


Figura 2: Consumo de matéria seca (CMS), expresso em kg/dia, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1^a a 15^a semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente ($P < 0,05$). Equações de regressão: F₁ ($y = -0,0577x^2 + 1,2858x + 10,836$; $R^2 = 0,93$) / Gir ($y = 10,93$).

Vacas F₁ tiveram CMS médio de $16,95 \pm 1,93$ kg MS/dia (3,07% PV), tendo alcançado o CMS máximo na 8^a semana de lactação, com $18,46 \pm 2,13$ kg MS/dia, equivalente a 3,52% do peso vivo, sendo 42,6% superior ao observado na primeira semana de lactação. Vacas Gir apresentaram CMS médio de $11,22 \pm 0,33$ kg MS/dia (2,45% PV) ao longo do período avaliado, não sendo observado pico de consumo neste grupo. Nas primeiras três semanas de lactação o CMS (expresso em kg/dia e % do peso vivo) foi igual entre ambos os grupos genéticos. A partir da 4^a semana de lactação o CMS foi significativamente superior para as vacas F₁ (figura 2).

Santos (2011), trabalhando com animais de três diferentes grupos genéticos (F₁ Holandês x Gir, F₁ Holandês x Guzerá, F₁ Holandês x Nelore), observou CMS máximo de 18,56 kg/dia (3,33% PV) aos 54 dias de lactação, para as vacas F₁ Holandês x Gir, resultado bem próximo ao observado no presente estudo para as vacas mestiças.

Utilizando-se as equações de predição do CMS do AFRC (1993), NRC (2001) e CSIRO (2007), observa-se pequena variabilidade entre o CMS real e o CMS predito pelos modelos, para vacas do grupo genético F₁. Ao longo de todo o período avaliado, o NRC (2001) subestimou em média 9% o CMS, enquanto os modelos do AFRC (1993) e CSIRO (2007) subestimaram em 14% o CMS. Avaliando-se o comportamento das

curvas, a equação de predição do NRC (2001) foi a que mais se assemelhou à curva de consumo real.

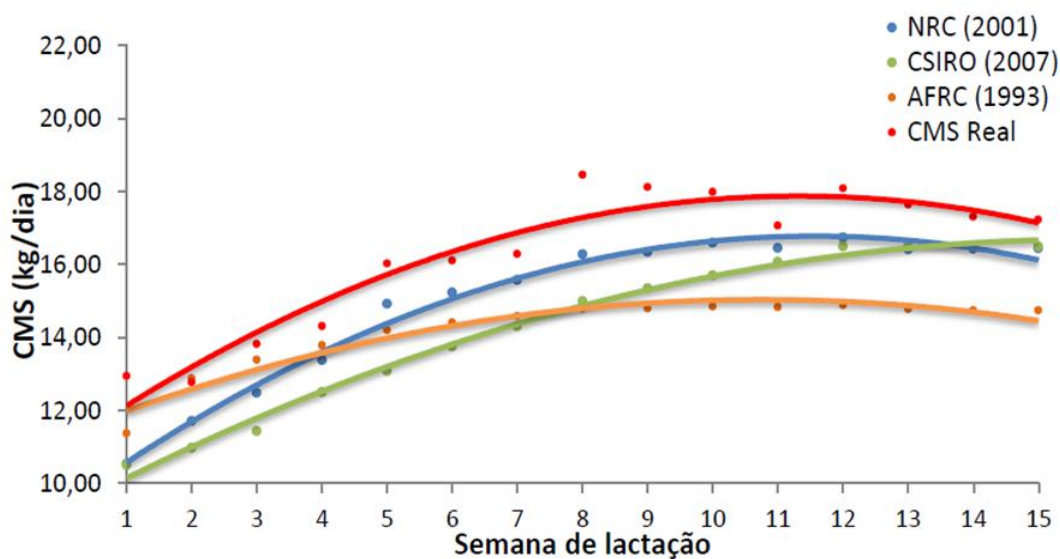


Figura 3: CMS (kg/dia) predito pelos modelos AFRC (1993), NRC (2001), CSIRO (2007) e CMS real obtido em vacas F₁ Holandês X Gir, no terço inicial de lactação.

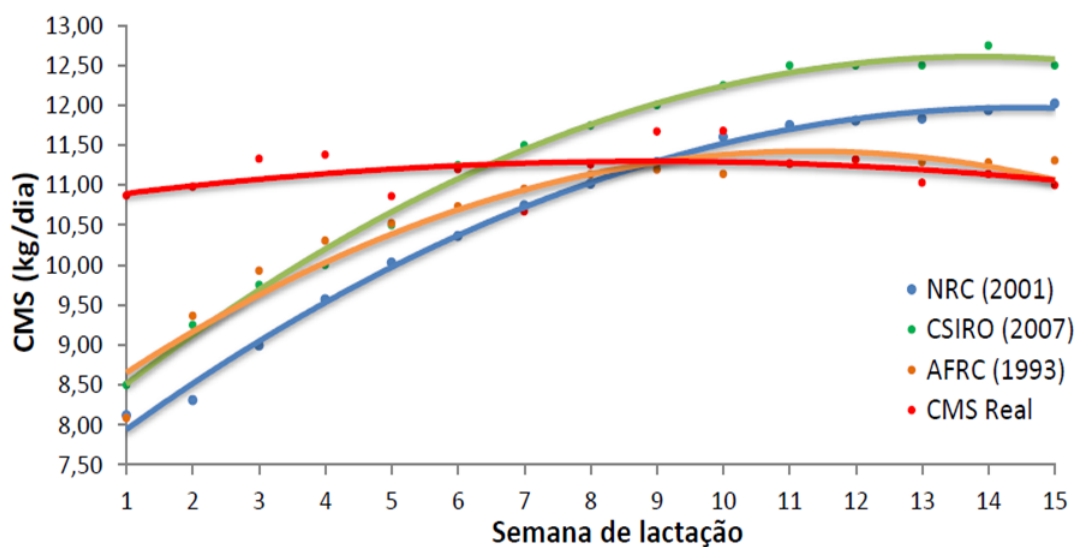


Figura 4: CMS (kg/dia) predito pelos modelos AFRC (1993), NRC (2001), CSIRO (2007) e CMS real obtido em vacas Gir, no terço inicial de lactação.

Avaliando-se as vacas do grupo genético Gir (figura 4) observa-se grande diferença entre o CMS predito pelas equações e o CMS real. Observa-se que as diversas curvas propostas pelos modelos apresentam baixa acurácia e precisão, subestimando o

CMS até a 6ª semana de lactação. A partir deste período, dentre as diversas curvas, o modelo proposto pelo AFRC (1993) apresentou maior acurácia e precisão na predição do CMS, em relação ao consumo real obtido.

Segundo Bauman & Curie (1980), em resposta ao nível de produção leiteira de cada animal, ocorre maior ou menor mobilização de reservas corporais, sendo que a maior capacidade de mobilização confere ao animal maior habilidade em produzir leite no início da lactação. A maior demanda por produção, por sua vez, eleva a necessidade de consumo de nutrientes. Ainda segundo estes autores, um controle homeorrético coordena mudanças sistemáticas no metabolismo, resultando em esquema específico de partição dos nutrientes para suportar a produção de leite.

Animais de ambos os grupos genéticos apresentaram ECC igual desde o parto ($3,65 \pm 0,22$) até a quarta semana de lactação ($3,27 \pm 0,38$). A partir da quinta semana houve diferença significativa entre os grupos, sendo o ECC maior nos animais do grupo Gir. Ao final do período avaliado (105 DEL), as vacas do grupo genético Gir apresentaram maior ECC ($4,08 \pm 0,26$) quando comparadas às vacas do grupo genético F₁ ($3,46 \pm 0,28$).

Conforme discutido anteriormente, para o grupo genético F₁, o pico de produção de leite foi obtido na 7ª semana de lactação, ao passo que o pico de CMS foi alcançado na 8ª semana. Neste período os animais apresentaram seu menor ECC ao longo do período avaliado, $2,96 \pm 0,33$ na 6ª e 7ª semana de lactação (figura 5), semelhante ao encontrado em outros trabalhos utilizando animais mestiços. Zambrano & Marques Júnior (2009) obtiveram resultados semelhantes ao avaliar o ECC de vacas Girolando, do pré-parto (ECC 3,6) ao 153º dia em lactação (ECC 3,3), sendo o menor valor obtido do 17º ao 54º dia (ECC 3,2). Freitas Júnior et al. (2008), utilizando vacas mestiças com ECC 3,71 ao parto, obtiveram os menores valores aos 50 dias de lactação (ECC 3,12), evidenciando a mobilização de reservas corporais.

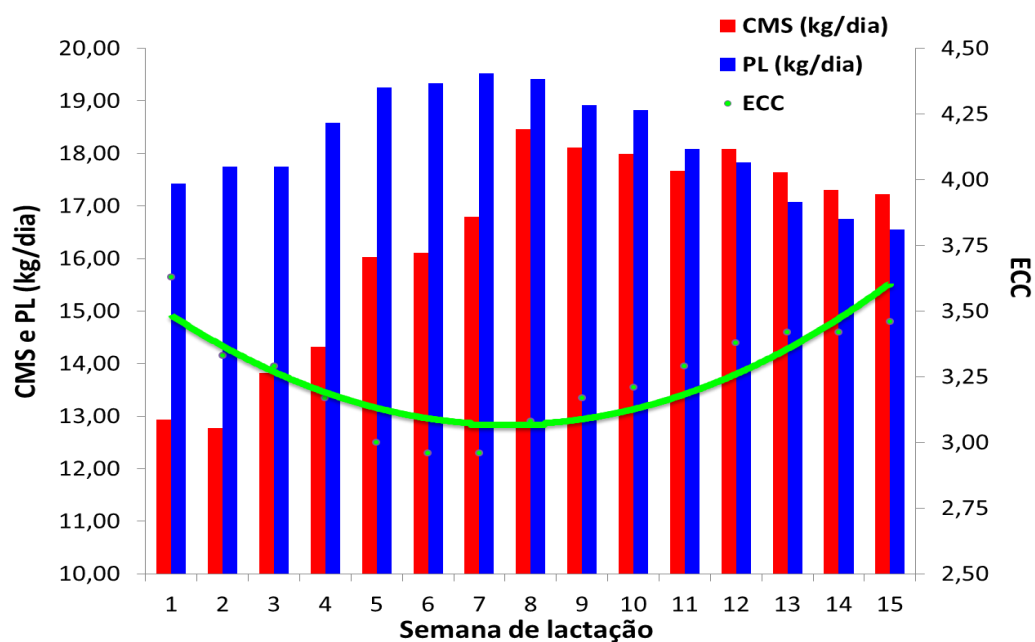


Figura 5. Consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite (PL), expresso em kg/dia, e escore de condição corporal (ECC) em vacas F₁ Holandês x Gir no terço inicial de lactação. Equação de regressão para ECC: $y = 0,0097x^2 - 0,1465x + 3,6218$; $R^2 = 0,74$.

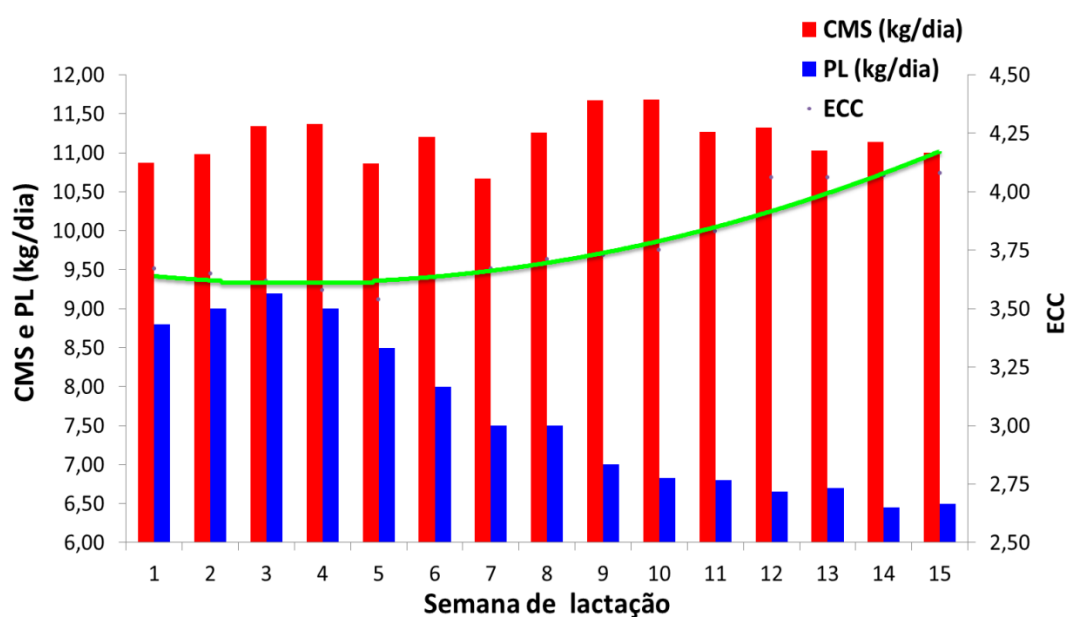


Figura 6. Consumo de matéria seca (CMS) e produção de leite (PL), expresso em kg/dia, e escore de condição corporal (ECC) em vacas Gir no terço inicial de lactação. Equação de regressão para ECC: $y = 0,0043x^2 - 0,0305x + 3,666$; $R^2 = 0,91$.

Segundo Wildman e Jones (1982), existe relação direta entre o mérito genético da vaca e o valor de alteração do ECC, pois animais de maior mérito genético mobilizam

em maior quantidade as reservas corporais para produção. Rennó et al. (2006) verificaram que vacas da raça Holandês apresentaram mobilização de reservas corporais no pós-parto em torno de - 0,80 unidade de ECC até o pico de produção, indicando maior habilidade desses animais em mobilizar reservas corporais para produção de leite. Uma hipótese para essa observação é que animais de maior mérito genético apresentam maior grau de resistência periférica dos tecidos à insulina no início da lactação, favorecendo assim a mobilização de reservas corporais e direcionamento da energia para produção de leite (Bauman & Currie, 1980).

A mobilização de reservas corporais e a consequente disponibilização de energia são relevantes no início da lactação. Utilizando-se o modelo do NRC (2001) e considerando os valores obtidos da composição média do leite ao longo do período avaliado (4,28% gordura, 3,46% proteína, 4,58% lactose), o custo energético para produção de 1 kg LCG4% é de 0,7661 Mcal para vacas mestiças. Para animais com ECC variando entre 3,0 e 3,5, segundo o NRC (2001), 1 kg de peso vivo perdido pode originar 4,89 Mcal/EL. Portanto, para os animais F₁, pela variação de peso observada nos primeiros 35 dias de lactação (- 18,2 kg), em conjunto com a variação do ECC, calcula-se que 89 Mcal de energia líquida tenham sido disponibilizados a partir das reservas corporais.

Segundo Flatt et al. (1967), a eficiência de conversão da energia oriunda da mobilização dos tecidos corporais em leite é extremamente alta, variando entre 84-86%. Segundo os autores este valor é teórico, pois não é possível mensurar diretamente a eficiência de conversão da energia proveniente dos tecidos corporais em leite, uma vez que não é possível separar a parte do leite que é produzido como consequência da mobilização ou a partir da energia da dieta.

Considerando a eficiência de 84%, para as vacas mestiças, sugere-se que nas primeiras cinco semanas de lactação a energia proveniente da mobilização das reservas corporais tenha suportado a produção de até 98 litros LCG4%, o que corresponde a quase 3 litros/dia, ou seja, aproximadamente 17% da produção diária, demonstrando a importância desse processo no aporte de nutrientes no início da lactação. De acordo com Bauman & Currie (1980), as reservas energéticas de vacas de leite estocadas na forma de gordura podem suportar até 33% da produção leiteira no primeiro mês de lactação.

De acordo com Flatt et al. (1967), entretanto, deve-se ter cautela ao interpretar as variações de peso vivo, particularmente na fase inicial de lactação, devido à falta de estimativas precisas da perda de energia oriunda dos tecidos corporais. Isso porque o aumento progressivo no CMS com o decorrer da lactação, conforme observado no presente estudo, pode concomitantemente levar ao maior enchimento do trato gastrointestinal, assim como maior tamanho do mesmo, o que por sua vez pode mascarar a real variação do peso de corpo vazio dos animais (NRC, 2001). Além disso, há a possibilidade de que uma parte da gordura corporal metabolizada seja substituída por água, podendo também interferir na real mudança do peso corporal observado (Schroder e Staufenbiel, 2006). Para contornar ou minimizar estes efeitos, é possível que a estimativa da perda de reservas corporais através da observação visual por meio de escalas seja mais apropriada, conforme proposto por Edmonson et al. (1989).

Avaliando-se o perfil metabólico observa-se que a maior mobilização de reservas corporais foi evidenciada nas vacas F₁ no início da lactação, em relação às vacas Gir. Na figura abaixo estão representadas as concentrações de AGNE ao longo do terço inicial de lactação, para vacas de ambos os grupos genéticos.

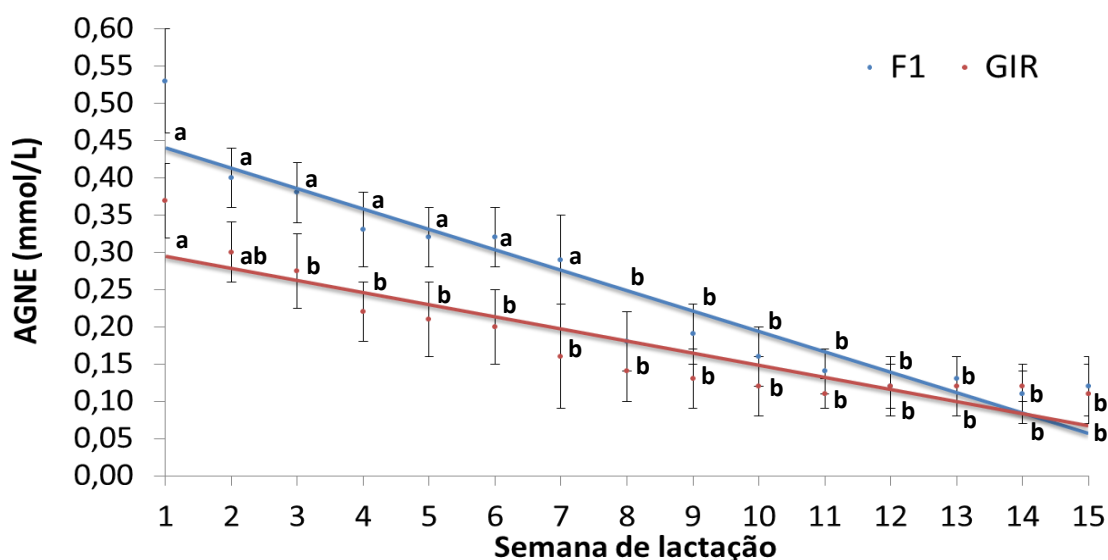


Figura 7. Concentração plasmática média de AGNE (mmol/L), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1ª a 15ª semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente ($P < 0,05$). Equações de regressão: F₁ ($y = -0,0274x + 0,4669$; $R^2 = 0,90$) / Gir ($y = -0,0163x + 0,3107$; $R^2 = 0,81$).

O período crítico de mobilização de reservas corporais ocorre logo após o parto, no início da lactação, quando normalmente se observa balanço energético negativo mais intenso, assim como maiores concentrações de AGNE (NRC, 2001; LeBlanc et al., 2005). O desequilíbrio entre as taxas de aumento da produção de leite e da ingestão de matéria seca, que ficou evidenciado na figura 5, a queda da relação insulina/glucagon, as altas concentrações de GH e a resistência periférica à insulina são fatores que contribuem para o aumento da ocorrência de lipólise e da gliconeogênese (Grummer, 1995; Ingvarsen e Andersen, 2000; Lucy et al., 2009; Park et al., 2010).

Oetzel e Goof (2008) sugerem o limiar de 0,40 mmol/L como indicativo da ocorrência de lipomobilização. Vacas F₁ tiveram concentração de AGNE acima deste valor nas duas primeiras semanas de lactação, sendo os mesmos inferiores nas semanas seguintes. Pode-se sugerir, portanto, que o período de balanço energético negativo nestes animais é inferior ao observado em trabalhos realizados com vacas de raças taurinas especializadas para produção de leite, nas quais o período de BEN pode se estender até a 20^a semana de lactação (Herdt, 2000; Taylor et al., 2003). Essa redução nas concentrações de AGNE coincide com o início da progressiva recuperação do ECC observado para as vacas mestiças.

A relação entre variação de ECC e metabolismo energético é bem descrita na literatura (Duffield et al., 2009). Com o avançar da lactação e o aumento no CMS tem-se maior aporte energético e consequentemente redução da mobilização das reservas corporais, uma vez que o consumo de energia atende às exigências de manutenção e produção. Embora a recuperação do peso vivo e ECC tenham ocorrido com maior evidência a partir da 7^a semana de lactação, sugere-se que as vacas F₁ já se encontravam anteriormente em balanço energético positivo, em vista das baixas concentrações de AGNE.

Em nenhum momento avaliado vacas Gir tiveram valores de AGNE superiores ao limiar citado, evidenciando que caso tenha ocorrido mobilização de reservas corporais, esta foi muito pequena. Esta observação está de acordo com as variações de peso vivo e escore de condição corporal observadas.

Avaliando-se a interação entre grupo genético e semana de lactação observa-se que vacas F₁ tiveram os maiores valores de AGNE nas primeiras seis semanas avaliadas, em relação às vacas Gir. Após a 7^a semana de lactação foi observada queda

significativa na concentração deste metabólito, sendo os valores obtidos iguais para ambos os genótipos avaliados.

Em trabalho nacional, Souza & Birgel Júnior (2009), avaliando vacas da raça Holandês no pós-parto encontraram concentrações de AGNE bem superiores aos do presente estudo. Os valores foram maiores nas primeiras quatro semanas de lactação ($0,72 \pm 0,4$ mmol/L) com queda gradual até a fase pós-puerperal, entre 45 e 60 dias depois do parto ($0,315 \pm 0,314$ mmol/L).

Peixoto (2011), trabalhando com vacas F_1 Holandês x Zebu (Holandês x Gir e Holandês x Guzerá) nos primeiros 65 dias de lactação, encontrou as maiores concentrações de AGNE entre o 2º e 17º DEL, semelhante ao obtido no presente estudo para vacas F_1 . Oliveira et al. (2014), trabalhando com animais mestiços com baixo escore de condição corporal ($ECC 2,6 \pm 0,5$) no periparto, obtiveram os valores máximos de AGNE nos primeiros dois dias pós-parto, com valores de $0,862 \pm 0,44$ mmol/L.

Moreira (2013), avaliando vacas mestiças pluríparas em diferentes épocas, obteve os maiores valores de AGNE no dia do parto, os quais se mantiveram até o 5º DEL, decrescendo posteriormente. Em nenhum momento avaliado, no estudo desse autor, vacas mestiças tiveram valores de AGNE acima de 0,40 mmol/L, sendo o maior valor de 0,32 mmol/dL, evidenciando baixa ocorrência de mobilização.

Não foram observadas diferenças quanto à concentração plasmática de glicose, nitrogênio ureico no plasma, proteínas totais, albumina, globulinas e creatinina entre os grupos genéticos, no período avaliado (tabela 2).

Vacas F_1 tiveram maiores concentrações de nitrogênio ureico no leite (NUL), colesterol e AST, do que as vacas Gir. Estas, por sua vez, tiveram maiores concentrações de triglicerídeos do que as F_1 , no terço inicial de lactação.

Os valores de NUP encontrados para vacas de ambos os grupos genéticos encontram-se dentro do intervalo proposto por Broderick e Clayton (1997). Valores superiores de NUL foram obtidos para as vacas mestiças, embora os valores obtidos para ambos os genótipos se encontrem dentro do intervalo proposto por Jonker et al. (1998), entre 10 e 14 mg/dL. Em trabalho nacional, Meyer et al. (2006), avaliando dados de 7.000 lactações, obtiveram o valor médio de 13,3 mg/dL.

Tabela 2: Concentração plasmática média, coeficiente de variação e valor de referência dos metabólitos sanguíneos, em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, no terço inicial de lactação

Variáveis	Grupo Genético			Valor de referência *
	F1	GIR	CV	
AGNE	0,2472 a	0,1838 b	30,67	< 0,40
NUP (mg/dL)	12,68 a	11,33 a	19,98	7,0-19,0 **
NUL (mg/dL)	12,40 a	10,89 b	16,84	10,0-14,0 ***
Glicose	66,13 a	66,79 a	6,52	45-75
Triglicerídeos	15,02 b	16,81 a	22,02	0-14
Colesterol	166,23 a	142,84 b	14,38	80-120
AST	68,49 a	58,63 b	21,42	78-132
Proteína total	7,37 a	7,40 a	7,85	6,74-7,46
Albumina	3,62 a	3,66 a	11,08	3,00-3,48
Creatinina	1,72 a	1,83 a	12,88	1,0-2,0

* Kaneko et al. (2008). ** Broderick & Clayton (1997). *** Jonker et al. (1998)

Letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente (P < 0,05)

Os maiores valores de AST obtidos para as vacas F₁ estão de acordo com os maiores valores de AGNE e a maior mobilização observada nestes animais. Não foi observada interação entre grupo genético e semana de lactação para esta enzima, que é utilizada no monitoramento do *status* energético devido a sua relação com o metabolismo hepático. González et al. (2009) consideram o valor de AST acima de 100 U/L como sugestivo de lesão hepática devido ao excesso de mobilização lipídica e esteatose. Os resultados obtidos para ambos os grupos se encontram bem abaixo deste valor, assim como abaixo do valor de referência proposto por Kaneko et al. (2008). Oliveira et al. (2014) obtiveram o valor médio de $70,36 \pm 17,51$ U/L trabalhando com vacas mestiças no início da lactação, valor próximo ao encontrado no presente estudo.

Dentre os fatores que podem aumentar a concentração sérica desta enzima está a hiperatividade do fígado, sendo uma resposta fisiológica do animal frente à necessidade de adaptação do metabolismo (González et al., 2009). Assim, sugere-se que os maiores valores obtidos de CMS e produção de leite para as vacas F₁ têm importante relação com a maior atividade hepática observada nestes animais. Neste caso, a maior atividade funcional deste órgão, associada à maior mobilização de reservas, leva ao aumento das concentrações de AST, sem, no entanto, alcançar níveis considerados patológicos.

As concentrações de colesterol encontradas para ambos os grupos genéticos foram significativamente superiores aos valores de referência propostos por Kaneko et al. (2008) e obtidos por García et al. (2011), utilizando vacas mestiças nas primeiras oito semanas de lactação (135,56 mg/dL). Por outro lado, encontram-se dentro do intervalo proposto por Souza & Birgel Júnior (2009) para animais no período pós-puerperal (após 21 dias do parto), entre $180 \pm 44,97$ mg/dL. Além do efeito de grupo genético observado ($F_1 > \text{Gir}$), a concentração de colesterol diferiu ao longo das semanas avaliadas, apresentando aumento com o decorrer da lactação, sem, no entanto, haver interação grupo genético x semana de lactação. Na figura abaixo estão representadas as concentrações de colesterol no terço inicial de lactação.

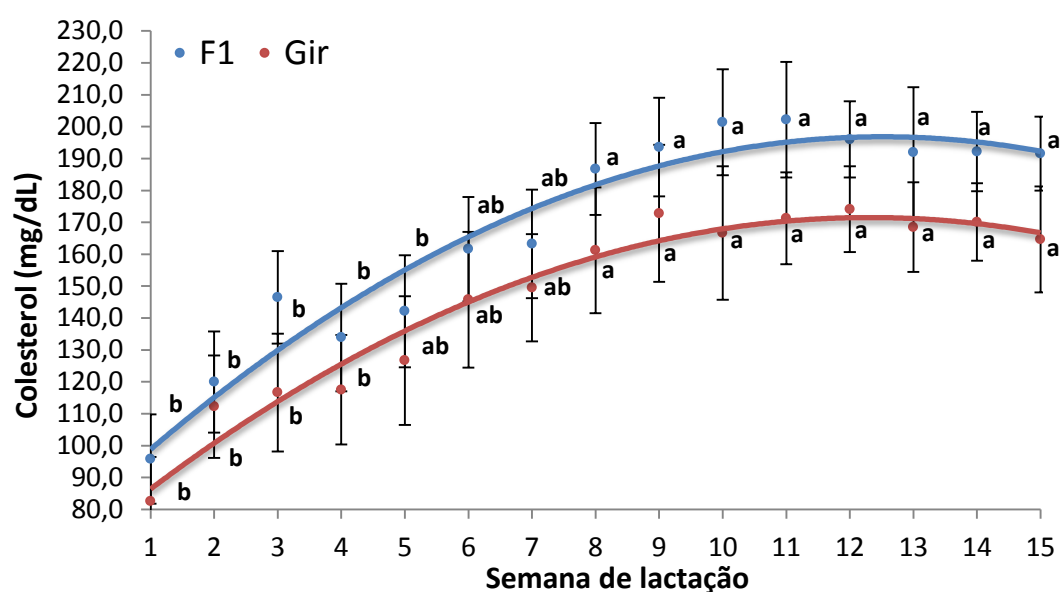


Figura 8. Concentração plasmática média de colesterol (mg/dL), em vacas dos grupos genéticos F_1 Holandês x Gir e Gir, da 1ª a 15ª semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente ($P < 0,05$). Equações de regressão: F_1 ($y = -0,7392x^2 + 18,504x + 80,99$; $R^2 = 0,94$) / Gir ($y = -0,6657x^2 + 16,39x + 70,588$ $R^2 = 0,96$).

Vacas F_1 tiveram maiores concentrações de colesterol da 8ª a 15ª semana de lactação, em relação às cinco primeiras, sendo os demais valores intermediários. De forma semelhante, vacas Gir tiveram os menores valores nas quatro primeiras semanas pós-parto, sendo os valores obtidos depois da 8ª semana de lactação superiores.

Alguns autores associam o aumento do colesterol ao melhor equilíbrio energético (Kaneko et al., 2008) obtido com o decorrer da lactação. Resultados semelhantes foram

obtidos em vários trabalhos nacionais (Souza & Birgel Júnior, 2009; García et al., 2011; Oliveira et al., 2014). Cavestany et al. (2005) sugerem que a hipercolesterolemia ao longo da lactação é uma resposta fisiológica, relacionando-se à melhora no balanço energético. Com a melhora no *status* energético, o aumento na síntese de colesterol é determinado principalmente pela maior concentração de insulina, hormônio chave na síntese deste componente.

Animais Gir apresentaram maiores concentrações de triglicerídeos, quando comparados aos animais F₁. No presente trabalho não foram observadas diferenças nas concentrações de TG em função das semanas avaliadas, apenas efeito de grupo genético.

González et al. (2009) relataram menores concentrações séricas de triglicerídeos em vacas com maiores concentrações de corpos cetônicos e AGNE. Isso pode estar relacionado com a maior quantidade de ácidos graxos que são mobilizados e direcionados para o fígado, no qual podem ser parcialmente utilizados como fonte de energia. Como resultado da capacidade limitada do fígado dos ruminantes para exportar os triglicerídeos na forma de VLDL, o armazenamento dos TG no interior dos hepatócitos pode levar a diminuição das concentrações séricas do mesmo (Dann et al., 2005). Esta baixa capacidade hepática de síntese das lipoproteínas de muito baixa densidade pode predispor a ocorrência de esteatose hepática, especialmente quando a mobilização de reservas corporais ocorre de maneira mais intensa (Kaneko et al., 2008).

Além disso, no início da lactação a glândula mamária consome grande quantidade de VLDL, forma de transporte dos triglicerídeos que são os maiores precursores lipídicos sanguíneos da síntese da gordura do leite (Blum et al., 1983). Portanto, a utilização deste componente pela glândula mamária e a maior mobilização de reserva corporal associada à menor capacidade hepática de síntese de VLDL podem justificar os menores valores encontrados de TG para as vacas F₁, em vista da maior produção de leite e mobilização observada nestes animais, quando comparados aos animais Gir.

Zambrano & Marques Júnior (2009) observaram diferenças nas concentrações plasmáticas de TG com o decorrer da lactação. O valor médio de TG ($15,18 \pm 2,85$ mg/dL) do 17º ao 78º dia foi significativamente inferior ao valor observado com mais de 110 DEL ($21,39 \pm 2,87$ mg/dL). Segundo estes autores, neste período da lactação os animais apresentam menor exigência energética, já estando em balanço energético

positivo, não sendo, portanto, esperado que ocorra maior mobilização de reservas e os efeitos citados acima.

O cálculo da eficiência alimentar para produção de leite é um método simples que pode ser utilizado para determinar a capacidade das vacas em transformar os nutrientes da dieta em leite ou seus componentes (Veerkamp et al., 1994). Avaliando-se a eficiência alimentar bruta (kg LC4%G/ kg CMS), observa-se que os animais do grupo genético F₁ apresentaram maior eficiência ($1,17 \pm 0,17$) ao longo da lactação, em relação aos animais do grupo genético Gir ($0,72 \pm 0,10$). A eficiência alimentar apresentou diferenças com o decorrer do período avaliado, em ambos os grupos.

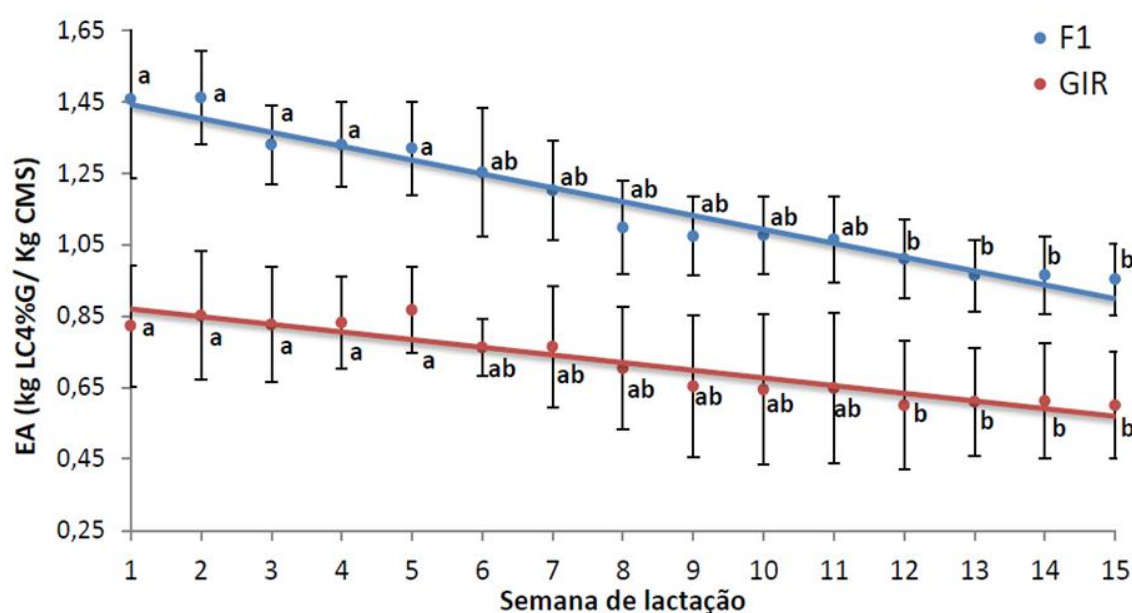


Figura 9: Eficiência alimentar (kg LC4%G/ Kg CMS), em vacas dos grupos genéticos F₁ Holandês x Gir e Gir, da 1ª a 15ª semana de lactação. Letras diferentes na mesma curva diferem estatisticamente ($P < 0,05$). Equações de regressão: F1 ($y = -0,0388x + 1,4808$; $R^2 = 0,95$) / Gir ($y = -0,0215x + 0,8917$; $R^2 = 0,88$).

A EA foi maior nas cinco primeiras semanas de lactação (F₁ $1,38 \pm 0,08$; Gir $0,84 \pm 0,01$), em relação às últimas quatro semanas avaliadas (F₁ $0,97 \pm 0,02$; Gir $0,61 \pm 0,01$), sendo os valores obtidos entre a 6ª e 11ª semanas intermediários (F₁ $1,13 \pm 0,08$; Gir $0,70 \pm 0,05$). As diferenças observadas na EA durante o período de lactação avaliado podem ser explicadas avaliando-se em conjunto as alterações observadas no peso vivo e ECC.

Nos mesmos intervalos avaliados foram obtidas diferenças quanto ao ganho e/ou perda de peso vivo e escore de condição corporal entre os grupos genéticos. Vacas mestiças, nas cinco primeiras semanas de lactação, apresentaram perda média diária de 0,520 kg, assim como perda de 0,63 pontos de ECC. Neste período os animais Gir apresentaram ganho médio diário (GMD) de 0,087 kg e nenhuma alteração no ECC. No intervalo entre a 6^a e a 11^a semana de lactação, ambos os grupos genéticos obtiveram ganho de 0,29 pontos de ECC, sendo o GMD de 0,380 kg e 0,753 kg para as vacas mestiças e Gir, respectivamente. Nas últimas quatro semanas avaliadas, o GMD foi de 0,150 kg e 0,107 kg, com ganhos de 0,17 e 0,25 pontos de ECC, para os animais F₁ e Gir, respectivamente.

O cálculo da EA bruta para produção de leite desconsidera que a energia proveniente da mobilização de reservas corporais no início da lactação possa contribuir para a produção de leite. Como descrito anteriormente, esta quantidade de energia pode suportar até 17% da produção diária para os animais do grupo F₁. Neste caso, maiores valores de EA são observados. A perda de peso das vacas F₁ supracitada pode, portanto, ter contribuído com a maior EA observada. Além disso, menor CMS ($13,97 \pm 1,31$ kg MS) foi observado neste período.

Conforme visto anteriormente, os animais do grupo Gir não apresentaram diferença no CMS ($11,22 \pm 0,33$ kg MS) ao longo de todo o período avaliado. Em virtude da PLC4%G ter sido superior nas primeiras cinco semanas de lactação, maior EA foi encontrada para as vacas Gir neste período, decrescendo com o decorrer da lactação.

O período entre a 6^a e 11^a semana de lactação caracterizou-se por redução da EA nos dois grupos genéticos. Neste período ambos os grupos apresentaram elevado GMD. De maneira inversa ao que ocorre no início da lactação, com o avançar da mesma, considerável quantidade de energia pode ser estocada nos tecidos corporais, recuperando as reservas mobilizadas na fase inicial, gerando assim menores valores de EA.

Embora as vacas mestiças tenham apresentado igual PLC4%G em relação ao primeiro período discutido acima, o CMS ($17,34 \pm 0,99$ kg) foi significativamente maior, justificando parcialmente a queda de 17,5% observada na EA. Além disso, uma fração importante da energia consumida foi direcionada para ganho de peso e

recuperação do ECC, em detrimento à produção de leite. Para os animais do grupo Gir, o mesmo CMS e a menor PLC4%G justificaram a queda de 16,6% na EA. Entretanto, é importante considerar o GMD de 0,753 kg obtido neste período, valor extremamente elevado para vacas em lactação.

Segundo o NRC (2001) a energia líquida disponibilizada para o animal é fracionada entre energia líquida de manutenção (ELm) e de produção (lactação, ganho de peso e gestação). Assumindo-se que a ELm varia pouco durante a lactação, a fração destinada ao ganho de peso pode interferir na quantidade disponível para produção de leite, afetando, portanto, o cálculo da EA. Assim como a energia proveniente da mobilização, a energia retida no ganho de peso também é desconsiderada no cálculo da EA bruta.

A partição energética entre produção de leite e ganho de peso é influenciada principalmente pelos mecanismos de controle homeorrético, que diferem ao longo da lactação. Segundo Bauman & Currie (1980), a ação hormonal determinante no início da lactação pode ser diferente da ação para manutenção da mesma, especialmente devido à prolactina. Com o avançar da lactação a ação deste hormônio na partição de nutrientes e lactogênese é menos intensa. Ou seja, no início da lactação, a prolactina em associação ao hormônio do crescimento (GH) coordena o metabolismo lipídico no tecido adiposo e fígado, reduzindo a lipogênese e aumentando a lipólise, de modo a direcionar os nutrientes para a glândula mamária. Com o avançar da lactação, o papel da prolactina torna-se menos relevante. Além disso, neste momento, as maiores concentrações de insulina determinam um estímulo à lipogênese, tanto no fígado (TG, colesterol) quanto no tecido adiposo, além da queda da lipólise. Segundo estes autores, a partição de nutrientes durante a lactação é um processo complexo.

Comparando-se o segundo período (6^a-11^a sem) com as últimas quatro semanas avaliadas, não houve diferença no CMS (17,34 x 17,56 kg CMS) para as vacas do grupo genético F₁. A PLC4%G no último período foi 12,3% menor, assim como o GMD que foi 40% inferior. Por ser uma relação direta entre produção de leite e CMS, justifica-se a redução da EA bruta neste período, uma vez que o CMS manteve-se igual e a produção de leite diminuiu. Os animais do grupo genético Gir apresentaram PLC4%G e CMS iguais entre os períodos, com redução de 85% no GMD (0,753 kg/dia x 0,107 kg/dia).

Além da taxa de ganho de peso, que pode influenciar a fração da energia disponível para produção de leite, a composição do mesmo tem fundamental importância. Segundo o NRC (2001), com o progressivo aumento do ECC maior quantidade de energia líquida é necessária para o ganho de 1 kg de peso vivo. Por exemplo, para animais com ECC entre 3,0-3,5, são necessários 5,34 Mcal de energia líquida para o ganho de 1 kg de peso vivo, enquanto que para ECC entre 3,5-4,0 e entre 4,0 e 4,5 são necessários 5,84 Mcal e 6,23 Mcal, respectivamente. Isso ocorre porque com o aumento do ECC tem-se maior porcentagem de gordura e menor porcentagem de proteína no corpo vazio, aumentando o custo energético do ganho de peso.

Portanto, sugere-se que, embora maior fração da energia líquida possa ser utilizada para ganho de peso, este será menor em virtude da maior porcentagem de gordura no ganho. Neste caso, é provável que ocorra redução na eficiência de retenção da energia nos produtos (produção de leite e ganho de peso).

A energia estocada nos tecidos corporais é de fundamental importância, particularmente nos animais do grupo genético Gir. Avaliando-se as alterações de peso e ECC nestes animais, observa-se que houve significativo ganho de peso durante o período avaliado. As vacas Gir apresentaram maior peso vivo e ECC ao final do período ($478,8 \pm 65,59$ kg e $4,08 \pm 0,34$ ECC), em relação ao início da lactação ($441,1 \pm 61,61$ kg e $3,67 \pm 0,30$ ECC). Ou seja, fração considerável da energia consumida foi direcionada para o ganho de peso, em detrimento à produção de leite, justificando-se parcialmente a menor EA obtida neste grupo.

Não foram observadas diferenças no peso vivo e ECC inicial ($535,5 \pm 68,89$ kg e $3,63 \pm 0,14$ ECC) e final ($537,5 \pm 78,94$ kg e $3,46 \pm 0,37$ ECC) para as vacas F_1 . Neste caso, as interferências da variação de peso no cálculo da EA são minimizadas avaliando-se todo o período de estudo. Entretanto, é importante destacar as variações observadas durante o terço inicial de lactação, conforme demonstrado anteriormente.

4. CONCLUSÕES

Animais do grupo genético F_1 apresentaram maior produção de leite, consumo de matéria seca e eficiência alimentar, em relação aos animais do grupo genético Gir.

Animais do grupo genético Gir apresentaram maior ganho de peso e escore de condição corporal, no terço inicial de lactação, em relação às vacas F_1 .

Vacas F₁ apresentaram maior mobilização de reservas corporais no terço inicial de lactação, sendo hábeis em utilizar esta energia para produção de leite. Vacas do grupo Gir não tiveram BEN.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.
- BAUMAN, D. E.; W. B., CURRIE. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, v. 63, p.1514–1529, 1980.
- BLUM, J. W.; KUNZ, P.; LEUENBERGER, H.; GAUTSACHI, K. et al. Thyroid hormones, blood plasma metabolites and hematological parameters in relationship to milk yield in dairy cows. *Animal Production*, v.36, p.93-104, 1983.
- BRODERICK, A.G.; CLAYTON, M. K. A statistical evaluation of animal and nutrition factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, v.80, n.11, p.2964-2971, 1997.
- C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.
- CAVESTANY, D.; BLANC, J.E.; KULCSAR, M. et al. Studies of the Transition Cow Under a Pasture-based Milk Production System: Metabolic Profiles. *Journal of Veterinary Medicine*, v.52, p.1-7, 2005.
- DANN, H.M.; MORIN, D.E.; BOLLERO, G.A. et al. Prepartum intake, postpartum induction of ketosis and preparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.88, p.3249-3264, 2005.
- DUFFIELD, T.F.; LISSEMORE, K.D.; MCBRIDE, B.W. et al. Impact of hyperketomia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, v.92, p.571-580, 2009.
- EDMONSON, A.J.; LEAN, I.J.; WEAVER, L.D. et al.. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.72, p.68-78, 1989.
- FLATT, W. P.; MOE, P. W.; MUNSON, A. W. et al. Energy utilization by high producing cows. II. *Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows*. In: *Energy Metabolism of Farm Animal*, EAAP, v.12. Warsaw, Poland. 1967.
- FREITAS JUNIOR, J.E.; ROCHA JUNIOR, V.R.; RENOÓ, F.P. et al. Efeito da condição corporal ao parto sobre o desempenho produtivo de vacas mestiças Holandês × Zebu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, p.116-121, 2008.
- GARCIA, A.M.B.; CARDOSO, F.C.; CAMPOS R. et al. Metabolic evaluation of dairy cows submitted to three different strategies to diminish the effects of negative energy balance in early postpartum. *Revista Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.31, (Supl.1), p.11-17, 2011.

- GLORIA, J. R.; BERGMANN, J. A. G.; QUIRINO, C. R. et al. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.10, p.2160-2165, 2010.
- GONZALEZ, F.; MUIÑO, R.; PEREIRA, V. et al. Indicadores sanguíneos de lipomobilização e função hepática no início da lactação em vacas leiteiras de alta produção. *Revista Ciência Animal Brasileira*, v.1, p.64-69, 2009.
- GRUMMER, R. R. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2820-2833, 1995.
- HERDT, T. H. Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 16, p. 215-230, 2000.
- HERRERA, L. G. G.; EL FARO, L.; ALBUQUERQUE, L. G. et al. Estimativas de parâmetros genéticos para produção de leite e persistência da lactação em vacas Gir, aplicando modelos de regressão aleatória. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.9, p.1584-1594, 2008.
- INGVARTSEN, K.L. e ANDERSEN, J.B. Integration of Metabolism and Intake Regulation: A Review Focusing on Periparturient Animals. *Journal of Dairy Science*, v.83, p.1573-1597, 2000.
- JONKER, J.S.; KOHN, R.A.; ERDMAN, R.A. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.81, n.10, p.2681-2692, 1998.
- KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6th ed. Academic Press, San Diego. 916p. n.3, p.495-501, 2008.
- LEBLANC, S. J.; LESLIE K. E.; DUFFIELD T. F. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 88, p. 159-170, 2005.
- LUCY, M. C.; VERKERK G. A.; WHYTE B. E.; et al. Somatotrophic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances in a pasture system *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 526-539, 2009.
- MEYER, P.M.; MACHADO, P.F.; COLDEBELLA, A. et al. Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio ureico no leite de vacas da raça Holandesa. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.1114-1121, 2006.
- MOREIRA, T. F. *Perfil metabólico de vacas leiteiras no período de transição em sistema semi-intensivo em Minas Gerais no verão e no inverno*. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- OETZEL, G.R. GOOF, J.P. Milk fever (parturient paresis) in cows, ewes, and doe goats, p.130-134. In: Andersen D.E. & Rings M. (Eds), *Current Veterinary Therapy Food Animal Practice*. 5th ed. W.B. Saunders, St Louis, 2008.
- OLIVEIRA, H. T. V.; REIS, R. B.; GLORIA, J. R. et al. Curvas de lactação de vacas F1 Holandês-Gir ajustadas pela função gama incompleta. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.1, p.233-238, 2007.
- OLIVEIRA, R. S. B. R.; MOURA, A. R. F.; PÁDUA, M. F. S. et al. Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras com baixo escore de condição corporal no periparto. *Revista Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.34, n.4, p.362-368, 2014.

- PARK, A. F.; SHIRLEY, J. E.; TITGEMEYER, E. C.; et al. Characterization of plasma metabolites in holstein dairy cows during periparturient period. *Int. Journal of Dairy Science*, v.5, n. 4, p. 253-263, 2010.
- PEIXOTO, R. T. *Perfil metabólico e hormonal de vacas F1 Holandês-Zebu durante o pré e pós-parto e sua relação com a reprodução*. 2011. 57 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- REBOUÇAS, G.F.; GONÇALVES, T.M.; MARTINEZ, M.L. et al. Novas funções para estimar a produção de leite, em 305 dias de lactação, de vacas da raça Gir. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.7, p.1222-1229, 2008.
- RENNÓ, F.P.; PEREIRA, J.C.; SANTOS, A.D.F. et al. Efeito da condição corporal ao parto sobre a produção e composição do leite, curva de lactação e mobilização de reservas corporais em vacas da raça Holandesa. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.58, n.2, p.220-233, 2006.
- SANTOS, S. A. *Curvas de lactação e consumo de vacas F1 Holandês x Zebu em pastejo e confinamento*. Tese de Doutorado em Zootecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 213p. 2011.
- SCHRODER, U. J.; STAUFENBIEL, R. Invited review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *Journal of Dairy Science*, v.89, p.1-14, 2006.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; Van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- SOUZA, R. M.; BIRGEL JUNIOR, E. H. Influência do puerpério e da fase pós-puerperal no lipidograma de vacas da raça Holandesa criadas no Estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 46, n. 1, p. 5-10, 2009.
- TAYLOR, V. J.; BEEVER, D. E.; WATHES, D. C. Physiological adaptations to milk production that affect fertility in high yielding dairy cows. Nottingham, UK: Nottingham University Press. In: *British Society of Animal Science Occasional Publication*, vol. 29, p. 37-71, 2003.
- VEERKAMP, R.F; SIMM, G.; OLHAM, J.D. Effects of interaction between genotype and feeding system on milk production, feed intake, efficiency and body tissue mobilization in dairy cows. *Livestock Production Science*, v.39, p.229-241, 1994.
- WILDMAN, O.E.E.; JONES, G.M. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science*, v.65, p. 495-501, 1982.
- WOOD, P.D.P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, v.216, p.164-165, 1967.
- ZAMBRANO, W.J.; MARQUES JUNIOR, A.P. Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras do pré-parto ao quinto mês da lactação. *Revista Zootecnia Tropical*, v.27, p. 475-488, 2009.

CAPÍTULO 5

CONSUMO, DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS NUTRIENTES, PARTIÇÃO ENERGÉTICA E PERFIL METABÓLICO DE VACAS F₁ HOLANDÊS x GIR E GIR SUBMETIDAS A DIFERENTES PLANOS NUTRICIONAIS

Resumo – Avaliou-se o consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes, partição da energia, perfil metabólico e a eficiência bioeconômica de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, submetidas a diferentes planos nutricionais. Foram utilizadas 12 vacas em lactação, vazias, sendo seis de cada grupo genético, mantidas em baias individuais recebendo silagem de milho e concentrado, conforme recomendações do NRC (2001). Durante os primeiros 105 dias em lactação (DEL) os animais receberam alimentação *ad libitum*. No 106° DEL foi imposta restrição de 15% no CMS, seguido por outra restrição de 30% no CMS, cada um com duração de 20 dias. Realizou-se ensaio de digestibilidade, seguido da mensuração da produção de calor (PC) em cada plano nutricional. Avaliou-se o perfil metabólico dos animais nos diferentes planos. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas. As restrições nutricionais não provocaram alterações na digestibilidade dos nutrientes, sendo similares entre os grupos genéticos. O CMS e energia decresceram com o aumento das restrições nutricionais, nos dois grupos avaliados, sendo superior para vacas F₁ em todos os planos nutricionais, refletindo a maior produção de leite e de sólidos. Vacas F₁ emitiram menos metano em relação à produção de leite e sólidos na restrição nutricional de 15%, em relação ao período *ad libitum*. A restrição de 15% não alterou a produção de leite, o peso vivo e condição corporal nos dois grupos. Vacas Gir tiveram maior condição corporal em todos os planos nutricionais. Vacas F₁ tiveram maior mobilização de reservas corporais na restrição nutricional de 30%, evidenciado pelo aumento dos AGNE. A restrição nutricional não alterou o perfil metabólico de vacas Gir. Melhor aproveitamento no uso do nitrogênio foi observado para as vacas F₁ com a restrição nutricional. Vacas F₁ tiveram melhor eficiência bioeconômica na restrição nutricional de 15%, podendo a mesma ser utilizada como estratégia para redução do custo alimentar.

Palavras-chave: cruzamento, eficiência, energia, metabolismo, produção de leite

1. INTRODUÇÃO

A alimentação animal representa a maior parte dos custos operacionais de produção dos sistemas de produção de leite, cuja eficiência produtiva e econômica é altamente dependente de medidas racionais de manejo alimentar dos animais. Portanto, estratégias nutricionais que visem a otimização da utilização dos nutrientes, assim como maior eficiência produtiva e ambiental devem ser melhor avaliadas.

Recentemente, diferentes trabalhos têm sido realizados avaliando desempenho, eficiência produtiva, excreção de compostos no ambiente e mudanças no metabolismo de animais submetidos a restrições nutricionais, sobretudo utilizando animais de raças taurinas especializadas para produção de leite (Gross et al., 2011; Bjerre-Harpøth et al., 2012; Ferraretto et al., 2014) . Entretanto, poucos estudos com este enfoque foram realizados utilizando-se animais mestiços e zebuínos, que compõem a base genética da produção leiteira no país (Alvim et al., 2005).

A adaptação do metabolismo animal frente às diferentes condições nutricionais e fisiológicas impostas envolve dois tipos de regulação, homeostase e homeorrese (Bauman e Currie, 1980). Uma vez que a composição bioquímica do sangue reflete de maneira confiável o equilíbrio entre o ingresso, o egresso e a mobilização dos nutrientes nos tecidos animais, destaca-se o uso do perfil metabólico (PM) para avaliar o metabolismo e o *status* nutricional (González et al., 2009).

Objetivou-se, portanto, avaliar o consumo e a digestibilidade dos nutrientes, assim como a partição da energia e o perfil metabólico e a de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, submetidas a diferentes planos e restrições nutricionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e animais utilizados

O experimento foi realizado entre dezembro de 2013 e dezembro de 2014, nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal (LAMACA) do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG. Os animais utilizados eram provenientes da Fazenda Experimental de Felixlândia (EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Foram utilizadas 12 vacas em lactação, sendo seis do grupo genético F₁ Holandês x Gir e seis do grupo genético Gir.

As vacas F₁ Holandês x Gir apresentavam peso vivo médio inicial de 535,5 ± 68,89 kg e as vacas Gir peso vivo médio inicial de 441,1 ± 61,61 kg. Os animais, por terem participado de estudo anterior avaliando suas exigências nutricionais para gestação, apresentavam uniformidade quanto à condição corporal ao parto.

O período avaliado foi do 1º ao 145º dia em lactação (DEL). Ao longo deste período, animais de ambos os grupos genéticos foram submetidos a três planos nutricionais, variando a quantidade de energia consumida diariamente. O seguinte esquema foi adotado:

- **1º-105º DEL** – Dieta fornecida *ad libitum* – **Período *Ad libitum***

- **106º - 125º DEL** – Restrição nutricional de 15% em relação à matéria seca consumida no período anterior – **Período R15**

- **126º - 145º DEL** – Restrição nutricional de 30% em relação à matéria seca consumida no período *ad libitum*; Restrição de 15% em relação à matéria seca consumida no período anterior – **Período R30**

2.2. Manejo e dieta experimental

Os animais foram manejados em regime de confinamento, em sistema “*tie-stall*”, dispondo de estrados de borracha, bebedouro e cochos individuais. Os tratamentos experimentais correspondiam aos grupos genéticos - F₁ Holandês x Gir e Gir.

A dieta era composta de silagem de milho e um concentrado à base de milho (55%) e farelo de soja (45%), além do núcleo mineral (150 gramas/dia, fornecido junto ao concentrado), calculada conforme as recomendações do NRC (2001). A relação volumoso: concentrado (65:35) foi mantida nos diferentes planos nutricionais, objetivando-se evitar que a alteração da mesma provocasse efeitos na partição da energia, assim como na eficiência de utilização da energia para as diferentes funções fisiológicas (Kirkland e Gordon, 1999).

A dieta foi fornecida duas vezes ao dia, às 7h 30 min e às 16 h 30 min, após a ordenha da manhã e da tarde, respectivamente, com sobras de 10% do ofertado no período *ad libitum*. Proporcionalmente ao consumo de matéria seca (CMS) obtido no período denominado *ad libitum*, restrições no consumo de matéria seca (CMS) de 15 (R15) e 30% (R30) foram impostas sequencialmente. A restrição foi calculada

avaliando-se o consumo de matéria seca médio de cada animal durante o período *ad libitum*.

Objetivou-se restringir apenas o consumo de energia, mantendo os demais nutrientes na dieta ofertada nas proporções recomendadas pelo NRC (2001). Para os períodos de restrição R15 e R30, quando necessário, correções do teor de PB foram feitas com a utilização de ureia, garantido assim o aporte adequado deste nutriente para o atendimento das exigências nutricionais.

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas F₁ Holandês x Gir e Gir nos planos nutricionais *ad libitum*, R15 e R30.

Variáveis	Período		
	<i>Ad Libitum</i>	R15	R30
MS	48,08	48,68	48,32
MO	94,73	94,57	94,48
PB	13,19	13,48	13,37
FDN cp	39,09	41,60	40,14
FDA	22,29	23,23	22,24
EE	3,05	2,84	3,08
NDT	71,73	71,38	69,78
CNF	36,67	34,56	35,53
CHOT	78,38	78,25	78,03
Ca	0,45	0,41	0,46
P	0,37	0,39	0,40

MS: matéria seca; MO: matéria orgânica; PB: proteína bruta; FDN cp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; FDA: fibra em detergente ácido; EE: extrato etéreo; NDT: nutrientes digestíveis totais (Sniffen et al., 1992); CNF: carboidratos não fibrosos; CHOT: carboidratos totais; Ca: cálcio; P: fósforo

O NDT foi calculado utilizando-se a equação proposta por Sniffen et al. (1992), $NDT = PBD + 2,25 \times EED + CHOTD$, sendo que PBD, EED e CHOTD correspondem respectivamente à proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos totais digestíveis.

2.3. Coleta de dados

2.3.1. Ensaio de digestibilidade aparente e balanço de nitrogênio

Durante o experimento foram realizados cinco ensaios de digestibilidade, sendo três durante o período *ad libitum* e um ensaio em cada período de restrição, para determinação da digestibilidade dos nutrientes e densidade energética da dieta. Os

ensaios de digestibilidade realizados no período *ad libitum* geraram a média dos valores utilizados para este plano nutricional.

Os ensaios de digestibilidade aparente tiveram cinco dias de duração cada, com coleta total de fezes, assim como pesagem e amostragem diária dos alimentos oferecidos e sobras (período *ad libitum*). As amostras coletadas foram identificadas e congeladas em câmara fria a -20°C para análises químicas posteriores.

2.3.2. Coleta de urina

Após a realização dos ensaios de consumo e digestibilidade aparente, foi realizada a coleta *spot* de urina dos animais. Esta foi realizada em todos os animais, iniciando-se aproximadamente quatro horas após a alimentação, sendo a amostra obtida por micção espontânea ou estimulação da área vulvar (Rosenberger, 1993).

Alíquotas de 50 mL de urina (amostra *spot*) foram obtidas de todas as vacas em cada período. A urina foi filtrada e uma alíquota de 10 mL foi imediatamente congelada para análise do teor de energia bruta da urina. Outra amostra de urina pura foi armazenada para determinação dos compostos nitrogenados totais, ureia e creatinina, sendo estes componentes determinados utilizando-se *kits* comerciais. As análises bioquímicas para determinação da ureia e creatinina foram realizadas no Laboratório de Patologia Clínica do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinárias da Escola de Veterinária da UFMG.

A estimativa do volume urinário produzido em 24 horas baseiou-se na relativa constância da excreção de creatinina, descrita por Ørskov & Macleod (1982). O volume urinário foi calculado multiplicando-se o respectivo peso corporal pela excreção diária média de creatinina (mg/kg peso vivo) e dividindo-se esse produto pela concentração de creatinina (mg/L) na urina *spot*. Para obtenção do valor da excreção diária de creatinina, adotou-se a média de 24,05 mg/kg PV, obtida por Chizzotti et al. (2007), em trabalho utilizando vacas em lactação.

O balanço de nitrogênio foi feito considerando-se as quantidades de nitrogênio ingerido, nitrogênio fecal, nitrogênio urinário e nitrogênio do leite (Silva e Queiroz, 2002). Procedeu-se o cálculo da eficiência de utilização do N, dividindo-se o N-total médio do leite pela ingestão média de N-total da dieta (Broderick, 2003).

2.3.3. Fracionamento energético, determinação da exigência de energia líquida para manutenção e lactação e eficiência de utilização da energia.

Após o ensaio de digestibilidade aparente e coleta de urina iniciaram-se os procedimentos para determinação da produção de calor (PC) dos animais na câmara respirométrica. Os procedimentos e a especificação do sistema foram descritos por Rodriguez et al. (2007).

A energia bruta ingerida (EB) pelo animal foi determinada através de combustão completa da amostra da dieta oferecida em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995), multiplicando-se pelo consumo de matéria seca (CMS). Da mesma forma, foi realizada a combustão das amostras de fezes, o que permitiu o cálculo da energia digestível (ED) disponível para o animal por diferença entre os valores de energia bruta consumida e a quantidade de energia perdida nas fezes ($ED = EB - E_{\text{fecal}}$).

Para o cálculo da energia metabolizável (EM), foram consideradas as perdas de energia associadas à urina e ao gás metano (CH_4). A perda de energia urinária foi possível pela combustão das amostras de urina utilizando-se o calorímetro adiabático, sendo este valor aplicado à produção de urina diária. A quantificação da energia perdida na forma de metano foi obtida pela mensuração em câmara respirométrica, por período de 22 horas. Considerou-se que cada litro de metano, segundo Brouwer (1965), possui equivalente calórico de 9,45 kcal. A EM foi calculada como $EM = ED - E_{\text{urina}} - E_{\text{metano}}$. A metabolizabilidade (q) da dieta foi calculada por meio da relação entre a energia metabolizável (EM) e a energia bruta (EB) ingerida (AFRC, 1993).

Para a obtenção da energia líquida (EL) da dieta, procedeu-se a mensuração da energia perdida pelo animal como calor, em câmara respirométrica. A produção de calor (PC) foi obtida utilizando-se a equação proposta por Brouwer (1965), que considera o volume de gases consumidos e produzidos pelo animal, além do nitrogênio excretado pela urina (NU). Determinam-se os volumes (em litros) de oxigênio (O_2) consumido e dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) produzidos. A partir destes valores, a produção de calor foi determinada utilizando a seguinte equação (Brouwer, 1965): $PC = (3,866 \times O_2) + (1,200 \times CO_2) - (0,518 \times CH_4) - (1,431 \times Nu)$.

A ELM foi determinada a partir da regressão entre o consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em kcal/PM e a energia excretada no leite, ajustada para um balanço energético igual a zero (AFRC,1990). Neste modelo, o intercepto representa o valor determinado para a exigência de energia líquida de manutenção (ELM), sendo a inclinação da reta o valor da eficiência de uso da energia metabolizável (EM) para lactação, Kl. Conforme proposto pelo NRC (2001), consideraram-se iguais os valores de eficiência de uso da EM para lactação (Kl) e eficiência de uso da EM para manutenção (Km). A energia metabolizável para manutenção (EMm) e a energia metabolizável para lactação (ELl) foram determinadas dividindo-se os valores de energia líquida de manutenção (ELm) e lactação (ELl) pelas suas respectivas eficiências (K).

Para determinação da energia líquida total do leite (Mcal/dia) utilizou-se a produção diária multiplicada pelo valor de energia líquida para cada kg de leite (Mcal/kg de leite). A $EL_{lactação}$ é definida como a energia contida no leite produzido, sendo calculada através da equação utilizada pelo NRC (2001), que considera os componentes do leite. $EL \text{ (Mcal/kg)} = 0,0929 * \% \text{ Gordura} + 0,0547 * \% \text{ Proteína Bruta} + 0,0395 * \% \text{ Lactose}$

Para determinação da $EL_{lactação}$ e produção de leite, as vacas foram ordenhadas duas vezes ao dia (6h 30min e 16h), sendo manejadas utilizando-se tronco de contenção, com o bezerro ao pé. Para descrição da curva de produção de leite e determinação da produção diária das vacas, assim como a composição do leite, foi realizada a ordenha total dos animais três vezes por semana, com a presença do bezerro ao pé, sem a amamentação. Nos dias de coleta foi feita a administração de 0,5 ml de ocitocina exógena (Ocitocina Sintética®, 10 UI/ml), aplicada imediatamente antes do procedimento de ordenha, por via intravenosa.

Para avaliação da composição do leite, uma vez por semana foi coletada uma amostra individual, sendo representativa das duas ordenhas (manhã e tarde). Os seguintes itens foram avaliados: proteína (%), gordura (%), lactose (%), extrato seco total (%) e extrato seco desengordurado (%). As análises foram realizadas no Laboratório de Análise da Qualidade do Leite (LabUFMG) da Escola de Veterinária da UFMG.

A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LCG4%) foi calculada pela equação: $(0,4 \times \text{kg de leite produzido}) + (15 \times \text{kg de gordura produzida})$, de acordo com NRC (2001).

O balanço de energia (BE) foi calculado como a diferença entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e a produção de calor alimentado (PCA) mais a excreção de energia líquida no leite (ELI). $BE = CEM - PCA - EL_{\text{lactação}}$

A energia líquida total (ELT) foi calculada como a soma entre a energia líquida de manutenção (ELm) e a energia retida em produtos (ERP), que considera a energia líquida do leite (ELI) mais o balanço de energia (BE). O incremento calórico (IC) foi calculado como a diferença entre o consumo de energia metabolizável (CEM) e a energia líquida total (ELT). A energia retida em produtos (ERP) foi calculada como a soma entre o balanço de energia e a energia líquida do leite, expressos em Mcal/dia.

A avaliação do escore de condição corporal (ECC) foi feita semanalmente, classificando-se os animais de 1 a 5, com subunidades de 0,25 (Edmonson et al., 1989). Os animais foram pesados duas vezes por semana, em dias consecutivos, sempre após a ordenha da manhã e antes do arração. Utilizou-se o modelo proposto pelo NRC (2001) para estimar as variações de peso vivo em função do balanço energético observado, comparando os valores estimados com os valores reais obtidos.

2.3.4. Análises bromatológicas

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG. 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, dotado de peneira com crivos de 5 mm, para confecção das amostras compostas. Foi feita uma amostra composta representativa de cada um dos ensaios de digestibilidade aparente, totalizando, portanto, uma amostra de cada alimento oferecido, das sobras e das fezes, para cada animal em cada período. Todas as amostras foram moídas em moinho “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 1 mm.

Determinaram-se MS em estufa a 105°C, matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl, extrato etéreo (EE) pelo método Soxhlet, cálcio (Ca) e fósforo (P), conforme Silva e Queiroz (2002). As análises de fibra

em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas pelo método sequencial, conforme Van Soest et al. (1991), em aparelho ANKOM com adição de amilase termoestável na determinação da FDN. A FDN corrigida (FDNcp) foi obtida descontando-se os teores de cinzas e N insolúveis em detergente neutro. Os carboidratos totais (CHOT) e carboidratos não fibrosos (CNF) foram determinados segundo equações propostas por Sniffen et al. (1992). Para estimativa dos nutrientes digestíveis totais (NDT), utilizou-se a fórmula proposta por Sniffen et al. (1992).

As energias brutas dos alimentos, fezes, sobras (apenas para o plano *ad libitum*) e urina foram determinadas através da combustão completa da amostra em bomba calorimétrica adiabática.

2.3.5. Perfil metabólico

Semanalmente foram realizadas duas coletas de sangue, por punção da veia/ artéria coccígea, utilizando-se sistema de coleta a vácuo. A coleta era realizada no início da manhã, 6 h 30 min, sempre após a ordenha e antes do arraçãoamento.

Após a coleta, os tubos foram centrifugados por dez minutos a 1600 g em centrífuga Centerbio®, sendo o soro/ plasma separado em microtubos tipo *eppendorf* (0,5 mL), que foram armazenados à - 20° C, para posteriores análises bioquímicas. As dosagens bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Patologia Clínica do Departamento de Clínica e Cirurgia da Escola de Veterinária da UFMG, utilizando-se Analisador Bioquímico Cobas Mira Plus®, a 37°C, previamente calibrado e aferido com soro controle.

Para estudo do perfil energético foram determinadas as concentrações séricas de ácidos graxos não esterificados (AGNE), glicose, triglicerídeos e colesterol. Para análise do perfil proteico foram determinadas as concentrações séricas das proteínas totais, ureia, creatinina, albumina e globulinas. Para avaliação do perfil enzimático determinou-se a concentração da enzima aspartato aminotransferase (AST).

A dosagem dos metabólitos foi feita em *kits* comerciais pelos métodos - colorimétrico (glicose, AGNE, triglicerídeos), fotométrico (colesterol, creatinina, albumina, proteínas totais), enzimático (ureia) e cinético UV-IFCC (AST).

2.3.6. Avaliação financeira e bioeconômica

O custo alimentar (CA, expresso em R\$/vaca/dia) foi calculado considerando-se os respectivos consumos individuais diários obtidos em cada plano nutricional.

A receita bruta total (R\$/vaca/dia) foi calculada em função da produção diária de leite, assim como do ganho de peso. Este último foi calculado considerando-se o valor da arroba de vaca. A eficiência bioeconômica (EBE) foi definida de forma semelhante à eficiência biológica, proposta por Vandehaar (1998), considerando-se a quantidade de alimento utilizada e a produção de leite, multiplicadas pelos respectivos valores econômicos. Foi realizado ajuste na equação, adicionando-se o valor econômico do ganho de peso. Dessa forma, a EBE foi calculada utilizando-se a equação: $EBE = 100 - (CA \cdot 100) / RBPL + RBGP$; na qual CA é o custo alimentar; RBPL é a renda bruta da produção de leite e RBGP é a renda bruta do ganho de peso.

Os preços dos insumos e dos produtos (litro de leite, arroba de vaca) foram obtidos de acordo com os dados médios mensais do ano 2014, de acordo com o CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada).

2.4. Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema em parcelas subdivididas, sendo dois fatores avaliados, grupo genético (fator da parcela) e plano nutricional (fator da subparcela). As análises de variância foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS. Verificada significância pelo teste F, para interação significativa ou não, as médias dos grupos genéticos foram comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Consumo e digestibilidade dos nutrientes

Tabela 2: Consumo (C) e digestibilidade (D) dos nutrientes em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, sob diferentes planos nutricionais

Variáveis	Grupo Genético					
	<i>Ad Lib</i>	F1 R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	GIR R 15%	R 30%
MS						
CMS total (kg/dia)	16,95 Aa	14,83 Ab	12,78 Ac	11,22 Ba	9,20 Bb	7,68 Bc
CMS (% PV)	3,25 Aa	2,86 Ab	2,50 Ac	2,48 Ba	1,97 Bb	1,67 Bc
CMS (g/ kg ^{0,75})	155,20 Aa	136,63 Ab	118,88 Ac	114,22 Ba	91,82 Bb	77,73 Bc
DMS (%)	69,85	69,72	68,60	69,94	70,20	68,90
CMSD (kg/dia)	11,82 Aa	10,36 Ab	8,77 Ac	7,85 Ba	6,45 Bb	5,27 Bc
CMSD (g/ kg ^{0,75})	108,62 Aa	95,44 Ab	81,68 Ac	79,91 Ba	64,37 Bb	53,19 Bc
MO						
CMO total (kg/dia)	16,06 Aa	14,08 Ab	12,11 Ac	10,56 Ba	8,63 Bb	7,25 Bc
CMO (% PV)	3,08 Aa	2,71 Ab	2,37 Ac	2,33 Ba	1,85 Bb	1,57 Bc
CMO (g/ kg ^{0,75})	147,03 Aa	129,77 Ab	112,66 Ac	107,50 Ba	86,13 Bb	72,94 Bc
DMO (%)	72,23	71,90	69,72	72,20	72,80	71,50
CMOD (kg/dia)	11,59 Aa	10,13 Ab	8,44 Ac	7,62 Ba	6,28 Bb	5,18 Bc
PB						
CPB (kg/dia)	2,21 Aa	1,98 Aab	1,68 Ab	1,42 Ba	1,20 Bab	1,05 Bb
DPB (%)	71,51	71,00	69,89	72,23	73,70	72,00
EE						
CEE (kg/dia)	0,52 Aa	0,41 Aab	0,40 Ab	0,35 Ba	0,28 Bab	0,25 Bb
DEE (%)	80,59	82,40	82,80	84,17	84,10	83,10
FDN cp						
CFDN cp (kg/dia)	6,47 Aa	6,33 Aa	4,86 Ab	4,30 Ba	3,82 Bab	3,18 Bb
CFDN cp (% PV)	1,24 Aa	1,22 Aa	0,95 Ab	0,96 Ba	0,82 Bab	0,70 Bb
DFDN cp (%)	60,24	60,70	57,20	58,98	59,60	57,10
CFDNcpD (kg/dia)	3,75 Aa	3,84 Aa	2,78 Ab	2,54 Ba	2,28 Bab	1,82 Bb
NDT						
CNDT (kg/dia)	12,24 Aa	10,57 Aab	8,64 Ab	7,68 B	6,25 B	5,58 B
CNDT (g/ kg ^{0,75})	112,22 Aa	97,36 Aab	79,93 Ab	78,94 Ba	62,38 Bab	55,96 Bb
CNF						
CCNF (kg/dia)	6,51 Aa	5,29 Ab	4,89 Ab	3,73 Ba	3,21 Bab	2,52 Bb
DCNF (%)	73,07	71,85	72,28	72,75	72,95	73,06

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. CNF = 1 – (%cinzas + %PB + %EE + %FDN), de acordo com Sniffen et al. (1992); NDT = % PB + % CNF + (2,25*% EE), de acordo com Sniffen et al. (1992). (P < 0,05).

Vacas do grupo genético F₁ apresentaram maior consumo de matéria seca (CMS), matéria seca digestível (CMSD), matéria orgânica (CMO) e matéria orgânica digestível (CMOD) nos três planos nutricionais, em relação às vacas Gir, quando expresso em todas as unidades. O objetivo inicialmente proposto, de se restringir sequencialmente o CMS em cada plano nutricional, foi alcançado para animais de ambos os grupos, com variações observadas na intensidade da restrição imposta. Também foram observadas diferenças no CMO, entre os três planos nutricionais, para ambos os grupos.

A restrição de 15% (R15) e 30% (R30) foi calculada com base no CMS obtido no período anterior, denominado *ad libitum* (1^o-105^o DEL). Para as vacas F₁ as restrições alcançadas foram de 12,5 e 24,6%, ao passo que para as vacas Gir as restrições foram maiores, de 18,0 e 31,5%, respectivamente para os períodos R15 e R30.

Não foram observadas diferenças quanto à digestibilidade dos nutrientes, entre os grupos genéticos e entre os planos nutricionais, assim como não houve interação grupo genético x plano nutricional. Embora tenha sido imposta uma restrição ao CMS, esta não foi suficiente para alterar a digestibilidade. Segundo Moe et al. (1965) existe uma relação direta entre o aumento no CMS e a diminuição do valor nutritivo da dieta para vacas de leite. De acordo com Van Soest (1994), o menor consumo pode ocasionar uma menor taxa de passagem, aumentando o tempo de permanência da digesta no trato gastrointestinal e resultando em melhora na digestibilidade da dieta, o que provavelmente não ocorreu no presente estudo com as restrições impostas.

O maior CMS refletiu-se no maior consumo de todos os nutrientes para as vacas F₁, em relação às vacas Gir, em todos os planos nutricionais. Em relação ao consumo de NDT, as restrições impostas foram de 13,64 e 27,61% para vacas F₁ e 18,62 e 27,34% para vacas Gir, respectivamente para os planos nutricionais R15 e R30.

Utilizando-se as equações do NRC (1989) para estimativa das exigências nutricionais no período *ad libitum*, e considerando o peso vivo médio de 525 kg e produção de 20 kg LC4%G/dia, as exigências de PB e NDT seriam de 2,18 e 10,28 kg/dia, respectivamente. O consumo de proteína bruta (CPB) obtido nesse período (2,21) foi bem próximo ao predito pelo modelo, ao passo que o consumo de NDT foi 15,6% superior. Resultados semelhantes foram obtidos nos demais planos nutricionais, considerando-se o mesmo peso vivo e projetando a produção de 17,5 e 14,5 kg/leite/dia para os planos R15 e R30, respectivamente. O CPB obtido nestes últimos (1,98 e 1,68

kg/dia) foi bem próximo ao estimado pelo modelo (R15 1,96 kg/dia; R30 1,69 kg/dia), demonstrando que as exigências de proteína foram atendidas mesmo com a restrição nutricional imposta. Em relação ao CNDT, os resultados obtidos para os planos R15 (10,57 kg/dia) e R30 (8,64 kg/dia) foram 10 e 1,6% superiores aos valores estimados pelo modelo.

Para os animais Gir, maiores diferenças foram observadas entre as predições do modelo NRC (1989) e os resultados obtidos nos diversos planos nutricionais. Para o período *ad libitum*, considerando-se o peso vivo de 450 kg e 8,5 kg LC4%G/dia, o modelo subestimou em 24,7 e 27,9% o CPB e CNDT, respectivamente. No plano nutricional R15, a subestimativa foi de 25 e 11%, ao passo que no plano R30 foi de 20,7 e 5%, respectivamente para CPB e CNDT. Os pesos vivos considerados nas estimativas foram os mesmos do período *ad libitum*, utilizando-se os valores reais encontrados da PLC4%G (R15 6,86 kg/dia e R30 5,86 kg/dia). Estes resultados demonstram a baixa capacidade do modelo utilizado em prever o consumo de nutrientes, especialmente de proteína e NDT, em vacas de menor produção leiteira do grupo genético Gir, submetidas a diferentes planos nutricionais.

Refletindo o maior CMS, vacas F₁ tiveram maiores consumo de energia bruta (CEB) e digestível (CED), em relação às vacas Gir, nos diferentes planos nutricionais. Quando expresso em kcal/PM, o CEB dos animais mestiços foi superior em 31,3, 41,1 e 47,1% para os planos *ad libitum*, R15 e R30, respectivamente. Alguns fatores explicam o maior consumo de energia por animais F₁, destacando-se a expressão da heterose individual (Mackinnon et al., 1996), assim como a maior produtividade destes animais. Segundo o NRC (2001), o consumo de nutrientes por vacas em lactação, em geral, segue mecanismos fisiológicos de controle, principalmente em função da produção de leite.

Tabela 3: Peso vivo (Kg), consumo de energia bruta (CEB) e energia digestível (CED), expressa em Mcal/dia e kcal/ kg ^{0,75}, energia nas fezes (E. Fecal), expressa em Mcal/dia e % da EB ingerida, produção de metano, expressa em litros/dia, litros/kg MS, litros/kg MOD, Mcal/dia e % da EB, energia da urina, expresso em Mcal/dia e % da EB, consumo de energia metabolizável (CEM), expresso em Mcal/dia kcal/ kg ^{0,75}, q (EM/EB) (metabolizabilidade da dieta), relação ED/EM, energia metabolizável para manutenção (EMm,) e para produção de leite (EMl), expressa em Mcal/dia

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%
Peso vivo (kg)	526,17 A	524,83	514,66	453,28 B	465,33	462,33
Energia Bruta (EB)						
CEB (Mcal/dia)	75,32 Aa	65,74 Ab	57,78 Ac	51,29 Ba	42,61 Bb	36,53 Bc
CEB (Kcal/ kg ^{0,75})	689,17 Aa	599,55 Ab	537,95 Ac	524,77 Ba	425,29 Bb	365,53 Bc
Energia Digestível (ED)						
Energia Fezes (Mcal/dia)	21,57 Aa	19,03 Aab	18,00 Ac	14,40 Ba	12,25 Bab	10,47 Bb
Energia Fezes (% da EB)	28,64%	28,95%	31,15%	28,08%	27,81%	28,66%
CED (Mcal/dia)	53,74 Aa	46,71 Ab	39,79 Ac	36,90 Ba	30,36 Bb	24,29 Bc
CED (kcal/ kg ^{0,75})	493,02 Aa	426,00 Ab	369,47 Ac	377,77 Ba	303,02 Bb	212,92 Bc
Energia Metabolizável (EM)						
CH4 (litros/dia)	527,63 Aa	379,52 Ab	375,52 Ab	337,69 Ba	250,54 Bb	212,92 Bb
CH4 (litros/kg MS)	31,12 a	25,56 b	29,49 a	27,23	28,39	27,41
CH4 (Mcal/dia)	4,99 Aa	3,59 Aab	3,55 Ab	3,19 Ba	2,37 Bb	2,01 Bb
CH4 (% EB)	6,40%	5,46%	6,17%	6,19%	5,56%	5,57%
CH4 (litros/kg MOD)	43,16 a	35,45 b	42,46 a	42,28	38,94	38,42
Energia Urina (Mcal/dia)	4,16	4,38	4,18	3,70	3,37	2,99
Energia Urina (% EB)	5,61% Bb	6,66% ab	7,30% b	7,21% Ab	7,90% ab	8,32% a
CEM (Mcal/dia)	44,60 Aa	38,74 Ab	32,06 Ac	30,07 Ba	24,82 Bb	20,37 Bc
CEM (kcal/ kg ^{0,75})	408,86 Aa	353,31 Ab	297,21 Ac	307,88 Ba	249,72 Bb	203,63 Bc
qm	0,59 a	0,59 a	0,55 b	0,59	0,58	0,56
EM/ED	0,83 a	0,83 a	0,80 b	0,81	0,81	0,83
EM manutenção (Mcal/dia)	13,51 A	13,49 A	13,28 A	11,36 B	11,59 B	11,53 B
EM lactação (Mcal/dia)	19,89 Aa	18,97 Aa	15,49 Ab	8,54 Ba	7,81 Ba	6,35 Bb

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. (P < 0,05).

Para vacas de ambos os grupos genéticos, os CEB e CED foram maiores no período *ad libitum*, decrescendo com as restrições nutricionais. As restrições impostas, em termos energéticos, foram de 13,0 e 22,0% para o CEB (kcal/PM), nos planos R15 e R30, respectivamente, em relação ao período *ad libitum*, para vacas F₁. Para as vacas

Gir, as mesmas restrições foram de 18,9 e 30,3%, em relação ao consumo no período *ad libitum*.

Em virtude do maior consumo, vacas F₁ tiveram maiores perdas energéticas na forma de fezes, em relação aos animais Gir, em todos os planos nutricionais. Entretanto, quando expresso em % da EB, a energia fecal foi igual entre todos os planos nutricionais e genótipos avaliados, sendo o valor médio de 28,71%, o que era esperado em virtude da igualdade observada na digestibilidade dos nutrientes entre os diferentes planos.

Vacas F₁ tiveram maior produção de metano (litros/dia), assim como perda de energia na forma deste gás (Mcal/dia), em relação às vacas Gir, em todos os planos nutricionais. Entretanto, quando expressa em % da EB, a perda energética foi igual entre os genótipos e planos nutricionais, sendo o valor médio de 5,89%. De acordo com Van Soest (1994), as perdas de metano encontram-se entre 5 e 12% da EB consumida. Nos dois grupos de animais, a produção de metano foi igual entre os planos restritos (R15 e R30) e inferior ao período *ad libitum*. Para vacas F₁, a redução de 12,5% no CMS foi responsável pela queda de 28% na produção de metano, entre o período *ad libitum* e R15. Quando expresso em função dos nutrientes consumidos (kg MS e Kg MOD), não foram encontradas diferenças entre os grupos genéticos. Entretanto, os valores encontrados no plano nutricional R15 em litros CH₄/kg MS (25,56) e em litros CH₄/MOD (35,45) foram inferiores aos demais planos. Embora o menor CMS possa prolongar o tempo de retenção da digesta no rúmen e assim aumentar a emissão de metano por nutriente consumido, ocorreu o inverso no presente estudo, para as vacas F₁, entre os planos R15 x *ad libitum*.

Não foram encontradas diferenças na perda de energia na urina (Mcal/dia) entre os grupos genéticos e nos diferentes planos nutricionais. Quando expresso em % da EB, para ambos os grupos, maiores perdas foram observadas na restrição de 30% (7,30% F₁ e 8,32% Gir), em relação ao período *ad libitum*, sendo os valores intermediários obtidos para a restrição de 15%.

Vacas F₁ tiveram maior CEM em todos os planos nutricionais, em relação às vacas Gir. Da mesma forma que observado para CEB e CED, animais de ambos os grupos tiveram maior CEM no período *ad libitum*. Em relação a este período, para

vacas mestiças, as restrições no CEM foram de 13,13 (R15) e 28,11% (R30). Por sua vez, para vacas Gir, as restrições no CEM foram de 17,45 (R15) e 32,22 % (R30).

Não foram observadas diferenças entre grupos genéticos para a metabolizabilidade da dieta (q). Entretanto, para vacas F₁, o valor obtido na restrição nutricional de 30% (0,55) foi inferior ao obtido nos demais períodos (0,59). De forma semelhante, menor relação EM/ED (0,80) foi obtida no plano R30, quando comparado aos demais períodos (0,83). Essas diferenças ocorreram em virtude das maiores perdas proporcionais de energia na forma de urina obtidas na última restrição, determinando menor quantidade de EM disponível, proporcional ao CEB e CED. Não foram observadas diferenças entre os planos nutricionais para vacas do grupo Gir. O NRC (2001) sugeriu o valor de 0,82, enquanto segundo o AFRC (1993) esta relação pode variar entre 0,81 a 0,86.

Para determinação dos valores de energia metabolizável de manutenção (EMm) e de lactação (EMl), utilizaram-se os valores determinados de energia líquida de manutenção (ELm) e de lactação (ELl), assim como os respectivos valores de eficiência do uso da EM para estas funções (Km e Kl). A determinação destes valores foi realizada a partir da regressão entre o CEM e a produção de leite, ajustada para o balanço energético igual a zero (AFRC, 1990). Para a ELm, os valores determinados foram considerados fixos para todos os planos nutricionais, sendo superior para vacas mestiças (88,12 kcal/PM), em relação às vacas Gir (79,39 kcal/PM) (Capítulo 3). O NRC (2001) sugeriu o valor de 80 kcal/PM, sendo encontradas variações na literatura entre 70 kcal/PM (Van Es, 1975) e 108 kcal/PM (Yan et al., 1997).

Além de diversos fatores, sabe-se que a restrição nutricional tem significativo efeito nas exigências líquidas de manutenção de um animal (Webster, 1978; Koong et al., 1985, NRC, 2001). Entretanto, objetivando-se evitar que a mobilização de reservas corporais nos animais no R15 e R30 influenciasse a produção de calor em jejum, optou-se por utilizar os valores de ELm determinados no período *ad libitum* para todos os demais planos nutricionais.

A eficiência de utilização da energia metabolizável para produção de leite (Kl) foi igual entre os genótipos, com valor médio de 0,70. Conforme sugerido pelo NRC (2001), adotou-se o mesmo valor para a eficiência de uso da EM para manutenção (Km),

uma vez que este modelo considera que não existem variações nas eficiências entre estes dois processos.

Vacas F₁ tiveram EMm 17% superior (13,42 Mcal/dia) às vacas Gir (11,49 Mcal/dia), em todos os planos nutricionais. Não foram encontradas diferenças entre os planos nutricionais, o que era esperado uma vez que não foram observadas diferenças no peso vivo. Em virtude da maior produção de leite obtida nos animais F₁, estes apresentaram maior EML, em relação às vacas Gir. Entretanto, para ambos os grupos, os valores obtidos entre os planos *ad libitum* e R15 foram iguais, sendo superiores ao plano R30.

Tabela 4: Produção de calor alimentado (PCA), expressa em Mcal/dia e kcal/ kg^{0,75}, energia líquida do leite, expressa em Mcal/kg/leite, energia líquida para lactação (ELl) e manutenção (ELm), expressas em Mcal/dia, produção de leite em kg/dia, incremento calórico da dieta (IC), expresso em Mcal/dia, kcal/ kg^{0,75}, Mcal/kg MS e % EB, energia retida (ER), energia retida em produtos (ERP) e energia líquida total (ELT), expressas em Mcal/dia e consumo de energia líquida total em múltiplos da manutenção (x manutenção)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%
Energia Líquida (EL)						
PCA (Mcal/dia)	30,61 Aa	27,12 Ab	25,66 Ab	21,44 Ba	17,91 Bb	17,04 Bb
PCA (Kcal/PM)	279,46 Aa	247,33 Ab	237,32 Ab	218,80 Ba	179,43 Bb	171,69 Bb
EL Leite (Mcal/kg leite)	0,7660	0,7512	0,7401	0,7911	0,7887	0,7810
EL lactação (Mcal/dia)	14,23 Aa	13,57 Aa	11,09 Ab	5,85 Ba	5,31 Ba	4,35 Bb
Produção de leite (kg/dia)	18,57 Aa	17,83 Aa	15,00 Ab	7,43 Ba	6,73 Ba	5,58 Bb
EL manutenção (Mcal/dia)	9,67 A	9,65 A	9,50 A	7,78 B	7,94 B	7,90 B
IC (Mcal/dia)	20,78 Aa	17,47 Ab	16,16 Ab	13,80 Ba	10,86 Bb	9,88 Bb
IC (Kcal/PM)	189,90 Aa	159,32 Ab	149,20 Ab	140,75 Ba	108,39 Bb	99,70 Bb
IC (Mcal/kg MS)	1,22	1,18	1,26	1,23	1,18	1,28
IC (% EB)	27,59%	26,57%	27,96%	26,91%	25,48%	27,05%
BE (Mcal/dia)	0,23 Ba	-1,51 Ba	-4,69 Bb	2,84 Aa	1,60 Aa	-1,02 Ab
ERP (Mcal/dia)	14,46 Aa	11,62 Aa	6,40 Ab	8,69 Ba	6,91 Ba	3,33 Bb
ELT (Mcal/dia)	24,13 Aa	21,27 Aa	15,90 Ab	16,47 Ba	14,85 Ba	11,23 Bb
x Manutenção	2,50 Aa	2,20 Ab	1,65 Ac	2,12 Ba	1,87 Bb	1,42 Bc

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. (P < 0,05).

Vacas F₁ tiveram maior produção de calor alimentadas (PCA) em todos os períodos, em relação às vacas Gir. Para ambos os grupos genéticos, maior PCA foi observada no período *ad libitum*, que foi 15% (F₁) e 23% (Gir) superior em relação aos planos restritos, que não tiveram diferenças entre si. Essa superioridade ocorreu principalmente em função do maior CMS e consequente maior produção de calor oriunda dos processos digestivos e metabólicos. Segundo Agnew e Yan (2000), existe uma alta correlação entre o nível de ingestão de energia e a produção de calor do animal.

Quando a PCA foi expressa em % do CEM, não foram observadas diferenças entre grupos e entre os planos nutricionais *ad libitum* e R15, sendo o valor médio de 70,52%, dentro do intervalo proposto por Yan et al. (1997), entre 66 e 73%. Entretanto, no plano nutricional R30 os valores foram superiores, sendo o valor médio de 81,84% para ambos os grupos genéticos. Comparando-se com a redução imposta ao CMS, observa-se convergência dos resultados obtidos para PCA. Para vacas F₁, o plano R15 teve redução de 12,5% no CMS, determinando redução da PCA em 11,5%, ao passo que no plano R30 a redução de 24,6% no CMS determinou menor PCA em 15,0%. Para vacas Gir, as reduções do CMS e da PCA foram similares no plano R15, 18%. No plano R30, a redução de 31,5% no CMS resultou em PCA 21,5% inferior ao plano *ad libitum*.

Não foram observadas diferenças quanto à energia líquida do leite (Mcal/kg), entre grupos e entre os planos nutricionais, sendo o valor médio de 0,7697 Mcal/kg leite. Não foram observadas diferenças na composição do leite, sendo a composição média para ambos os grupos genéticos de 4,22, 3,58, 4,64 e 13,2% de gordura, proteína, lactose e extrato seco total, respectivamente. Gross et al. (2011) não encontraram diferenças quanto à concentração de gordura no leite com a restrição nutricional de 30% em vacas da raça Holandês no terço médio de lactação. Esses autores, entretanto, observaram diminuição da proteína do leite com o decréscimo no fornecimento de proteína no período restrito, suportando resultados de outros trabalhos que encontraram os mesmos efeitos (Rohrmoser e Kirchgessner, 1982; Carlson et al., 2006). Segundo estes últimos, o menor aporte de energia reduz a produção de proteína microbiana, assim como o aporte de proteína metabolizável, influenciando a quantidade de proteína no leite. Como o objetivo inicial do presente estudo era a restrição nutricional somente de energia, assegurou-se que o consumo de PB diário atendesse às exigências de ambos

os grupos genéticos mesmo na restrição nutricional. Utilizando-se as estimativas do NRC (1989) para as exigências de PB, observou-se que a mesma foi atendida (tabela 2).

Em relação aos sólidos do leite, a relação gordura: proteína pode ser usada como um indicativo do balanço energético negativo. Heuer et al., (1999) sugerem o intervalo de 1,35 a 1,50, sendo que valores além destes podem indicar risco de deficiência energética. A relação média (1,18) encontrada no presente estudo encontra-se abaixo do limite inferior, semelhante ao resultado obtido no estudo de Gross et al. (2011), que tiveram valores inferiores nas primeiras cinco semanas de lactação, assim como na restrição nutricional imposta no terço médio de lactação.

Vacas F₁ tiveram maior exigência de energia líquida para lactação em todos os planos nutricionais, em relação às vacas Gir, refletindo a maior produção de leite. A restrição nutricional de 15% não alterou a produção de leite para ambos os grupos genéticos, em relação ao período *ad libitum*. A produção média das F₁ foi 18,20 kg/dia nos planos *ad libitum* e R15, valor 21,3% superior ao obtido no plano nutricional R30 (15 kg/dia). Ou seja, para estes animais, a redução de 12,5% no CMS não foi suficiente para alterar a produção de leite. Para vacas Gir, a produção média obtida nos dois primeiros planos nutricionais foi 27% superior em relação à produção no plano R30. Não foram observadas diferenças para a ELM entre os planos nutricionais, para ambos os genótipos avaliados. Vacas F₁ apresentaram superioridade de 22% na ELM (9,60 Mcal/dia), em relação às vacas Gir (7,87 Mcal/dia).

Os resultados obtidos nos diferentes níveis de consumo impostos ilustram bem o “efeito de diluição da manutenção”, definido por Bauman et al. (1985). Quando expresso em porcentagem do consumo de energia metabolizável observaram-se grandes diferenças na partição da energia entre lactação e manutenção, considerando-se apenas essas duas funções. Nas vacas F₁, os planos *ad libitum* e R15 apresentaram igualdade quanto à partição da energia, sendo 32,9% da EM consumida destinada à lactação e 23,3% destinada à manutenção. No plano R30, a EM destinada às funções de manutenção representou quase 30%, ao passo que a fração da energia destinada à produção de leite foi de 34,5%. Entretanto, é importante considerar que uma fração da energia utilizada foi proveniente da mobilização de reservas corporais observada nestes animais no plano R30. As alterações de peso vivo e escore de condição corporal serão discutidas adiante.

Para vacas Gir, a fração da EM destinada à lactação foi semelhante entre os diferentes planos nutricionais, sendo o valor médio de 20,73%. Por sua vez, a proporção da EM destinada às funções de manutenção aumentou de 25,87% (*ad libitum*) para 38,78% (plano R30), sendo o resultado intermediário obtido no plano R15 (32%).

Vacas F₁ tiveram incremento calórico 23,5% superior no período *ad libitum*, quando comparado aos demais planos nutricionais, que foram iguais. Resultado semelhante foi obtido para vacas Gir, com superioridade de 33% no período *ad libitum*, em relação aos demais. Quando expresso em função da MS e energia bruta consumida, não foram observadas diferenças entre os grupos genéticos e planos nutricionais, sendo os valores médios de 1,22 Mcal/kg MS e 27,03% da EB. Este valor encontra-se próximo ao sugerido por Van Soest (1994), segundo o qual o IC pode representar de 20 a 30% da energia bruta ingerida para animais em manutenção e até 30% para animais em lactação.

Vacas Gir tiveram BE mais positivo em todos os períodos, em relação às F₁. De forma semelhante para ambos os grupos genéticos, o BE foi igual entre os planos *ad libitum* e R15, sendo o BE negativo mais intenso no plano R30. Vacas de ambos os grupos genéticos tiveram maior ERP nos planos *ad libitum* e R15, em relação ao plano R30. Em todos os planos avaliados, maior ERP foi obtida para vacas F₁, principalmente em virtude da maior produção de leite.

Refletindo as maiores exigências de ELM e ERP, vacas F₁ tiveram maior ELT nos diferentes planos nutricionais avaliados, em relação às vacas Gir. Quando o consumo de ELT foi expresso em múltiplos das exigências diárias de manutenção, observa-se que o objetivo inicial das restrições nutricionais foi alcançado, sendo o mesmo decrescente de acordo com o aumento da restrição nutricional imposta. Em todos os planos avaliados, vacas F₁ tiveram maior consumo de energia líquida, em relação às vacas Gir.

Na figura 1 estão ilustradas as perdas proporcionais da energia bruta consumida em animais de ambos os grupos genéticos, nos planos nutricionais avaliados.

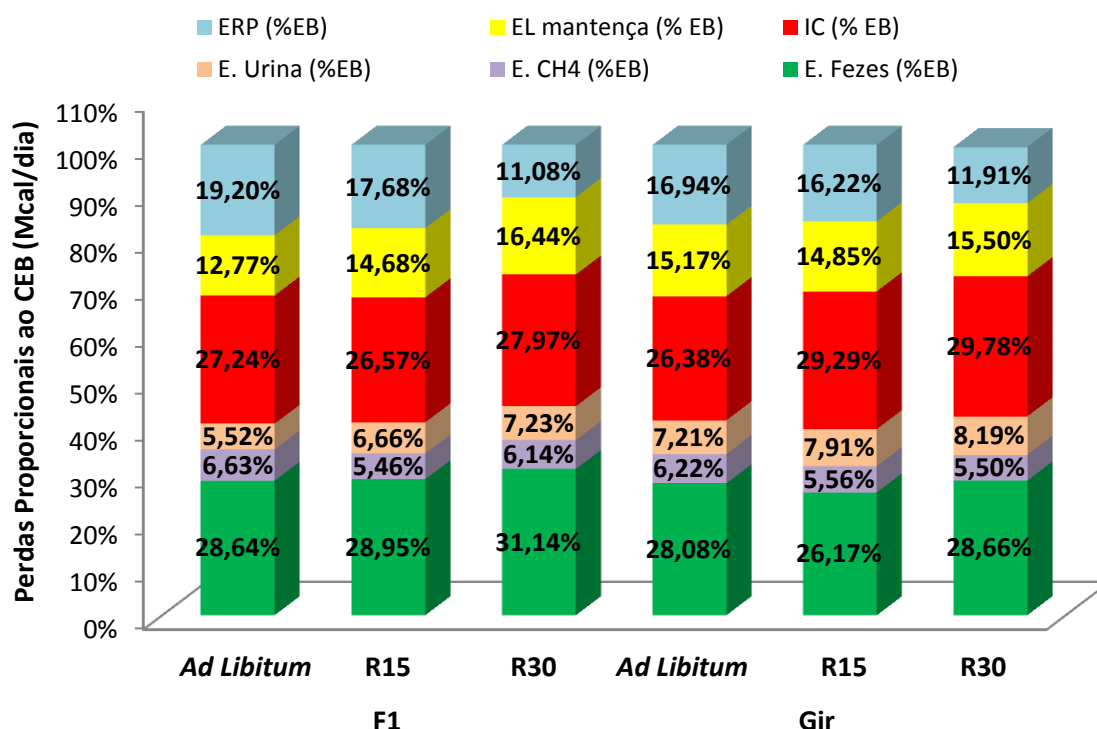


Figura 1. Perdas proporcionais, em relação ao consumo de energia bruta (CEB), de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir, nos planos nutricionais avaliados

Vacas F₁ e Gir apresentaram igual produção de leite corrigida para gordura e produção de sólidos totais, entre os planos *ad libitum* e R15, sendo superiores ao plano R30. É importante destacar que as reduções de 12,5 (F₁) e 18% (Gir) no CMS no plano R15, em relação ao período *ad libitum*, resultaram na redução de apenas 6,87 e 9,65% na produção de leite corrigida, indicando que os animais tiveram um melhor aproveitamento dos nutrientes com a primeira restrição nutricional imposta. Em relação ao plano R30, as reduções observadas no CMS (24,5% F₁ e 31,46% Gir) resultaram na queda da produção de leite em 22,6 e 25,6%, respectivamente para vacas mestiças e Gir.

Ferraretto et al. (2014) avaliaram o perfil metabólico e hormonal de vacas em lactação submetidas a diferentes restrições nutricionais. Utilizando vacas holandesas no terço médio de lactação, os autores promoveram restrições de 25 e 50% no CMS anterior, obtido em período de alimentação *ad libitum*. Esses autores observaram queda na produção de leite de 11% na restrição de 25% e 23% na restrição nutricional de 50%.

A produção de leite observada em vacas no terço médio de lactação submetidas a restrições nutricionais de 30 e 50% foram respectivamente 17 e 22% inferiores em relação ao grupo alimentado *ad libitum* (Lapierre et al., 1995; Velez e Donkin, 2005).

Em recente revisão, Ferraretto et al. (2013) reportaram a redução de 0,9 kg de leite por cada kg de redução no CMS.

Gross et al. (2011) avaliaram o desempenho produtivo e as respostas metabólicas de vacas submetidas a balanço energético induzido, semelhante ao realizado no presente estudo. Esses autores promoveram uma restrição energética de 30% em relação às exigências durante 21 dias, iniciando na 12ª semana de lactação. A restrição imposta promoveu a redução de apenas 10% na produção de leite, valor inferior ao obtido no presente estudo. Entretanto, houve significativa perda de peso vivo e ECC ($-0,16 \pm 0,03$). Segundo esses autores, fatores como idade, genótipo e mérito genético podem influenciar na resposta de vacas de leite submetidas ao balanço energético induzido.

Tabela 5: Balanço de energia real (Mcal/dia), variação de peso vivo observada (kg/dia), energia retida em produtos (ERP, Mcal/dia), variação de peso vivo e balanço de energia estimados pelo NRC (2001)

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%
ECC	3,25 B	3,25 B	3,10 B	3,78 A	3,86 A	3,75 A
BE Real (Mcal/dia)	0,23 Ba	-1,51 Ba	-4,69 Bb	2,84 Aa	0,19 Aab	-1,02 Ab
Δ PV Real (kg/dia)	0,030 a	-0,080 a	-0,897 Bb	0,372 a	0,201 a	-0,104 Ab
ERP (Mcal/dia)	14,46 Aa	11,62 Aa	6,40 Ab	8,69 Ba	5,50 Bb	3,33 Bb
Δ PV Calculado *	0,039	-0,296	-0,920	0,486	0,033	-0,200
BE Calculado *	0,18	-0,41	-4,57	2,17	1,17	-0,53
EA	1,13 A	1,20 A	1,16 A	0,70 B	0,77 B	0,76 B

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. * Calculado de acordo com os valores sugeridos pelo NRC (2001) para variação da energia líquida com ganho ou perda de peso, em diferentes condições corporais (tabelas 2-4 e 2-5, páginas 24 e 25, capítulo 2 – Energia – NRC 2001). ($P < 0,05$).

Não foram observadas alterações no ECC para animais dos dois grupos genéticos entre os diferentes planos nutricionais. Em todos os períodos avaliados, maior ECC foi obtido para vacas Gir. Provavelmente devido ao curto período de restrição imposto, esta não foi suficiente para modificar a condição corporal dos animais entre os diferentes planos nutricionais. Além disso, maior balanço energético negativo foi observado apenas na restrição nutricional de 30%, não sendo, entretanto, suficiente para causar alterações no ECC. Em relação ao BE obtido nos diferentes planos, observa-se que

vacas do grupo Gir tiveram valores negativos somente com a restrição mais severa (30%), ao passo que para as vacas mestiças o BEN foi observado nos dois períodos restritos, sendo superior no plano R30.

O NRC (2001) sugere valores para o conteúdo energético de tecidos mobilizados ou depositados, em diferentes condições corporais. Comparando-se os valores estimados pelo modelo com os resultados observados de variação do peso vivo, estimativas do balanço energético foram realizadas. Nos animais F₁, observou-se grande proximidade entre os resultados observados (BE +0,23 e - 4,69 Mcal/dia) e estimados (BE +0,18 e -4,57 Mcal/dia), para os planos nutricionais *ad libitum* e R30, respectivamente. Maiores diferenças foram observadas para as vacas Gir.

Vacas F₁ não variaram o peso vivo nos planos *ad libitum* e R15. Entretanto, expressiva perda de peso (-0,897 kg/dia) foi observada na restrição nutricional de 30%. Resultados semelhantes foram obtidos no trabalho de Gross et al. (2011), que reportaram significativa perda de peso (1,09 kg/dia) em vacas da raça Holandês submetidas à restrição nutricional. Vacas Gir, por sua vez, apresentaram ganho médio de 0,286 kg/dia nos dois primeiros planos, sendo observada perda de 0,104 kg/dia na restrição de 30%.

De acordo com Agnew e Yan (2000), o balanço de energia nem sempre está relacionado com a variação de peso vivo em vacas de leite. Beever et al. (1998) reportaram que vacas de alto mérito genético estiveram em BEN até a 20^a semana de lactação, embora o peso vivo tenha ficado estável após a 5^a semana. Segundo Flatt et al. (1967), deve-se ter cautela ao interpretar as variações de peso vivo, particularmente em vacas em lactação, devido à falta de estimativas precisas da perda de energia oriunda dos tecidos corporais. Além disso, o maior ou menor enchimento ruminal pode provocar grandes variações na interpretação destas alterações. Segundo esses autores, para contornar ou minimizar estes efeitos, é recomendável que a estimativa da perda de reservas corporais através da observação visual por meio de escala seja mais apropriada.

Nota-se que a interpretação das alterações no peso vivo e na condição corporal de vacas leiteiras submetidas à restrição nutricional é um processo complexo, sobretudo avaliando-se animais zebuínos e seus cruzamentos, visto que não existem estudos relacionando condição e composição corporal destes animais, sobretudo em fêmeas com aptidão leiteira.

Os valores sugeridos de disponibilização de energia a partir da mobilização de reservas corporais são variáveis. O CSIRO (2007) considera que 1 kg de perda de peso vivo disponibilize 5,5 Mcal de energia líquida, para animais de raças europeias. Segundo o AFRC (1993) este valor é de 4,54. Sabe-se que a condição corporal influencia a quantidade de energia disponibilizada a partir do tecido mobilizado. O NRC (2001) propõe o ajuste de acordo com o ECC, sugerindo o valor de 4,89 Mcal EL/kg, para vacas com ECC entre 3,0 e 3,5. Entretanto, ressalta que durante a restrição a perda de peso vivo é uma consequência da redução do CMS e do menor enchimento ruminal.

Utilizando-se os valores propostos pelo NRC (2001) e a variação de peso vivo observada para as vacas F_1 no plano R30, a energia líquida disponibilizada neste período foi de 4,38 Mcal/dia. A eficiência de conversão da energia oriunda da mobilização dos tecidos corporais em leite é extremamente alta, variando entre 84-86% (Flatt et al., 1967). Segundo esses autores este valor é teórico, uma vez que não é possível separar a parte do leite que é produzido como consequência da mobilização ou a partir da energia da dieta. Considerando a eficiência de 84%, 3,67 Mcal EL/dia foram disponibilizados para produção de leite, para as vacas mestiças no plano R30. O custo energético para produção de 1 kg de LC4%G foi de 0,7401 Mcal. Portanto, sugere-se que a mobilização de tecido e a disponibilização de energia tenha suportado a produção de quase 5 litros de leite/dia, o que representa 33% da produção diária obtida no mesmo período, demonstrando a habilidade destes animais mestiços em utilizar as reservas corporais para produção leiteira. A figura abaixo ilustra a partição da energia líquida entre manutenção, lactação e tecido corporal para animais de ambos os grupos genéticos, nos diferentes planos nutricionais.

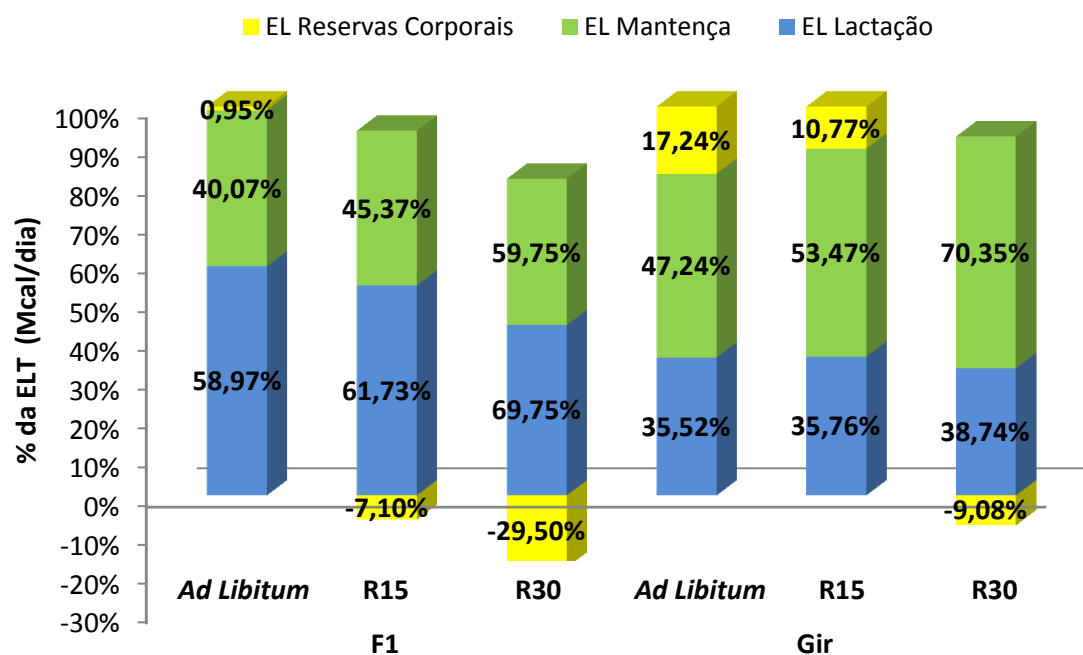


Figura 2. Proporção da energia líquida total (ELT), em vacas F₁ Holandês x Gir e Gir submetidas a diferentes planos nutricionais

Comparando-se os diferentes planos nutricionais, observa-se que vacas mestiças e Gir tiveram significativo BEN no plano nutricional R30. Para vacas Gir, significativa parte da energia líquida foi direcionada para ganho de reservas corporais nos planos *ad libitum* e R15.

Em relação à eficiência alimentar, vacas F₁ apresentaram superioridade em todos os planos avaliados, em relação às vacas Gir. Não foram observadas diferenças entre os planos nutricionais, para ambos os grupos genéticos. Entretanto, deve-se ter cautela ao interpretar os valores de EA bruta para produção de leite, sobretudo em relação ao plano R30, uma vez que este cálculo desconsidera a energia proveniente da mobilização de reservas corporais (tabela 5). Ou seja, além da energia fornecida pela dieta, a energia disponibilizada a partir da mobilização de tecido corporal pode ser utilizada para produção de leite, superestimando assim os valores de eficiência alimentar.

Tabela 6: Produção de metano, expressa em kg/dia, produção de leite corrigida para 4% de gordura (PLC4%G), produção de sólidos totais (ST), expressa em kg/dia, relação kg CH₄ x kg sólidos totais, relação litros CH₄ x litros LC4%G (LCH₄/ LC4%G) e relação metano produzido (g CH₄) por kg de leite

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%
CH ₄ (kg/dia)	0,377 Aa	0,271 Ab	0,268 Ab	0,241 Ba	0,179 Bb	0,152 Bb
PLC4% Gordura	19,20 Aa	17,88 Aa	14,86 Ab	7,88 Ba	7,12 Ba	5,86 Bb
ST (kg/dia)	2,44 Aa	2,33 Aa	1,94 Ab	1,01 Ba	0,95 Ba	0,75 Bb
kg CH ₄ / kg ST	0,154 Ba	0,116 Bb	0,138 Bab	0,238 Aa	0,188 Ab	0,202 Aab
LCH ₄ / LLC4% G	27,65 Ba	21,32 Bb	25,38 Bab	44,16 Aa	35,18 Ab	37,94 Aab
g CH ₄ / Kg leite	19,63 Ba	15,16 Bb	18,05 Bab	30,61 Aa	25,14 Ab	25,95 Ab

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. (P < 0,05).

Vacas F₁ e Gir tiveram maior produção de metano (g/dia) no período *ad libitum*, do que nos planos R15 e R30, que foram similares entre si. Em todos os planos nutricionais avaliados, vacas F₁ tiveram maior produção de metano do que vacas Gir.

Avaliando-se o metano produzido em função da produção de leite corrigida, assim como de sólidos totais, observou-se melhor relação para o plano nutricional R15, quando comparado ao plano *ad libitum*, para ambos os grupos, sendo os valores do plano R30 intermediários. Ou seja, na restrição nutricional de 15% menor quantidade de metano foi produzida em relação aos produtos gerados, resultando em menor emissão deste gás de efeito estufa (GEE) em relação aos produtos.

Os diferentes planos nutricionais impostos provocaram alterações no perfil metabólico das vacas F₁, ao passo que não foram observadas diferenças para as vacas Gir (tabela 7). Não foram observadas diferenças nas concentrações plasmáticas de glicose, proteínas totais, albumina, creatinina e globulinas entre os diferentes planos nutricionais, para ambos os grupos genéticos. Embora tenha sido imposta uma restrição nutricional energética, a glicemia dos animais de ambos os grupos manteve-se constante, sendo o valor médio de 67,34 mg/dL, evidenciando a eficiência dos mecanismos de manutenção da homeostase energética nestes animais. Segundo Kaneko et al. (2008), o valor de referência para este metabólito é entre 45-75 mg/dL, sem

diferenciar entre animais de diferentes faixas etárias e condições fisiológicas. Souza (1997) realizou estudo para determinação do perfil bioquímico sérico de bovinos das raças Gir, Girolando e Holandês, em diferentes faixas etárias e estádios fisiológicos, criados no Estado de São Paulo. Esse autor estabeleceu que o valor de referência para a concentração plasmática de glicose seria de $67,7 \pm 1,35$ mg/dL para vacas adultas lactantes.

Tabela 7. Concentração plasmática de ácidos graxos não esterificados (AGNE), expressa em mmol/L, nitrogênio ureico no plasma (NUP), nitrogênio ureico no leite (NUL), glicose, triglicerídeos e colesterol, expresso em mg/dL e aspartato aminotransferase (AST), expresso em U/L, para vacas F₁ Holandês Gir e Gir em diferentes planos nutricionais

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	Ad Lib	R 15%	R 30%	Ad Lib	R 15%	R 30%
AGNE	0,2472 b	0,2212 b	0,3668 Aa	0,1838	0,1784	0,2147 B
NUP	12,68 b	13,53 ab	14,63 Aa	11,33	11,82	12,02 B
NUL	12,40 A	12,98 A	13,08 A	10,89 B	11,04 B	10,95 B
Glicose	66,13	71,52	66,33	66,79	67,96	65,32
Triglicerídeos	15,02 Ba	14,88 Ba	13,12 Bb	16,81 A	17,12 A	16,44 A
Colesterol	168,23 Aa	172,45 Aa	153,45 Ab	142,84 B	146,61 B	141,12 B
AST	68,49 Ab	73,10 Ab	91,16 Aa	58,63 B	61,12 B	63,42 B

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. ($P < 0,05$).

Vacas F₁ tiveram maiores valores de AGNE no plano R30, quando comparados aos demais planos, assim como em relação às vacas Gir. Estas, por sua vez, não tiveram diferenças quanta a este metabólito entre os diferentes planos nutricionais. Os maiores valores encontrados de AGNE para vacas F₁ evidenciam o maior BEN a que estes animais estavam submetidos. Em virtude das maiores exigências de energia para manutenção e lactação, o déficit energético imposto aos animais deste grupo pela restrição nutricional foi superior, resultando em maior mobilização de reservas corporais. O valor observado no plano R30 (0,3866 mmol/L) encontra-se próximo ao limiar sugerido por Oetzel e Goof (2008) como indicativo da ocorrência de lipomobilização, de 0,40 mmol/L. O valor alcançado no plano R30 encontra-se abaixo do valor de AGNE obtido no período *ad libitum* (0,2472 mmol/L), que representa a média do 1 ao 135° DEL. Resultados semelhantes foram obtidos por Gross et al. (2011), comparando o perfil

metabólico e desempenho de vacas submetidas a BEN induzido por restrição nutricional, conforme realizado no presente estudo, com o BEN fisiológico que ocorre no período de transição. Na restrição nutricional esses autores encontraram aumento das concentrações de AGNE até 0,27 mmol, valor bem inferior ao observado no BEN no início da lactação (0,90 mmol/L). Segundo esses autores, uma hipótese provável seria que as alterações metabólicas que ocorrem frente a um BEN induzido são diferentes em relação às respostas que são observadas no BEN fisiológico que ocorre no período de transição.

Bjerre-Harpøth et al. (2012) avaliaram o desempenho e perfil metabólico de vacas em lactação submetidas a restrições nutricionais em diferentes estádios da lactação, reportando queda da glicemia e aumento na concentração de AGNE com a restrição nutricional. Segundo esses autores, vacas no início da lactação utilizam diferentes estratégias para suprir as necessidades de nutrientes, em relação a vacas no meio e final da lactação submetidas a restrições nutricionais. De acordo com Bauman e Currie (1980), diferenças nas ações hormonais podem influenciar estas respostas, particularmente devido à ação da insulina e prolactina.

Ferraretto et al. (2014), avaliando o perfil metabólico de vacas em lactação submetidas a diferentes restrições nutricionais, observaram queda nas concentrações de insulina e glicose com as restrições impostas, assim como aumento das concentrações de AGNE, observando também significativa variação no peso vivo e ECC. Este aumento nas concentrações de AGNE foi anteriormente observado em outros trabalhos avaliando a restrição nutricional em vacas secas (Rodrigues et al., 2011), no início da lactação (Chagas et al., 2008) e terço médio da lactação (Velez e Donkin, 2005).

Refletindo a maior mobilização e os maiores valores de AGNE, vacas F₁ tiveram maior concentração de AST no plano nutricional R30, assim como superioridade em relação aos valores obtidos para as vacas Gir. Esta enzima é utilizada no monitoramento do *status* energético devido a sua relação com o metabolismo hepático. Dentre os fatores que podem aumentar sua concentração está a hiperatividade do órgão, sendo uma resposta fisiológica do animal. Além disso, o excesso de mobilização lipídica também pode ocasionar o aumento desta enzima. Segundo González et al. (2009), valores acima de 100 U/L podem ser indicativas de lesão hepática. Os dados obtidos no

presente trabalho encontram-se dentro dos valores de referência para este componente, entre 78-132 U/L (Kaneko et al., 2008).

Vacas F_1 tiveram maiores valores de NUL em todos os planos nutricionais avaliados, em relação às vacas Gir. Maiores concentrações de NUP foram obtidas por vacas F_1 no plano R30, em relação aos demais planos nutricionais, assim como quando comparadas às vacas Gir. Esta superioridade dos valores de NUP pode indicar que maior quantidade de aminoácidos provenientes da mobilização das reservas corporais foram utilizadas para produção de energia ou participado da gliconeogênese. Segundo Lomax e Baird (1983), em situações de BEN outros compostos assumem significativa importância na gliconeogênese, tais como os aminoácidos, lactato e o glicerol.

Vacas Gir apresentaram maiores concentrações de triglicerídeos (TG) do que as F_1 em todos os planos nutricionais. Estas, por sua vez, tiveram maiores concentrações de colesterol nos diferentes planos nutricionais. Para vacas F_1 , os valores de triglicerídeos e colesterol no plano R30 foram inferiores aos demais planos.

Segundo Cavestany et al. (2005), a síntese de colesterol é diretamente relacionada ao *status* energético do animal, uma vez que a insulina é o hormônio chave na síntese deste componente. Em relação aos triglicerídeos, González et al. (2009) relataram menores concentrações deste componente em vacas com maiores concentrações de corpos cetônicos e AGNE, o que pode estar relacionado com a maior quantidade de ácidos graxos que são mobilizados e direcionados para o fígado, onde podem ser parcialmente utilizados como fonte de energia. De acordo com Dann et al. (2005), o fígado tem uma capacidade limitada para exportar os TG, podendo levar ao armazenamento destes no interior dos hepatócitos e conseqüentemente diminuição das concentrações plasmáticas do mesmo.

Tabela 8. Nitrogênio ingerido (N ing), expresso em g/dia, nitrogênio fecal (N fecal), nitrogênio urinário (N urinário) e no leite (N leite), expresso em g/dia e % do N ingerido, eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite (Eficiência N_{leite}), balanço de nitrogênio (g/dia), nitrogênio retido em produtos (NR produtos) e % do nitrogênio total retido

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%	<i>Ad Lib</i>	R 15%	R 30%
N ingerido (g/dia)	354,0 Aa	308,00 Aab	269,0 Ab	240,0 Ba	197,0 Bab	161,0 Bb
N fecal (g/dia)	98,81 Aa	89,12 Aab	79,16 Ab	65,70 Ba	55,50 Bab	49,62 Bb
% N ingerido	27,91%	28,94%	29,43%	27,38%	28,17%	30,82%
N urinário (g/dia)	128,22 A	115,82 A	111,62 A	84,88 B	74,12 B	70,18 B
% N ingerido	36,22% b	37,60% b	41,49% a	35,37% b	37,62% b	43,59% a
N leite (g/dia)	102,26 Aa	98,18 Aa	82,61 Ab	44,10 Ba	37,32 Bab	32,08 Bb
Eficiência N leite	0,289 Ab	0,319 Aa	0,307 Aab	0,184 B	0,189 B	0,199 B
Balanço Nitrogênio	24,71 Ba	4,88 Bb	-4,39 Bc	45,32 Aa	30,06 Ab	9,12 Ac
NR produtos	126,97 Aa	103,06 Ab	78,22 Ac	89,42 Ba	67,38 Bb	41,20 Bc
% Total N retido	35,87% a	33,46% a	29,08% b	37,26% a	34,20% a	25,59% b

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os planos nutricionais no mesmo grupo genético. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma linha diferem entre os grupos genéticos avaliados no mesmo plano nutricional. ($P < 0,05$).

Vacas de ambos os grupos genéticos tiveram maior consumo de nitrogênio no plano *ad libitum*, em relação ao plano R30, sendo os valores obtidos no plano R15 intermediários. Em todos os planos avaliados, vacas F₁ tiveram maior ingestão de nitrogênio, em virtude do maior consumo de PB. Refletindo o maior consumo, a perda de nitrogênio nas fezes ocorreu de forma similar, sendo os valores obtidos no plano *ad libitum* superiores. Entretanto, quando expresso em % do N ingerido, não foram observadas diferenças entre grupos genéticos e planos nutricionais, sendo o valor médio de 28,77%.

Vacas F₁ tiveram maior perda de N urinário do que as Gir em todos os planos nutricionais avaliados. Não foram observadas diferenças entre os planos nutricionais para os dois grupos genéticos. O N ingerido no plano R30 foi 24 e 33% inferior em relação ao ingerido no plano *ad libitum*, respectivamente para vacas F₁ e Gir. Entretanto, a perda de N urinário foi igual entre os planos nutricionais. Possivelmente, na restrição de 30%, a mobilização das reservas corporais e o catabolismo proteico desencadeado pelo déficit energético disponibilizaram mais aminoácidos para a produção de energia e gliconeogênese. Esse processo catabólico, por sua vez, pode

gerar maior excreção de compostos orgânicos (esqueletos de carbono) na urina, aumentando o teor energético desta.

Quando expresso em % do N ingerido, as perdas de N urinário foram maiores na restrição mais intensa, do que nos demais planos, para os dois grupos genéticos, sendo o valor médio de 42,5%. Somando-se as perdas de N fecal e urinário observa-se a relevância dessas formas de excreções, sobretudo se considerarmos seus possíveis impactos negativos sobre o ambiente. Para os planos *ad libitum* e R15, a soma da excreção média fecal e urinária foi 64,8%, igual para os dois grupos, ao passo que no plano R30 esta perda foi de 72,66%, superior ao valor máximo sugerido para vacas de leite por Tamminga (1992), de 70%.

Refletindo a maior produção de leite, maior excreção de N no leite foi observada para vacas F₁ nos planos *ad libitum* e R15 (100,2 g/dia), em relação ao plano R30 (82,6 g/dia). Em todos os planos avaliados, vacas Gir tiveram menores excreções de N no leite do que as F₁. Avaliando-se a eficiência de conversão do nitrogênio ingerido em nitrogênio do leite, vacas mestiças tiveram superioridade no plano R15 (0,319), em relação ao período *ad libitum* (0,289), sendo o valor intermediário obtido no plano R30 (0,307). O resultado obtido no plano R15 encontra-se bem acima do valor médio de 0,270 proposto na meta-análise de Chase (2003), avaliando dados de 62 estudos. Vacas Gir não diferiram entre os planos nutricionais quanto à eficiência de conversão do N ingerido em leite.

Para ambos os grupos genéticos o balanço de nitrogênio foi mais positivo no plano nutricional *ad libitum*, decrescendo à medida que as restrições nutricionais foram impostas. Vacas Gir tiveram maior balanço de nitrogênio em todos os planos, em relação às vacas mestiças, uma vez que este cálculo deste desconsidera o N excretado no leite e considera principalmente o N que é retido nos tecidos corporais. Refletindo o maior balanço, a retenção do N em produtos foi superior no plano *ad libitum*, decrescendo gradativamente com as restrições nutricionais. A retenção de N em produtos considera o N excretado no leite, observando-se, portanto, superioridade em todos os planos nutricionais para vacas F₁, em relação às Gir. Em relação à eficiência total de retenção do N em produtos, superioridade foi observada nos planos *ad libitum* e R15, com valor médio de 35,2% em relação ao plano R30 (27,3%), sem haver diferenças entre os grupos genéticos.

Objetivando-se comparar financeiramente os resultados obtidos com as diferentes estratégias nutricionais, cálculos foram realizados para determinação da receita bruta menos os custos alimentares (RMCA), conforme proposto por Rennó et al. (2008), assim como avaliação da eficiência bioeconômica (EBE), conforme proposto por Vandehaar (1998) (tabela 10). Visto que os grupos genéticos diferem quanto à partição da energia entre produção de leite e ganho de peso, considerou-se no cálculo, além da produção de leite, o ganho de peso das vacas Gir, remunerando o mesmo de acordo com os valores da arroba de vaca.

Tabela 9. Custo alimentar (R\$/animal/dia), receita total (R\$/animal/dia), receita menos custo alimentar (RMCA, R\$/dia) e eficiência bioeconômica (EBE) de vacas F₁ Holandês x Gir e Gir em diferentes planos nutricionais

Variáveis	Grupo Genético					
	F1			GIR		
	Ad Lib	R 15%	R 30%	Ad Lib	R 15%	R 30%
Custo alimentar	R\$ 9,40	R\$ 8,22	R\$ 7,09	R\$ 6,22	R\$ 5,10	R\$ 4,26
Receita Total	R\$ 18,57	R\$ 17,83	R\$ 15,00	R\$ 10,21	R\$ 8,22	R\$ 5,58
RMCA	R\$ 9,17	R\$ 9,61	R\$ 7,91	R\$ 3,99	R\$ 3,13	R\$ 1,32
EBE	49,40	53,89	52,76	39,11	38,02	23,65

Custo alimentar: total gasto com alimentação, R\$/dia. Valores considerados no cálculo: silagem de milho: R\$ 0,40/ kg MS; concentrado: R\$ 0,84/ kg MS; R\$ 1,00/litro de leite; R\$ 110,50 /@ vaca/ Fonte: CEPEA

Vacas F₁, em virtude do maior CMS, tiveram custo alimentar no período *ad libitum* 14,4 e 32,6% superior ao das restrições nutricionais de 15 e 30%. Avaliando-se a RMCA, melhor resultado foi obtido no plano nutricional R15, assim como melhor EBE, em relação ao plano *ad libitum*. Quanto maior o valor de EBE, maior o percentual de receita e menores os custos com alimentação, portanto, mais favorável é o resultado. Em relação ao plano *ad libitum*, vacas F₁ tiveram melhora de 9% na eficiência bioeconômica. Os valores obtidos de EBE nas diferentes restrições nutricionais são bem próximos. Entretanto, conforme visto anteriormente, o plano nutricional R30 resultou em expressiva perda de peso e ECC nos animais deste grupo, o que não é desejável, visto que esta perda de condição corporal pode provocar efeitos negativos na eficiência reprodutiva dos animais.

Vacas Gir tiveram melhores resultados no plano *ad libitum*, em relação aos demais planos. Valores muito próximos de EBE foram observados entre os planos *ad libitum* e R15, com redução significativa na restrição de 30%. Para vacas dos dois grupos genéticos, a fração do custo alimentar relacionada ao uso de concentrado na dieta foi de 53%, sendo o restante relacionado ao volumoso.

4. CONCLUSÕES

Vacas F₁ tiveram maior CMS e energia em todos os planos nutricionais, refletindo a maior produção de leite. As diferentes restrições nutricionais impostas não alteraram a digestibilidade dos nutrientes, em ambos os grupos genéticos.

Vacas F₁ tiveram maiores alterações no perfil metabólico com a restrição nutricional, evidenciando a mobilização de reservas corporais. A restrição nutricional não alterou o perfil metabólico em vacas do grupo Gir.

Vacas F₁ tiveram melhor eficiência bioeconômica na restrição nutricional de 15%, quando comparado ao plano *ad libitum*, assim como menor emissão de metano por kg de sólidos totais e leite produzido.

A restrição nutricional de 15% não alterou a produção de leite, o peso vivo e o ECC em ambos os grupos genéticos, em relação ao período *ad libitum*, podendo ser utilizada como estratégia de redução do custo alimentar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, R. E.; T. YAN. The impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science*, v.66, p.197–215, 2000.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official methods of analysis*. 16th. Washington: AOAC, 1995, 2000p.
- ALVIM, M. J, PACIULLO, D. S. C, CARVALHO, M. M. et al. 2005. Sistema de produção de leite com recria de novilhas em sistemas silvipastoris. <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteRecriadeNovilhas/racas.htm>. Acessado em 12 de Dezembro de 2015.
- BAUMAN, D. E.; CURRIE, W. B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science*, v.63, p.1514–1529. 1980.

- BAUMAN, D. E.; McCUTCHEON, S.; STEINHOURET, W. et al. "Sources of variation and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cow: a review." *Journal of Animal Science*, v.60, p.583-592, 1985.
- BEEVER, D.E.; HATTAN, A.J.; REYNOLDS, C. K. et al. Nutrient supply to high-yielding dairy cows. In: M.G. Diskin (Ed.). *Proceedings....Fertility in the High Producing Dairy Cow*. BSAS Occasional Symposium No. 26, vol. 1, p.119–132, 1999.
- BJERRE-HARTOPH, V.; FRIGGENS, N. C.; THORUP, V. M. et al. Metabolic and production profiles of dairy cows in response to decreased nutrient density to increase physiological imbalance at different stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, v.95, p.2362-2380, 2014.
- BRODERICK, G.A. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.86, n.4, p.1370-1381, 2003.
- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proceedings...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.
- CARLSON, D. B.; LITHERLAND, N. B.; DANN, H. M. et al. Metabolic effects of l-carnitine infusion and feed restriction in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.89, p.4819–4834, 2006.
- CAVESTANY, D.; BLANC, J. E.; KULCSAR, M. et al. Studies of the Transition Cow Under a Pasture-based Milk Production System: Metabolic Profiles. *Journal of Veterinary Medicine*, v.52, p.1-7, 2005.
- CHAGAS, L. M.; GORE, P. J. S.; GRAHAM, G. et al. Effect of restricted feeding and monopropylene glycol postpartum on metabolic hormones and postpartum anestrus in grazing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, v. 91, p.1822–1833, 2008.
- CHASE, L.E. Nitrogen utilization in dairy cows – what are the limits of efficiency? *Proceedings...Cornell Nutr. Conf., Syracuse, NY. Cornell University*, p.233-244, 2003.
- CHIZZOTTI, M. L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Consumo, digestibilidade e excreção de ureia e derivados de purinas em vacas de diferentes níveis de produção de leite. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.1, p.138-146, 2007.
- DANN, H. M.; MORIN, D. E.; BOLLERO, G.A et al. Prepartum intake, postpartum induction of ketosis and preparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.88, p.3249-3264, 2005.
- EDMONSON, A. J., LEAN, J., WEAVER, L., et al. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal Dairy Science*, v.72, p.68-78,1989.
- FERRARETTO, L. F.; CRUMP, P. M.; SHAVER, R. D. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, v.96, p.533–550, 2013.
- FERRARETTO, L. F.; GENCOGLU, H.; HACKBART, K. S. et al. Effect of feed restriction on reproductive and metabolic hormones in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 97, p. 754-763, 2014.

- FLATT, W. P.; MOE, P. W.; MUNSON, A. W. et al. Energy utilization by high producing cows. II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. In: *Energy Metabolism of Farm Animal*, EAAP, v.12. Warsaw, Poland. 1967.
- GONZÁLEZ, F.; MUIÑO, R.; PEREIRA, V. et al. Indicadores sanguíneos de lipomobilização e função hepática no início da lactação em vacas leiteiras de alta produção. *Ciência Animal Brasileira*, Supl.1, p.64-69, 2009.
- GROSS, J.; VAN DORLAND, H.A.; BRUCKMAIER, R.M. et al. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *Journal of Dairy Science*, v.94, p.1820-1830, 2011.
- HEUER, C.; SCHUKKEN, Y. H.; DOBBELAAR, P. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, v.82, p.295–304, 1999.
- KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; & BRUSS, M.L. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6° ed. Academic Press, San Diego. 916p. 2008.
- KIRKLAND, R. M.; GORDON, F. J. The metabolisable energy requirement for maintenance and the efficiency of use of metabolisable energy for lactation and tissue gain in dairy cows offered a straw / concentrate ration. *Livestock Production Science*, v.61, p.23–31, 1999.
- KOONG, L.J.; FERREL, C.L.; NIENABER, J.A. Assessment of interrelationships among levels of intake and production, organ size and fasting heat production in growing animals. *Journal of Nutrition*, n.115, v.10, p.1383-1390, 1985.
- LAPIERRE, H., PELLETIER, G.; ABRIBAT, T. et al. The effect of feed-intake and growth hormone-releasing factor on lactating dairy-cows. *Journal of Dairy Science*, v. 78, p.804–815, 1995.
- LOMAX, M. A.; BAIRD, G. D. Blood-flow and nutrient exchange across the liver and gut of the dairy cow—Effects of lactation and fasting. *British Journal of Nutrition*, v. 49, p.481-496, 1983.
- MACKINNON, M.J.; THORPE, W.; BAKER, R.L. Sources of genetic variation for milk production in a crossbred herd in the tropics. *Animal Science*, v.62, p.5-16, 1996.
- MOE, P.W.; REID, J.T.; TYRREL, H.F. et al. Effect of level of intake on digestibility of dietary energy by high-production cows. *Journal of Dairy Science*, v. 48, p.1053–1061. 1965.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1989. 158p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2001. 381p.
- OETZEL, G. R.; GOOF, J. P. Milk fever (parturient paresis) in cows, ewes, and doe goats, p.130-134. In: Andersen D.E. & Rings M. (Eds), *Current Veterinary Therapy Food Animal Practice*. 5th ed. W.B. Saunders, St Louis, 2008.
- ØRSKOV, E.R.; MACLEOD, N.A. The determination of the minimal nitrogen excretion in steers and dairy cows and its physiological and practical implications. *British Journal of Nutrition*, v.47, p.625-636, 1982.

- RENNÓ, F. P.; PEREIRA, J. C.; LEITE, C. A. M. et al. Eficiência bioeconômica de vacas de diferentes níveis de produção de leite por lactação e estratégias de alimentação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.4, p.765-772, 2008.
- RODRIGUES, R. O.; TREVISANUTO, C.; COOKE, R. F. et al. Effects of body weight loss on serum progesterone concentrations of non-lactating dairy cows. *Theriogenology* 75:131–137, 2011.
- RODRÍGUEZ, N.M; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.2, p.495-500, 2007.
- ROHRMOSER, G.; KIRCHGESSNER, M. Milk yield and milk ingredients of cows with undersupply in energy followed by realimentation. *Zuchtungskunde Journal*, v.54, p.276–287, 1982.
- ROSENBERGER, G. *Exame clínico dos bovinos*. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993. C. 8, p. 229 – 240.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos* (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; Van SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- SOUZA, P. M. *Perfil bioquímico sérico de bovinos das raças Gir, Holandesa e Girolanda, criados no Estado de São Paulo – influência de fatores de variabilidade etários e sexuais*. 1997. 168 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- TAMMINGA, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, v.75, p.345-357, 1992.
- VAN ES, A. J. H. Feed evaluation for dairy cows. *Livestock Production Science*, v.2, p.95–107. 1975.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v.74, n.9, p.3583 – 3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. London: Comstock Publishing Associates, 1994. 476p.
- VANDEHAAR, M. J. Efficiency of nutrient use and relationship to profitability on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, v.81, n.1, p.272-282, 1998.
- VELEZ, J. C.; DONKIN, S. S. Feed restriction induces pyruvate carboxylase but not phosphoenolpyruvate carboxykinase in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 88, p.2938–2948, 2005.
- WEBSTER, A. J. F. Energy metabolism and requirements. *Digestive physiology and nutrition of ruminants*. 2 ed. Corvallis: O&B Books, 1978. 229p.
- YAN, T.; GORDON, F. J.; AGNEW, R. E. et al. The metabolizable energy requirements for maintenance and the efficiency of utilization of metabolisable energy for lactation by dairy cows offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science*, v.51, p.141-150, 1997.