

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

**PARTIÇÃO DA ENERGIA E EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS NO TERÇO FINAL
DA GESTAÇÃO E AVALIAÇÃO DO PERFIL METABÓLICO DURANTE O
PERÍODO DE TRANSIÇÃO DE VACAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR**

HELENA FERREIRA LAGE

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

2015

HELENA FERREIRA LAGE

Partição da energia e exigências nutricionais no terço final da gestação e avaliação do perfil metabólico durante o período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir

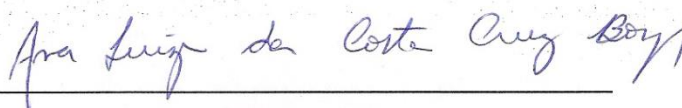
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NUTRIÇÃO ANIMAL

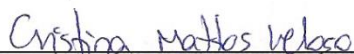
PROF(A). ORIENTADOR(A): Ana Luiza da Costa Cruz Borges

BELO HORIZONTE

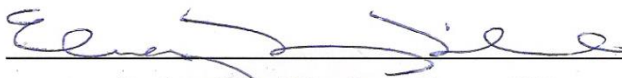
Tese defendida e aprovada em 29/09/2015 pela comissão examinadora composta pelos seguintes membros:



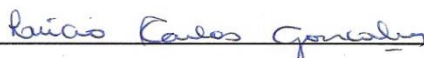
Ana Luiza Costa Cruz Borges
Professora orientadora



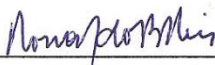
Professora Dra. Cristina Mattos Veloso



Professor Dr. Elias Jorge Facury Filho



Professor Dr. Lúcio Carlos Gonçalves



Professor Dr. Ronaldo Braga Reis

“We don't need no thought control”

Roger Waters (Pink Floyd)

Dedico esta tese aos meus mentores nesta desafiadora etapa da minha vida. Aos meus amados pais, Tobias e Terezinha, ao meu grande amor, Psycho, aos meus queridos amigos e à minha estimada orientadora, Prof^a. Ana Luiza.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e à Tia Telma, pelo apoio incondicional.

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

À Prof^a. Ana Luiza, meu exemplo, obrigada pela amizade e por nunca ter duvidado que eu fosse capaz, mesmo nos momentos de “pânico”.

Ao Prof. Ricardo pelos ensinamentos e amizade.

Aos amigos Pedro, Marcelina e Paolo que, com sua presença, tornaram tudo menos difícil.

Aos colegas de grupo e aos alunos de iniciação científica... Sem vocês a conclusão deste trabalho não seria possível.

À Cris, minha querida cachorra, companheira por tantos finais de semana durante o experimento.

Às vacas utilizadas para o desenvolvimento desta tese, que com muito carinho, acompanhei de 2008 a 2014.

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

À Prof(a). Fabíola e ao Prof. Paulo Ricardo, do Departamento de Clínica e Cirurgia da Escola de Veterinária que, com muita simpatia, colaboraram enormemente com as análises do perfil bioquímico.

Ao Prof. Lúcio e ao Prof. Ronaldo pelos valiosos ensinamentos.

Aos “Bests”: Silvinha, Best DJ, Nelore, Trulley e Popó, por serem grandes companheiros.

Aos amigos Josie, Guga, Livia, Gabi, Carol, Turmalina e Neme por serem sempre meu refúgio preferido.

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

Ao Sr. Gilmar, motorista da Escola de Veterinária, pela excelente companhia durante as viagens de deslocamento dos animais.

Aos queridos funcionários da Fazenda Experimental Hélio Barbosa, em Igarapé pela seriedade e boa vontade durante a inseminação das vacas;

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

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

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

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

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

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

À CAPES pela bolsa de estudos durante o doutorado.

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

Ao CNPq pela contribuição na realização deste projeto pioneiro.

À BR-NOVA pela gentileza em fornecer a suplementação mineral para os animais.

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

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	10
Lista de figuras.....	12
Lista de abreviaturas.....	14
Resumo geral.....	16
Abstract.....	19
Introdução geral.....	22

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. ALTERAÇÕES PROMOVIDAS PELA GESTAÇÃO.....	23
2.1. Caracterização do útero gestante: composição e desenvolvimento.....	23
2.2. A eficiência de utilização de energia pelo útero gestante.....	27
2.3. Substratos para o desenvolvimento fetal.....	31
2.4. Alterações do metabolismo materno associadas à gestação.....	36
3. BIBLIOGRAFIA.....	44

CAPÍTULO 2 – CONSUMO DE NUTRIENTES E PARTIÇÃO DA ENERGIA DE VACAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR NO TERÇO FINAL DA GESTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO.....	49
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3. RESULTADOS E DISSCUSSÃO	
3.1. Consumo e digestibilidade de nutrientes.....	59
3.2. Densidade energética da dieta.....	64
3.3. Partição energética.....	68
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
5. BIBLIOGRAFIA.....	80

CAPÍTULO 3 – PERFIL METABÓLICO NO PERÍODO DE TRANSIÇÃO DE VACAS GIR E F1 HOLANDÊS X GIR

1. INTRODUÇÃO.....	84
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1. Metabolismo protéico.....	88

3.2. Metabolismo lipídico/energético.....	94
3.3. Função hepática.....	101
3.4. Calcemia.....	104
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
5. BIBLIOGRAFIA.....	108
6. APÊNDICE	
6.1. Nitrogênio uréico plasmático (NUP).....	114
6.2. Creatinina.....	115
6.3. Proteína total.....	116
6.4. Albumina.....	117
6.5. Triglicerídeos.....	118
6.6. Ácidos graxos não esterificados (AGNE).....	119
6.7. Colesterol.....	120
Glicose.....	121
6.8. Aspartato aminotransferase (AST).....	122
6.9. Cálcio.....	123

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Peso, composição e taxas de desenvolvimento (matéria natural) do feto de novilhas Hereford gestantes em diferentes tempos de gestação.....25

Tabela 2. Predição das taxas de deposição de energia e proteína bruta no útero gestante e feto em diferentes estádios do terço final da gestação em vacas Holandesas..... 26

Tabela 3. Eficiência da utilização da energia metabolizável para o desenvolvimento do concepto e do útero gestante de novilhas Hereford.....28

Tabela 4. Efeitos da resistência à insulina em diferentes tecidos insulino-sensitivos.....41

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas Gir e F1 Holandês x Gir nos períodos de avaliação aos 180, 210 e 240 dias de gestação.....50

Tabela 2. Consumo, digestibilidade de nutrientes e respectivos erros-padrão (EPM) de vacas e F1 Holandês x Gir e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação.....60

Tabela 3. Densidade energética da dieta fornecida para vacas F1 Holandês x Gir e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) por quilograma de matéria seca (kg MS) e concentração energético da dieta expresso em múltiplo da energia líquida para manutenção (x Manutenção).....64

Tabela 4. Densidade energética da dieta fornecida para novilhas Hereford aos 109 e 209 dias de gestação recebendo dieta em quantidade restrita expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) por quilograma de matéria seca (kg MS).....68

Tabela 5. Partição energética de vacas F1 Holandês x Gir (F1 H x G) e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação.....69

Tabela 6. Consumo de energia bruta em megacalorias por dia (EM, Mcal/dia) e as perdas energéticas equivalentes à produção fecal, urina, gases e calor expressas em Mcal/dia e em percentual da energia bruta consumida (%EB).....71

Tabela 7. Comparação entre a exigência de energia líquida (EL) e metabolizável (EM) aos 180, 210 e 240 dias de gestação de vacas F1 Holandês x Gir e Gir em relação ao predito pelo NRC (2001) nas mesmas idades gestacionais.....78

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Médias e erros-padrão das concentrações séricas de nitrogênio ureico plasmático (NUP, mg/dL), creatinina (mg/dL), albumina (mg/dL) e proteína total de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto.....89

Tabela 2. Médias e erros-padrão das concentrações séricas de triglicerídeos (TG, mg/dL), colesterol (mg/dL), glicose (mg/dL) e ácidos graxos não-esterificados (AGNE, mg/dL) de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto.....95

Tabela 3. Médias e erros-padrão da atividade enzimática da aspartatoaminotransferase (AST, U/L) de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto.....102

Tabela 4. Médias e erros-padrão da concentração sérica de cálcio (mg/dL) de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto.....105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Efeito do estágio de gestação sobre a lactação: após o quinto mês de gestação há um rápido declínio na secreção de leite (adaptado de Ragsdale et al., 1924).....24
- Figura 2.** Concentrações plasmáticas médias de tiroxina e corticoesteróides de ovelhas e seus fetos durante os últimos 37 dias de gestação (Thorburn e Hopkins, 1973).....20
- Figura 3.** Representação esquemática das duas principais fontes de glicose para o feto e as três principais vias de utilização da glicose (Battaglia e Meschia, 1978).....32
- Figura 4.** Comparação entre a exigência de aminoácidos para constituição da carcaça com o aporte médio de aminoácidos no feto ovino (Père, 2003).....33
- Figura 5.** Esquema da utilização de substratos pelo feto de ruminantes (Bauman e Currie, 1980).....36
- Figura 6.** (A) Fluxo sanguíneo das veias porta e hepático (média + erro padrão), (B) Consumo de oxigênio pelas vísceras drenadas pelo sistema porta (média + erro padrão) e (C) liberação de glicose pelas vísceras drenadas pelo sistema porta de ovelhas adultas durante a gestação e lactação (Adaptado de Freetly e Ferrell, 1998).....37

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Diagrama simplificado do equipamento de respirometria. (1) plataforma na qual se encontra o animal; (2) radiador; (3) teto falso (4) turbina; (5) computador para aquisição de dados; (6) refrigerador de ar; (7) circuito by-pass; (8) solenoide (9) controlador de fluxo de gás (10) bomba hermética; (11) sensores de temperatura e umidade e pressão. A-A', estão operando em circuito aberto; B-B', em circuito fechado.....53
- Figura 2.** Relação entre a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados

pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,02x + 1,96$).....65

Figura 3. Relação entre a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg MS) e a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) da dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,84x + 0,03$).....66

Figura 4. Relação entre a concentração de energia líquida (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,11x + 0,97$).....67

Figura 5. Relação entre a concentração o consumo de matéria orgânica digestível (kg/dia) e a produção de gás metano (litros/dia) por novilhas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias).....73

LISTA DE ABREVIATURAS

AGNE.....	Ácidos graxos não esterificados
AST.....	Aspartato aminotransferase
°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 etilenodiaminotetracético
EE.....	Extrato etéreo
EL.....	Energia líquida
EM.....	Energia metabolizável
EMm.....	Energia metabolizável de manutenção
ER.....	Energia retida
FDA.....	Fibra em detergente ácido
FDNcp.....	Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína
h.....	Horas
IC.....	Incremento calórico
Kcal.....	Quilocalorias
Kg.....	Quilograma
Kp.....	Eficiência de utilização da energia metabolizável para gestação
L.....	Litro
LCG4%.....	Produção de leite corrigida para 4% de gordura
µL.....	Microlitro
MB.....	Metabolismo basal
Mcal.....	Megacalorias
mg.....	Miligrama

min.....	Minutos
mL.....	Mililitro
mm.....	Milímetro
mmol.....	Milimol
MO.....	Matéria orgânica
MS.....	Matéria seca
N ₂	Nitrogênio
NDT.....	Nutrientes digestíveis totais
Nu.....	Nitrogênio urinário
NUP.....	Nitrogênio ureico no plasma
O ₂	Oxigênio
P.....	Fósforo
PB.....	Proteína bruta
PC.....	Produção de calor
PCj.....	Produção de calor em jejum
pH.....	Potencial hidrogeniônico
PM.....	Peso metabólico (PV ^{0,75})
q.....	Metabolizabilidade
RPM.....	Rotações por minuto
TG.....	Triglicerídeo
U.....	Unidade
VLDL.....	Lipoproteína de muito baixa densidade

RESUMO GERAL

Diante da carência na literatura científica a respeito do metabolismo energético de vacas Gir e F1 Holandês x Gir (F1 H x G), sobretudo no tangente à gestação, foram desenvolvidos dois experimentos, utilizando-se seis vacas Gir (PV médio inicial de 435,16 kg) e seis vacas F1 H x G (PV médio inicial de 515,60 kg). O primeiro capítulo aborda o desenvolvimento da gestação e seu impacto no metabolismo de fêmeas ruminantes. No segundo capítulo são apresentados dados da partição energética destes animais aos 180, 210 e 240 dias de gestação, obtidos por respirometria. Os animais receberam dieta em quantidade restrita, equivalente a 1,3X a exigência de energia líquida para manutenção. O consumo de matéria seca superior ($P < 0,05$) para as vacas F1 H x G refletiu-se no consumo de outros nutrientes da dieta como, por exemplo, nos consumos de matéria orgânica (MO) e fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), quando expressos em quilogramas por dia (kg/dia). Variáveis como o consumo diário (kg/dia) de proteína bruta (PB) extrato etéreo (EE) e nutrientes digestíveis totais (NDT) apresentaram superioridade ($P < 0,05$) para as vacas F1 H x G apenas aos 210 e 240 dias de gestação. De maneira geral, entretanto, nota-se que o maior consumo pelas vacas mestiças em nenhum momento foi responsável por alterações na digestibilidade de quaisquer nutrientes ($P > 0,05$), com exceção da PB. Avaliando-se a concentração de energia da dieta, foram feitas comparações com os valores obtidos por equações para estimativa da concentração energética de dieta do NRC (2001). A equação de conversão do NRC (2001) foi eficiente em prever a concentração de energia metabolizável (EM) a partir da energia digestível (ED). A concentração de ED da dieta não diferiu ($P > 0,05$) entre os grupos genéticos e os tempos avaliados e apresentou valor médio de 3,25 Mcal/kg MS. Os teores de EM da dieta, durante os períodos e entre as raças avaliadas, oscilaram entre 2,55 e 2,82 Mcal/kg MS. A concentração média de energia líquida (EL) das dietas consumidas pelas vacas Gir e F1 H x G foi de 1,47 Mcal/kg MS. Os dados de partição energética comprovaram que a dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G aos 180, 210 e 240 dias de gestação foi adequada para suprir a exigência de energia destes animais. A proporção de energia bruta (EB) perdida como energia fecal não diferiu entre as raças avaliadas e correspondeu, em média, a 28,65%, refletindo os valores descritos para a digestibilidade da MS. As produções diárias de metano (L/dia) acompanharam o comportamento demonstrado pela ingestão de matéria seca, sendo superior ($P < 0,05$) nas novilhas F1 H x G, quando comparadas às Gir. Entretanto, quando expressa em L/kg MS ou em percentual da EB ingerida (média de 6,44%), não foram observadas diferenças entre os grupos genéticos avaliados ($P > 0,05$). A perda diária de energia na forma de urina (valor médio de 1,42

Mcal/dia) não diferiu ($P>0,05$) entre os grupos genéticos avaliados e correspondeu a 3,87 a 5,35% da EB ingerida. O valor de EM ingerida, em Mcal/dia, pelos animais F1 H x G foi superior ($P<0,05$) em todos os momentos avaliados em relação aos animais Gir. Entretanto, quando expresso em kcal/kg de peso metabólico (PM), a ingestão de EM foi 11% superior ($P<0,05$) para as vacas mestiças apenas aos 240 dias de gestação e apresentou média de 194,39 Kcal/kg PM. Vacas Gir não apresentaram variação no consumo de energia metabolizável entre os três tempos avaliados ($P>0,05$), com média de 146,66 kcal/kg PM. O fracionamento da energia metabolizável para gestação foi obtido pela dedução do consumo de EM do valor de energia metabolizável para manutenção descrito por Lage (2011), de 120,05 e 146,06 kcal/kg PM para as vacas Gir e F1 H x G, respectivamente. O consumo médio de EM para gestação, neste trabalho, foi de 5,33 para vacas F1 H x G e 4,46 Mcal/dia para as vacas Gir, respectivamente. O percentual de energia metabolizável em relação à EB ingerida (ou q), que corresponde à metabolizabilidade da dieta, foi similar entre os grupos genéticos avaliados ($P>0,05$), sendo este valor correspondente a 0,60. A relação EM/ED obteve valor médio de 0,84 entre as raças e períodos avaliados. O incremento calórico foi de 24,38% de EB ingerida para as vacas Gir e 22,74% para as vacas F1 H x G. Os dados de energia líquida de manutenção apresentados pelos animais experimentais foram calculados considerando-se os valores encontrados por Lage (2011), de 92,02 kcal/kg PM para vacas F1 H x G e 76,83 kcal/kg PM para vacas Gir (ambas não gestantes). A proporção da EB ingerida utilizada para a manutenção do metabolismo basal pelas vacas gestantes, neste trabalho, não diferiu entre as raças e os períodos avaliados. e correspondeu a 29,69%. A energia líquida de gestação foi, em média, 2,76 Mcal/dia e não diferiu entre os grupos e tempos avaliados ($P>0,05$). A eficiência de conversão da energia metabolizável em energia líquida para gestação foi, em média, 13,00%. O terceiro capítulo teve o objetivo de avaliar perfil metabólico no período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir (30 dias antes e 28 dias após o parto), utilizando-se os mesmos animais descritos na avaliação do metabolismo de energia. Foram avaliados os seguintes parâmetros: concentração plasmática de glicose, ácidos graxos não-esterificados (AGNE), colesterol, triglicérides, ureia, creatinina, proteína total, albumina, cálcio e aspartato amino transferase (AST). Os resultados demonstraram o bom funcionamento de mecanismos homeostáticos e homeorréticos das vacas Gir e F1 Holandês x Gir utilizadas neste experimento, durante o período de transição. A mobilização de tecido muscular esquelético pôde ser verificada pelo aumento dos níveis de nitrogênio ureico plasmático (NUP) e diminuição da concentração de creatinina em momentos próximos ao parto. A mobilização de tecido adiposo foi comprovada pela queda nos níveis de triglicérides e aumento de ácidos graxos não-esterificados (AGNE) próximo ao parto,

especialmente nas vacas F1 H x G. Os dados demonstraram que a mobilização tecidual foi responsável pela manutenção de níveis normais de glicemia durante o período de transição e que a diminuição da concentração de glicose plasmática normalmente observada em vacas leiteiras especializadas não foi observada neste trabalho. Os níveis normais de glicose, colesterol, albumina e proteínas totais são indicadores da ausência de injúrias hepáticas severas nos animais experimentais, o que pôde ser comprovado pela normalidade da atividade enzimática da AST durante todo o período de avaliação.

ABSTRACT

Given the lack of scientific literature about the energy metabolism of Gir and F1 Holstein x Gir cows (F1 HXG), especially about pregnancy data, two experiments were developed using six Gir cows (average initial of 435.16 kg) and F1HxG six cows (average initial weight of 515.60 kg). The first chapter there is a review about the development of pregnancy and its impact on energy metabolism ruminant females. The second chapter presents energy partition data of these animals on 180, 210 and 240 days of gestation obtained by respirometry. The animals received diet in a restricted amount, equivalent to 1.30 times the net energy requirement for maintenance. The higher dry matter intake ($P < 0.05$) of F1HxG cows was reflected in the consumption of other dietary nutrients, such as organic matter (OM), insoluble fiber neutral detergent corrected for ash and protein (NDFap), expressed as kilograms per day (kg / d). Variables such as daily intake (kg / day) of ether extract (EE), crude protein (CP) and total digestible nutrients (TDN) showed superiority ($P < 0.05$) for the F1 H x G cows only at 210 and 240 days of gestation. In general, however, it notes that the higher consumption by crossbred cows at any gestational age was responsible for changes in digestibility of any nutrients ($P > 0.05$) except for CP. Evaluating the dietary energy concentration comparisons were made with the values obtained by equations of NRC (2001) to estimate the energy concentration of the diet. Only the equation (2-2) of the NRC (2001) was efficient in predicting the concentration of metabolizable energy (ME) from the digestible energy (DE). The concentration of ED diet did not differ ($P > 0.05$) between genetic groups and periods, with average value of 3.25 Mcal / kg MS. The ME concentration of the diet ranged between 2.55 and 2.82 Mcal / kg MS among periods and genetic groups evaluated. The average level of net energy (NE) of diets consumed by experimental cows was 1.47 Mcal / kg MS. Energy partition data proved that the diet fed to cows at 180, 210 and 240 days of gestation was enough to meet the energy requirement of the animals. The proportion of gross energy (GE) lost as feces did not differ between the evaluated races and corresponded on average to 28.65%, reflecting the values reported for the digestibility. The daily methane production (L / day) followed the pattern described for dry matter intake, with higher production for ($P < 0.05$) F1 HXG when compared to Gir animals. However when expressed in L / kg DM or as percentage of EB intake (mean 6.44%), no differences were observed between the genetic groups ($P > 0.05$). The daily loss of energy as urine (mean value of 1.42 Mcal / day) did not differ ($P > 0.05$) between genetic groups and oscillated between 3.87 to 5.35% of the EB ingested. The ME ingested by F1 HXG animals was higher ($P < 0.05$) at all times evaluated when compared to Gir cows when expressed in

Mcal / day. When expressed in kcal / kg of metabolic body weight (MW), however, the intake was 11% higher ($P < 0.05$) in the crossbred cows only after 240 days of gestation and averaged 194.39 Kcal / kg MW. Gir cows showed no change in the ME intake among the three time periods ($P > 0.05$), with an average of 146.66 kcal / kg MW. Fractionation of ME to pregnancy was obtained by deducting from the ME intake value the maintenance ME requirements described by Lage (2011) of 120.05 and 146.06 kcal / kg MW for the Gir and F1 HxG animals, respectively. The average consumption of ME for pregnancy in this study was 5.33 for cows F1 H x L and 4.46 Mcal / day for Gir cows, respectively. The percentage of ME in relation to GE (or q, which correspond to the metabolizability of the diet) was similar among the evaluated genetic groups ($P > 0.05$): 0.60. The average ratio ME / DE obtained was 0.84 between the races and periods evaluated. The heat increment accounted for of 24.38% of GE intake for Gir cows and 22.74% for F1 H x G cows. The maintenance data presented by the experimental animals were calculated based on the values reported by Lage (2011) of 92.02 kcal / kg MW for F1 HxG cows and 76.83 kcal / kg MW for Gir cows (both non-pregnant). The proportion of GE intake used to the basal metabolism by pregnant cows in this study did not differ between the races and the evaluation period and corresponded for 29.69%. The mean net energy for pregnancy was of 2.76 Mcal / day and did not differ between groups and periods ($P > 0.05$). The conversion efficiency of ME into NE for pregnancy obtained in this study was 13.00%. The third chapter present data regarding to the metabolic profile of Gir and F1 Holstein x Gir cows in the transition period (30 days before and 28 days after delivery), using the same animals described in energy metabolism trial. The following parameters were evaluated: plasma glucose, non-esterified fatty acids (NEFA), cholesterol, triglycerides, blood urea nitrogen (BUN), creatinine, total protein, albumin, calcium and aspartate aminotransferase (AST). The results demonstrate the proper functioning of homeostatic and homeorretic mechanisms of Gir and F1 Holstein x Gir cows used in this experiment during the transition period. The mobilization of skeletal muscle tissue could be verified by the rise in BUN levels and decreased creatinine concentration and nitrogen close to parturition. The mobilization of adipose tissue was confirmed by the drop in triglyceride levels and increased non-fatty acids (NEFA) close to delivery, especially in F1 H x G cows. The interpretation of the data implied that tissue mobilization was responsible for maintenance of normal blood glucose levels during the transition period. The “classic” drop in plasma glucose concentration near to parturition, usually seen in specialized dairy cows was not observed in this study possibly due to lower milk potential of the animals used. The normal glucose, cholesterol, albumin and total protein are indicative of the absence of severe liver injuries in experimental animals, which can be

evidenced by the normality of the enzymatic activity of AST throughout the experimental period.

INTRODUÇÃO GERAL

Cerca de 70% da produção de leite no Brasil provêm de vacas mestiças Holandês x Zebu. Na pecuária leiteira, considera-se gado mestiço aqueles animais derivados do cruzamento de uma raça pura de origem europeia e que seja especializada na produção de leite (Holandesa, Pardo Suíço, Jersey, etc.), com uma raça de origem indiana, que compõe a subespécie zebu (Gir, Guzerá, Indubrasil, Sindi ou Nelore). A raça Holandesa predomina nos cruzamentos, sendo que o mais comum é o de Holandês com o Gir, mais conhecido como "Girolando" (Alvim et al., 2005). A utilização de sistemas internacionais que postulam as exigências nutricionais de bovinos, especificamente para gado de leite, como NRC (2001), é uma prática disseminada entre os profissionais da área de nutrição animal, em função da carência de dados relacionados a animais deste tipo de produção no cenário nacional.

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

Referências:

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

Embrapa Gado de Leite. Acesso em setembro/2015.

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

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

DESENVOLVIMENTO DA GESTAÇÃO E SEU IMPACTO NO METABOLISMO DE FÊMEAS RUMINANTES

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo entendimento de diferentes fenômenos observados na produção animal permite a elucidação de aspectos metabólicos, uma vez que o conhecimento dos mesmos podem esclarecer uma série de questionamentos permitindo maximização da produção animal por possíveis modificações de rotas do metabolismo.

Não restam dúvidas de que, dentro do processo produtivo da pecuária, as fêmeas sejam os indivíduos mais desafiados pelas constantes modificações fisiológicas às quais são impostas. Dentre estas modificações, a lactação tem sido exaustivamente estudada em ruminantes nos últimos anos (Tucker, 2000; Svennersten e Olsson, 2005) por sua importância em garantir a saúde da prole (no caso de monogástricos e ruminantes), bem como por sua importância econômica para o fornecimento de matéria prima para a indústria láctea (no caso de ruminantes).

Entretanto, o “pré-requisito” para que a lactação ocorra, a *gestação*, tem sido um tanto quanto negligenciada nas pesquisas, especialmente no que concerne ao entendimento do metabolismo de vacas gestantes.

Está claro que alterações no *status* fisiológico do animal estão associadas a alterações metabólicas bem como na atividade enzimática de vários tecidos e órgãos (Smith e Baldwin, 1973; Bell, 1995). Sendo assim, o objetivo desta revisão é elucidar o desenvolvimento gestacional com foco em princípios nutricionais, abordando o impacto das alterações metabólicas promovidas pela gestação em bovinos.

2. ALTERAÇÕES PROMOVIDAS PELA GESTAÇÃO

2.1. *Caracterização do útero gestante: composição e desenvolvimento*

De certa forma, parece óbvio pensar que dentre todos os órgãos que compõe o organismo de qualquer fêmea mamífera, o útero é aquele que mais sofre alterações no decorrer da gestação. Após a concepção, o útero torna-se uma unidade complexa composta por subunidades de origem materna e fetal. Por útero gestante, subentendem-se os seguintes componentes: feto, fluidos fetais

(amniótico e alantóico), membranas fetais (incluindo cordão umbilical e vasos sanguíneos), placentomas (cotilédones e carúnculas) e tecidos uterinos (miométrio e endométrio) (Bell et al., 1995).

A ideia de que vacas gestantes, de alguma forma, direcionam a partição de seus nutrientes em favor do desenvolvimento fetal descrito foi inicialmente sugerido por Ragsdale et al. (1923). Estes autores observaram que, com o avançar da lactação, o declínio da produção de leite era mais acentuado em vacas gestantes do que em vacas vazias, sendo a redução na produção mais acentuada em vacas gestantes após o quarto ou quinto mês de prenhez (figura 1).

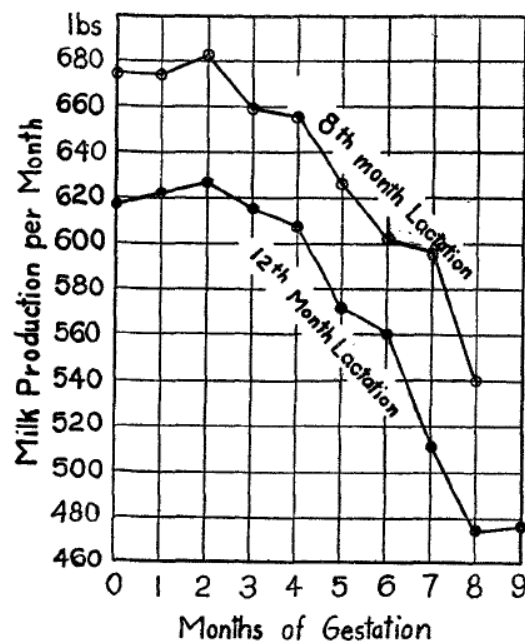


Figura 1. Efeito do estágio de gestação sobre a lactação: após o quinto mês de gestação há um rápido declínio na secreção de leite (adaptado de Ragsdale et al., 1923).

Pelos dados observados na figura 1, Ragsdale et al. (1923) deduziram que o impacto na produção de leite seria insignificante no início da gestação, pois o embrião seria muito pequeno em relação ao peso materno e que, portanto, a exigência de nutrientes seria insignificante nesta fase. Somente após o quarto ou quinto mês, o feto se desenvolveria suficientemente para impactar na exigência proteica e energética da mãe, possivelmente às custas dos nutrientes anteriormente destinados para produção de leite.

De fato, diversos autores, ao realizarem o abate de vacas gestantes de diversas raças e em diferentes estádios produtivos, comprovaram que o crescimento do útero gestante ocorre principalmente no terço final da gestação (Ferrell et al., 1976a; Eley et al., 1978, Bell, 1995a).

Para alguns autores (Eley et al., 1978), o crescimento fetal atingiria um pico de crescimento até os 230 dias de gestação, sendo a taxa de crescimento superior a 200 g/dia (223 g/dia para machos e 205 g/dia para fêmeas). Após este período, a taxa de crescimento seria diminuída para aproximadamente 100 g/dia. A diminuição da taxa de crescimento fetal com a aproximação do parto ocorreria por uma limitação da placenta e do organismo materno em sustentar altas taxas de acúmulo tecidual.

Ferrell et al. (1976b) avaliaram o desenvolvimento e composição do útero de novilhas Hereford gestantes em diferentes estádios gestacionais (134, 189, 237 e 264 dias) e, de maneira geral, observaram que com o avançar da gestação houve aumento nos teores de energia e proteína neste órgão. A composição do útero foi identificada como relativamente constante, com aproximadamente 16,6% de matéria seca (MS), 3,0% de gordura, 2,12% de nitrogênio, com teor energético de 0,95 kcal/g, sendo a taxa de crescimento 2,03%/dia, havendo diminuição de 0,00268% / dia à medida que a gestação avança.

A importância dos fluidos seria pífia em termos de acúmulo de nutrientes em função de seu baixíssimo teor de matéria seca (2,0 a 3,7% de MS), de forma que sua composição se mantém praticamente constante durante os diferentes estádios gestacionais (Ferrell et al., 1976a). Sendo assim, os resultados apresentados na literatura demonstram que é o feto o grande modificador da composição uterina com o avançar da gestação, sendo suas características apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Peso, composição e taxas de desenvolvimento (matéria natural) do feto de novilhas Hereford gestantes em diferentes tempos de gestação

Idade fetal (dias)	Peso fetal (kg)	% peso uterino total	% N ¹	EB ² (kcal/g)	Deposição de PB ³ (g/dia)	Deposição de energia (kcal/dia)
134	1,58	19,2	1,20	0,54	4,75	36,00
189	7,53	36,8	1,60	0,88	17,44	143,00
237	20,8	56,8	2,07	1,17	55,94	457,00
264	31,6	57,5	2,52	1,32	156,25	1.617,00

¹Percentual de nitrogênio; ²Energia bruta; ³Proteína bruta.

Adaptado de Ferrell et al. (1976)

Durante seu desenvolvimento, o feto é o componente do útero gestante que apresenta as maiores taxas de desenvolvimento, variando de 5,11%/dia a 7,4%/dia (Prior e Laster, 1979). Com o avançar

da gestação, a velocidade de crescimento vai sendo discretamente reduzida, sendo esta redução entre 0,007 e 0,125%/dia (Ferrell et al., 1976a; Prior e Laster, 1979).

Embora esteja clara a importância destes trabalhos, até a década de 90 a literatura ainda carecia de informações sobre o desenvolvimento da gestação da vaca leiteira “moderna”, uma vez que os trabalhos anteriores foram realizados em novilhas de corte ou então mestiças, sem considerar a uniformidade racial. De maneira geral, vale ressaltar que os mesmos trabalhos são coerentes em demonstrar que a maior parte do desenvolvimento do útero gestante e seus componentes ocorre no terço final da gestação.

Já na década de 90, Bell et al. (1995) desenvolveram um trabalho avaliando o desenvolvimento gestacional de vacas holandesas utilizando abates seriados a partir do 190º até o 270º dia de gestação. Pelos resultados encontrados, os autores discordam que o pico na taxa de desenvolvimento fetal seria aos 230 dias de gestação, uma vez que o maior porte da raça holandesa permitiria aumento na velocidade de crescimento até cerca de 270 dias. Os mesmos, entretanto, concordam que o crescimento fetal entre 190 e 270 dias é maior quando comparado a outros componentes não fetais do útero. Enquanto o feto corresponde a 45% do peso uterino (na base da matéria seca) aos 190 dias, aos 270 dias de gestação esta proporção chega a 80%. O acréscimo de tecidos “secos”, de 190 a 270 dias do período gestacional, corresponde em média a 138 g/dia, sendo a taxa de crescimento de tecidos não fetais de apenas 18 g/dia (isto é, cerca de 13%). A natureza desta deposição é descrita na tabela 2.

Tabela 2. Predição das taxas de deposição de energia e proteína bruta no útero gestante e feto em diferentes estádios do terço final da gestação em vacas Holandesas¹

Tempo gestação (dias)	Energia		Proteína bruta	
	Útero gestante	Feto	Útero gestante	Feto
	(kcal/dia)		(g/dia)	
190	567	398	62	36
210	631	500	76	54
230	694	601	90	73
250	757	703	103	91
270	821	805	117	110

¹Valores adaptados de diferentes equações relacionando os conteúdos do útero gestante e do feto para energia e proteína bruta em relação aos dias de gestação. (Bell et al., 1995)

Em termos de acúmulo de energia, aos 190 dias a deposição de energia no útero gestante é de 567 kcal/dia, sendo 70% destinada à deposição no feto. Já aos 270 dias, das 821 kcal/dia depositadas no útero 86% correspondem à deposição no feto. A deposição proteica segue um padrão semelhante.

As taxas de deposição de energia e proteína determinadas em vacas holandesas (Bell et al., 1995) foram consideravelmente superiores às determinadas em novilhas Hereford (Ferrell et al., 1976a; Ferrell et al., 1976b) aos 190 dias de gestação. Diferenças genéticas relacionadas ao potencial de crescimento poderiam explicar tal discrepância, uma vez que aos 190 dias, fetos da raça Holandesa foram aproximadamente 20% mais pesados que de novilhas Hereford. Aos 270 dias, pode-se observar uma inversão desta tendência (sendo maior o acúmulo de energia em fetos de novilhas Hereford), que pode ser explicada pela maior deposição de gordura nos estágios finais da gestação (Ferrel et al., 1976b).

Em suma, como estudos apontam que, de fato, o maior desenvolvimento uterino acontece no terço final da gestação, o sistema de formulação de dietas americano (NRC, 2001) é categórico ao assumir que o impacto da gestação sobre a exigência de energia e proteína da vaca equivale a zero quando o período de gestação é inferior a 190 dias (considerando o peso do neonato equivalente a 45 kg para o bezerro Holandês).

2.2. Eficiência de utilização de energia pelo útero gestante

Tendo em vista a complexidade do desenvolvimento do útero gestante em bovinos e o custo energético que isto acarreta, é de se esperar que a nutrição do concepto pela mãe fosse um processo primordial e eficiente, de modo a garantir a sobrevivência da espécie. Muito embora as adaptações maternas de fato ocorram para o adequado desenvolvimento (descritas a seguir no item 2.4), é curioso o fato de que a eficiência de utilização de nutrientes pelo útero gestante seja consistentemente descrita como baixa na literatura.

Em relação ao primeiro dia de gestação, a exigência de energia metabolizável de uma vaca gestante pode aumentar de 101 kcal/kg PV^{0.75} no primeiro dia de gestação para 175 kcal/kg PV^{0.75}, sendo este grande aumento sugestivo de uma baixa eficiência do processo de desenvolvimento fetal (Moe e Tyrrell, 1972). Segundo estes autores, a eficiência de deposição de tecidos fetais seria em torno de 10,5%.

Ao avaliar o metabolismo energético de novilhas em diferentes estádios da gestação por meio da técnica de abate comparativo, Ferrell et al. (1976b) identificaram diferentes eficiências de utilização ao longo da gestação, tanto para o desenvolvimento do concepto quanto para o desenvolvimento do útero gestante, apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Eficiência da utilização da energia metabolizável para o desenvolvimento do concepto e do útero gestante de novilhas Hereford

Tempo de gestação	Eficiência (%) ¹	
	Concepto ²	Útero gestante ³
134	13,3	20,4
189	7,5	9,4
237	16,2	17,8
264	10,1	11,1

Adaptado de Ferrell et al. (1976b). ¹Eficiência = (ganho em energia pelo concepto ou útero gestante (kcal/dia)/energia metabolizável disponível para o desenvolvimento do concepto ou útero gestante (kcal/dia)/100; ²Concepto inclui feto, fluidos uterinos e membranas fetais; ³Útero gestante inclui feto, fluidos uterinos, membranas fetais e útero.

Observa-se que a eficiência de utilização da energia para o concepto variou de 7,5 a 13,3%, com média de 11,8%. No caso do útero gestante, os valores foram ligeiramente superiores, variando de 9,4 a 20,4%, sendo a média de 14,7%. Estes valores são considerados baixos, uma vez que as eficiências de utilização da energia para outras funções metabólicas como manutenção, ganho de peso e lactação, são apontadas como superiores. As eficiências de utilização de energia metabolizável para manutenção e lactação foram descritas como semelhantes, sendo 62% para manutenção e 64% para lactação (Moe e Tyrrel, 1972). Já a eficiência energética para ganho de peso, varia conforme o tipo de tecido depositado. A deposição de gordura possui melhor eficiência energética (60 a 80%) em comparação à deposição de proteína (10 a 40% para ruminantes), sendo a menor eficiência de deposição proteica em função dos custos energéticos associados ao *turnover* proteico (Ferrell e Jenkins, 1985).

O sistema de formulação de dietas americano, publicado no início do século XXI (NRC, 2001), adota como valor da eficiência de utilização de energia metabolizável para gestação o valor médio proposto por Ferrell et al. (1976) de 14%, demonstrando que este tipo de pesquisa evoluiu pouco ao longo de tempo. O trabalho adotado pelo mesmo sistema na determinação de exigências de energia líquida de vacas gestantes (Bell et al., 1995) utiliza em seus cálculos o mesmo fator de 0,14 proposto por Ferrell et al. (1976).

Em sua revisão, Battaglia e Meschia (1978) apontam que o consumo médio de oxigênio pelo útero de ovelhas de 8,0 mL de O₂/min/kg parece adequado para descrever o aporte sanguíneo uterino de mamíferos, uma vez que valores de outras espécies parecem não variar muito em relação a este. Admitindo-se um consumo de 8,0 ml O₂/min/kg e um coeficiente calórico de 4,9 kcal/litro de O₂ (pelo metabolismo de carboidratos e aminoácido pelo feto, como mostrado no item 2.3), tem-se uma exigência de 56,4 kcal/dia/kg apenas para sustentar a energia requerida pelo metabolismo oxidativo (sem considerar qualquer deposição tecidual).

Segundo os resultados de Rattray (1974), o feto ovino próximo do fim da gestação (130 dias) possui um valor calórico de 0,895 kcal/g, apresentando um ganho de peso equivalente a 36 g/dia, culminando com uma deposição de 32,2 kcal/dia/kg. Portanto, tem-se que a exigência energética de um feto ovino de 130 dias equivale a 88,6 kcal/dia/kg, sendo mais de 63% desta energia destinada a processos oxidativos.

Para vacas, a taxa de aporte de oxigênio para o feto seria em torno de 7,4 mL/min/kg (Silver e Comline, 1976 citado por Battaglia e Meschia, 1978). Ao extrapolar o mesmo raciocínio do cálculo para ovinos utilizando o mesmo coeficiente calórico para o oxigênio (4,9 kcal/litro), tem-se 52,2 kcal/dia/kg destinados ao metabolismo oxidativo. Segundo os dados de Ferrell et al. (1976a), 51,17 kcal/dia/kg seriam destinadas ao feto bovino aos 264 dias de gestação para processos anabólicos (deposição tecidual). Desta forma, a proporção da energia total requerida pelo feto bovino (103,38 kcal/kg/dia) destinada aos processos catabólicos seria de 50,5%.

De maneira geral, a aparente ineficiência de utilização de energia metabolizável para gestação, provavelmente, advém do considerável custo energético de manutenção dos produtos da concepção, isto é, o metabolismo oxidativo constitui o principal componente do requerimento energético total do concepto (Bauman e Currie, 1980). A desvantagem em termos de eficiência energética baseia-se no fato de que reações oxidativas são, por natureza, exotérmicas. Isto significa que boa parte da energia que poderia estar sendo direcionada para desenvolvimento tecidual do feto é dissipada na forma de calor. A intensa atividade metabólica fetal é refletida pela existência de um gradiente térmico entre a mãe e o feto de 0,5 a 1°C (Bauman e Currie, 1980).

Aparentemente, o relativo hipertireoidismo (quando comparado à mãe) descrito em fetos ruminantes poderia explicar suas altas taxas metabólicas. Entre 100 e 135 dias de gestação de ovinos, a concentração média de tiroxina (T4) aumentou gradualmente de 8,6 para 11,2 µg/100

mL, sendo estes valores superiores aos encontrados na circulação materna (Thorburn e Hopkins, 1972), como é possível observar na figura 2.

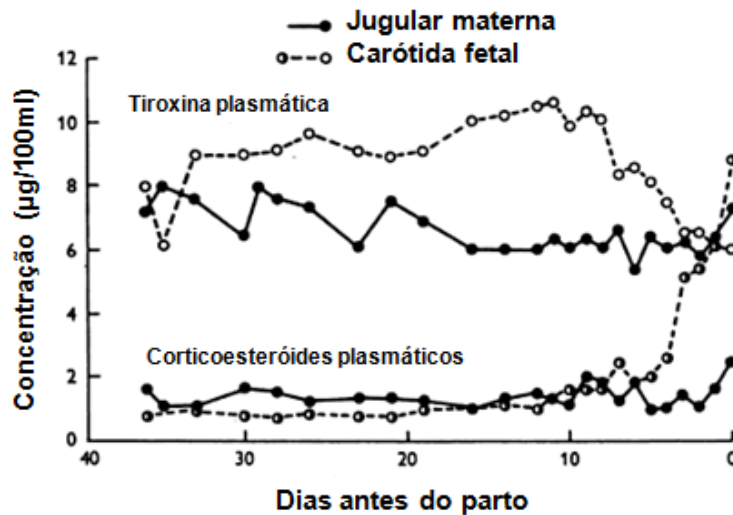


Figura 2. Concentrações plasmáticas médias de tiroxina e corticosteroides de ovelhas e seus fetos durante os últimos 37 dias de gestação (Thorburn e Hopkins, 1972).

As maiores concentrações são resultantes da maior taxa de secreção de tiroxina em fetos, quando comparados à entidade materna. Dussault et al (1971), citado por Thorburn e Hopkins (1972), indicam que enquanto a secreção de tiroxina pelo feto chega a 41 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$, a secreção do mesmo hormônio pela mãe seria cerca de oito vezes menor (5,5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$).

Dentre os diversos efeitos associados aos hormônios tireoidianos, suas capacidades em aumentar a utilização de oxigênio, aumentar na produção de calor e aumento das taxas metabólicas em diversos tecidos (Todine, 2007), de maneira sucinta, podem explicar a ineficiência de utilização da energia destinada para a gestação.

Os tecidos uterinos e placentários (placentomas, endométrio e miométrio), embora correspondam a 20% da massa total do útero gestante no terço final da gestação, consomem de 35 a 50% do oxigênio e pelo menos 65% da glicose captada pelo útero de ovelhas e vacas gestantes (Bell, 1995), demonstrando a alta capacidade metabólica deste tecido. Em vacas Hereford, aos 100 dias de gestação, os pesos fetal e da placenta são equivalentes, sendo 0,38 e 0,29 kg, respectivamente. O desenvolvimento da placenta atinge, em média, uma taxa de desenvolvimento de 6,6%/dia, contra 8,2%/dia relativo ao feto (Reynolds et al., 1990). A grande ineficiência de utilização de energia pela placenta é comprovada pelo fato de que, mesmo apresentando alta taxa metabólica

(alto consumo de oxigênio e glicose), enquanto o peso do feto aumenta 73 vezes de 100 a 250 dias de gestação, no mesmo intervalo de tempo o peso da placenta aumenta apenas em 16 vezes (Reynolds et al., 1990). Isto demonstra que a maior parte dos substratos que chegam até a placenta não é utilizada exclusivamente para a deposição tecidual, mas, principalmente para o metabolismo oxidativo, ou seja, o tecido placentário possui alto custo energético para manter apenas o metabolismo basal.

Embora a alta atividade metabólica do saco gestacional pareça, a princípio, um mecanismo desvantajoso para o desenvolvimento fetal do ponto de vista evolutivo (por ser ineficiente), o princípio proposto por Hammond (1947) de que fêmeas gestantes direcionam seus nutrientes em favor do desenvolvimento fetal elucidada a questão. Segundo ele, diferentes tecidos competem por nutrientes circulantes com base em suas taxas metabólicas, isto é, tecidos com maior taxa metabólica são favorecidos pelo maior aporte de nutrientes, como é o caso do útero gestante.

2.3. Substratos para o desenvolvimento fetal

A exigência para qualquer organismo em crescimento como, por exemplo, o feto de mamíferos inclui os combustíveis necessários para transformações energéticas e os substratos para produção de novos tecidos.

A fonte de glicose para o desenvolvimento fetal é, principalmente, a glicose de origem materna. Quando o nível de glicose plasmático da mãe está normal, a “dieta fetal” contém grande quantidade do nutriente, capaz de sustentar de 50 a 70% do metabolismo oxidativo do útero gestante e representa aproximadamente 20% da exigência calórica do feto (Battaglia e Meschia, 1978). Em um estudo com vacas Jersey, a concentração de glicose na veia umbilical variou de 17 a 36 mg/100mL, enquanto na mãe esta concentração foi superior, variando de 60 a 85 mg/100mL (Comline e Silver, 1976). A diferença de concentração é suficiente para permitir que o transporte de glicose entre a mãe e o feto seja então realizado por difusão facilitada. Em ruminantes, o transportador de glicose envolvido na captação seria o GLUT3, apresentando-se em maior quantidade na medida em que a gestação progride (Père, 2003). A figura 3 apresenta um esquema simplificado da formação e utilização de glicose pelo feto.

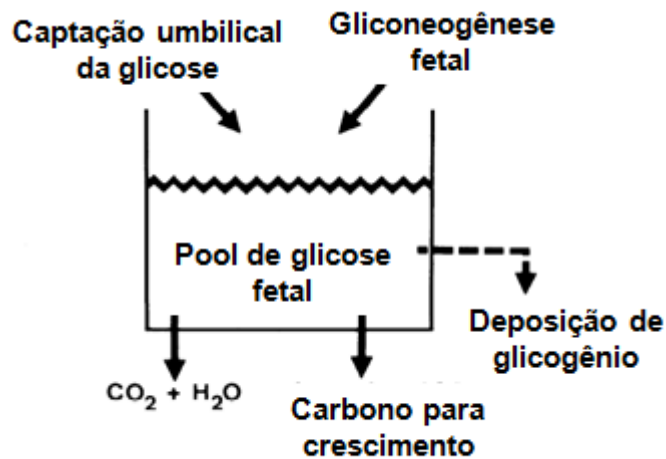


Figura 3. Representação esquemática das duas principais fontes de glicose para o feto e as três principais vias de utilização da glicose (Battaglia e Meschia, 1978).

A glicose que chega até o feto pode seguir três diferentes caminhos: utilização como combustível para determinados órgãos; fonte de carbono sendo convertida em outros nutrientes como, por exemplo, aminoácidos não essenciais, ou estocada na forma de glicogênio em diversos órgãos fetais (principalmente o fígado). De acordo com Battaglia e Meschia (1978) está claro que a quantidade de glicose que entra na circulação umbilical pela placenta é insuficiente para atender a exigência calórica determinada em função do consumo de oxigênio fetal. Sendo assim, além da realização da gliconeogênese pelo feto, outros substratos estariam envolvidos no fornecimento de energia para a manutenção do desenvolvimento fetal.

Depois da glicose, o lactato seria o substrato mais importante como fonte energética para o feto. Como visto anteriormente, do aporte de glicose para o útero gestante, cerca de 65% é utilizada no metabolismo oxidativo da unidade útero placentária (Bell, 1995). O mesmo autor menciona que, embora a maior parte da glicose captada por estas estruturas uterinas sejam completamente oxidadas, uma fração considerável (30 a 40%) é convertida anaerobicamente à lactato, que é então liberado na circulação fetal e materna. Do lactato que chega ao feto, 25% são completamente oxidados a CO_2 e H_2O e correspondem de um terço até a metade do aporte de carbono fornecido pela glicose. O restante do lactato presente no feto, provavelmente, é destinado à síntese de glicose via gliconeogênese (Battaglia e Meschia, 1978). A concentração de lactato em fetos bovinos, determinados por Comline e Silver (1976) variou de 14 a 22 mg/100 mL, enquanto que a concentração materna apresentou-se bem inferior, oscilando de 2 a 8 mg/100 mL.

Embora a utilização de lactato esteja frequentemente relacionada ao processo anaeróbico de utilização de glicose (como é o caso da placenta), cabe ressaltar que o feto não se constitui como um produtor de lactato, mas sim como grande consumidor desta substância. Trabalhos apresentados por Battaglia e Meschia (1978) observaram que, quando se aumentou o oxigênio fetal acima dos níveis normais pela administração de 100% de oxigênio para a mãe, não houve aumento no consumo de oxigênio pelo feto sugerindo que, em condições normais, os requisitos aeróbicos do feto estariam sendo atendidos. Além disso, tanto o pH fetal e materno se mantêm constantes durante a evolução da gestação (Comline e Silver, 1976).

O terceiro maior substrato para o metabolismo do útero gestante seriam os aminoácidos. A lista de aminoácidos que a mãe deve suprir para o feto inclui todos os aminoácidos essenciais e os aminoácidos que o feto é incapaz de sintetizar em quantidades adequadas (Perè, 2003), sendo o balanço entre aporte e utilização demonstrados na figura 4.

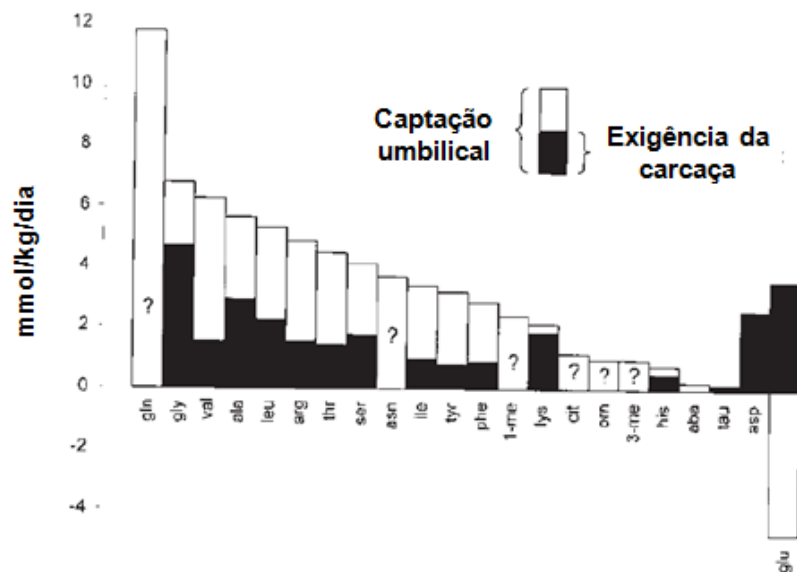


Figura 4. Comparação entre a exigência de aminoácidos para constituição da carcaça com o aporte médio de aminoácidos no feto ovino (Père, 2003)

Apesar de evidências indicarem que diversos aminoácidos são transportados de forma ativa da mãe para o feto, deve-se enfatizar que a placenta não transporta cada um dos aminoácidos incorporados como proteína pelo feto (Battaglia e Meschia, 1978). Os resultados do trabalho de Lemons et al. (1976) indicam ausência de aminoácidos ácidos (glutamato e aspartato) na circulação fetal, havendo inclusive um fluxo líquido de glutamato deste aminoácido para a

placenta, deixando evidente que estes são sintetizados pelo feto. De fato, neste trabalho, foi observado que o ácido glutâmico é fornecido pela placenta ao feto em grandes quantidades, que podem atingir 5 mmol/kg de feto/dia.

Já a quantidade de aminoácidos neutros e básicos (por exemplo, valina, leucina, isoleucina, arginina, fenilalanina e tirosina) presentes na veia umbilical está em considerável excesso em relação ao que é necessário para o crescimento fetal, sugerindo que alguns aminoácidos são destinados à transaminação e degradação oxidativa pelo feto (Lemons et al., 1976).

No trabalho de Ferrell (1991), enquanto a concentração de nitrogênio aminoacídico (α -amino-N) na artéria uterina variou de 17,10 a 18,86 mmol/litro, no feto esta variável oscilou entre 33,52 e 37,95 mmol/litro. Estes resultados comprovam que a concentração de aminoácidos livres é superior na circulação fetal em relação à circulação materna, sugerindo haver um mecanismo de transporte ativo, como foi comprovado em diversos trabalhos apresentados por Battaglia e Meschia (1978).

Aparentemente a eficiência de utilização da proteína, assim como a de utilização de energia, para a gestação é baixa. O NRC (2001) define que a eficiência de utilização da proteína metabolizável para o desenvolvimento do útero gestante corresponde a 33%. O mesmo fator de 33% foi também proposto por Bell (1995), que reportou que para deposição de 74 g/dia de proteína em fetos de vacas Holandesas entre 190 e 270 dias de gestação, é necessário o aporte uterino de 220 g de aminoácidos por dia.

Partindo do pressuposto que a oxidação de glicose e lactato sejam responsáveis pelo consumo de 50 a 60% do oxigênio do saco gestacional, de 30 a 40% deste consumo estaria associado ao catabolismo de aminoácidos (Bell, 1995). Comprovando este catabolismo, Ferrell (1991) observou que de todo o nitrogênio contido nos aminoácidos captados pelo feto, 72% são excretados na forma de ureia.

Battaglia e Meschia (1978) afirmam que as captações de ácidos graxos não esterificados, β -hidroxibutirato e acetoacetato pela circulação umbilical são consideradas baixas em ruminantes (vaca e ovelha), sendo este processo independente da concentração destes componentes na circulação materna, ao contrário do que foi descrito em outras espécies (roedores). Os mesmos autores afirmam, entretanto, que os ácidos graxos essenciais ou não essenciais possuem a capacidade de transpor a placenta, sendo estas moléculas destinadas à síntese de lipídios pelo próprio feto. Como a deposição de gordura por fetos bovinos é baixa, em torno de 12 g/dia,

equivalendo a menos de 5% da demanda energética fetal (Bell, 1995), torna-se lógico presumir que as baixas concentrações de ácidos graxos e seus derivados presentes no plasma do feto são suficientes para seu adequado desenvolvimento.

A importância dos ácidos graxos no desenvolvimento fetal (embora presente em baixas concentrações na circulação do feto de ruminantes) está principalmente associada ao desenvolvimento neurológico do mesmo, sendo que 50 a 60% da matéria seca cerebral é constituída por lipídeos, incluindo grande proporção de ácidos graxos polinsaturados de cadeia longa, especialmente o ácido docosahexaenoico e ácido aracdônico, ambos derivados de ácidos graxos essenciais, como ácido linoleico e α -linolênico (Larqué et al., 2011). A princípio, como determinado em porquinhos-da-índia e humanos, o próprio metabolismo fetal seria capaz de fazer esta conversão, desde que haja o aporte de ácidos graxos essenciais pela mãe (Crawford, 1976; Larqué, 2011).

Já os corpos cetônicos, a princípio, não apresentam valor no metabolismo oxidativo fetal, ao contrário do que ocorre no útero (Pethick e Lindsay, 1982). A completa oxidação de β -hidroxibutirato pelo útero gestante pode representar de 12 a 25% do oxigênio consumido por este órgão em ovelhas alimentadas e submetidas a jejum, respectivamente.

Apesar de sua abundância na circulação materna de ruminantes gestantes, o acetato contribui de forma muito modesta como substrato energético para o desenvolvimento do feto (Bauman e Currie, 1980), contribuindo com apenas 12 a 15% do substrato para o metabolismo oxidativo fetal (Bell, 1995).

Em suma, para o feto de ruminantes, a maior parte do carbono e nitrogênio necessário para seu metabolismo basal e desenvolvimento é suprida pela glicose, lactato e aminoácidos, havendo discreta contribuição do acetato (Bell, 1995), como mostra a figura 5.

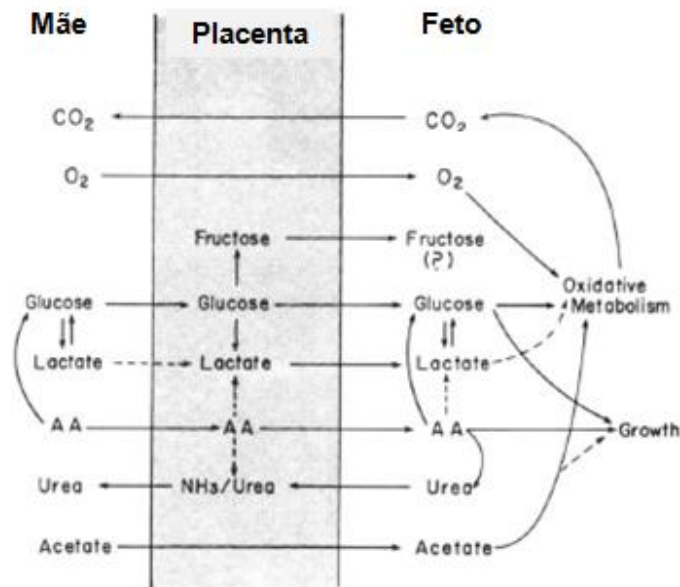


Figura 5. Esquema de utilização de substratos pelo feto de ruminantes (Bauman e Currie, 1980).

2.4. Alterações no metabolismo materno associadas à gestação

Como observado no item anterior, os substratos para o desenvolvimento fetal são oriundos exclusivamente, da unidade materna. Desta forma, adaptações metabólicas por parte da mãe para atender as demandas do feto são fundamentais, sendo estas alterações provavelmente controladas por sinais homeorréticos originados pelo concepto.

Conforme descrito a seguir, muitos foram os trabalhos que avaliaram o metabolismo de vacas gestantes por meio da técnica de abate objetivando maior entendimento do papel das vísceras da fêmea neste estágio fisiológico. Para entender a importância do estudo do metabolismo das vísceras vale ressaltar que, muito embora os órgãos viscerais correspondam a uma baixa proporção do peso vivo do animal (11 a 12%, incluindo gordura visceral e 5 a 6% sem a mesma), demandam cerca de 40 a 50% da energia destinada à manutenção (Huntington e Reynolds, 1987).

Em um dos primeiros trabalhos a respeito, Ferrell et al. (1976b) buscaram investigar os efeitos da gestação no metabolismo de órgãos (coração, fígado e rins) em novilhas Hereford. Os mesmos autores não encontraram efeitos da gestação sobre o tamanho e consumo de oxigênio destes órgãos em relação a novilhas não gestantes ($P > 0,05$). Ao avaliar vísceras de vacas Jersey secas gestantes ou vazias, Smith e Baldwin (1973) encontraram que o coração foi 12% superior nas vacas gestantes, sendo todas as outras variáveis avaliadas (carcaça, rúmen, omaso, abomaso, fígado, rins, pele, pulmões, baço e glândulas adrenais) estatisticamente semelhantes entre vacas gestantes e não gestantes.

De maneira contrária, num trabalho desenvolvido com ovelhas gestantes canuladas em vasos sanguíneos hepáticos, Freetly e Ferrell e (1998) identificaram aumento do fluxo sanguíneo pela veia porta e veia hepática no terço final da gestação, sendo também observado aumento do consumo de oxigênio pelas vísceras drenadas pelo sistema porta (PDV) e fígado, havendo, neste último, aumento da liberação de glicose 112 dias antes do parto ($P < 0,05$). Os resultados mostram que, conforme a gestação progride, a atividade metabólica do fígado também aumenta de forma que o aumento da produção de calor pela fêmea gestante pode não somente estar associada ao desenvolvimento do útero gestante, mas também pelo maior metabolismo hepático. As alterações descritas podem ser observadas nas figuras abaixo.

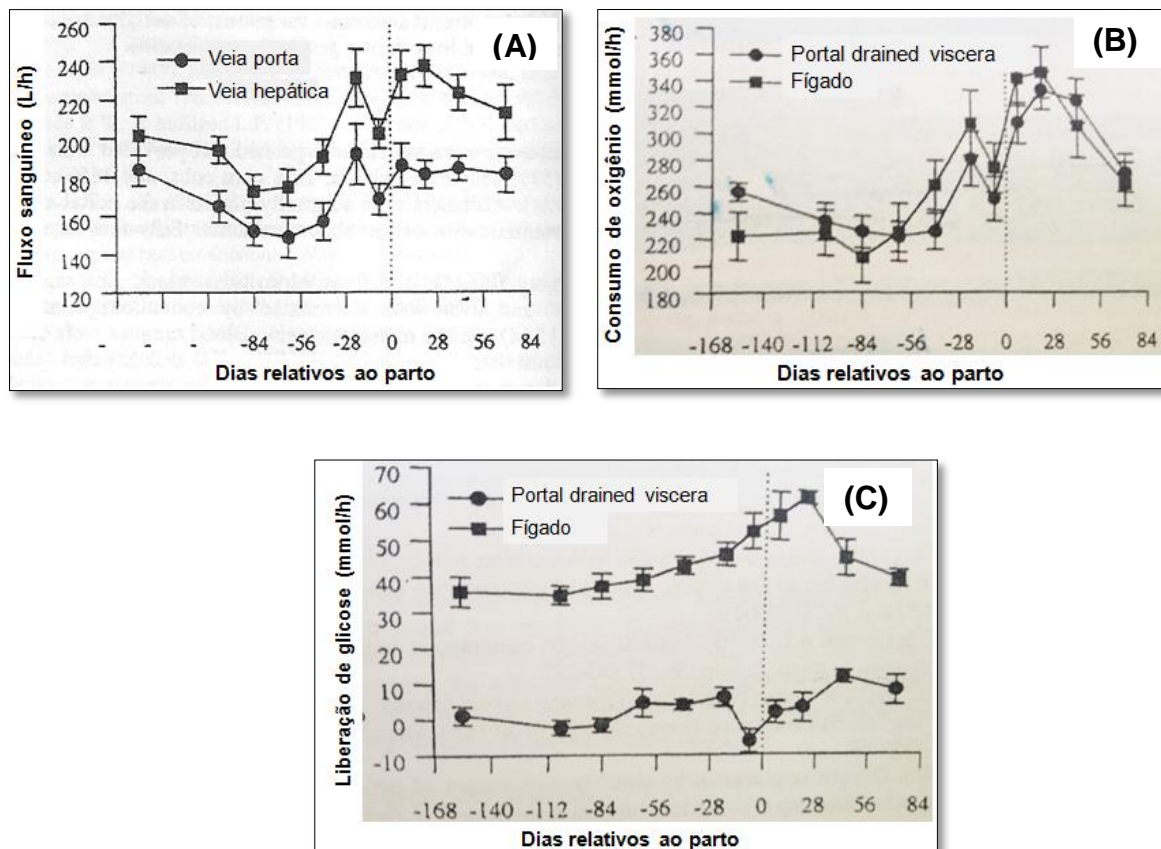


Figura 6. (A) Fluxo sanguíneo das veias porta e hepática (média \pm erro padrão), (B) Consumo de oxigênio pelas vísceras drenadas pelo sistema porta (média \pm erro padrão) e (C) liberação de glicose pelas vísceras drenadas pelo sistema porta de ovelhas adultas durante a gestação e lactação (Adaptado de Freetly e Ferrell, 1998).

O papel do fígado materno na gestação é de grande importância. No terço final da gestação, os níveis de estrógenos e progesterona aumentam. Como o fígado é o principal local no qual ocorre a metabolização de esteroides, o aumento do fluxo sanguíneo hepático pode ocorrer de forma a

otimizar o metabolismo destas substâncias (Freetly e Ferrell, 1998). Além disto, a gliconeogênese ocorre, principalmente, no fígado em mamíferos (Nelson e Cox, 2011).

Meyer et al. (2010) avaliaram os efeitos da gestação nas vísceras de vacas de corte aos 125 e 245 dias de gestação. Seus resultados apontam que a massa total dos estômagos, bem como o peso do rúmen foram semelhantes ($P>0,26$), assim como não foram encontradas diferenças no peso dos intestinos ($P>0,01$) e fígado ($P>0,22$) entre as idades gestacionais avaliadas. No mesmo trabalho, enquanto a celularidade (concentração de DNA) no duodeno foi superior com o avanço da gestação ($P=0,01$), o tamanho das células compondo duodeno e jejuno foi superior aos 125 dias de gestação ($P=0,02$). Corroborando a proposta de Freetly e Ferrell (1998), os autores sugerem que grande parte do aumento da exigência energética associada à gestação em ruminantes, se deve ao aumento nas taxas metabólicas de diversos órgãos. O aumento do metabolismo visceral, por sua vez, estaria associado ao aumento na massa dos órgãos durante a gestação (e não às taxas metabólicas propriamente ditas).

Resultados contrastantes foram apresentados por Scheaffer et al. (2003), que propõem uma vertente completamente diferente no entendimento do metabolismo da vaca gestante pois, segundo eles, a celularidade e consumo de oxigênio visceral seriam atenuados durante a gestação. Os autores encontraram maior celularidade no epitélio do jejuno, curiosamente associada à menor proliferação celular na cripta. Outros achados incluem a diminuição do consumo de oxigênio pelo íleo culminando com a diminuição da utilização de energia pelo intestino delgado, uma vez que também não foi constatada diferença no peso de vísceras avaliadas em novilhas gestantes e não gestantes. Um ponto interessante destacado pelos autores é que a menor proliferação celular nas criptas no jejuno de novilhas gestantes denota menor *turnover* celular, já que não foram detectadas alterações na morfologia e massa das vísceras. Em suma, isto significaria um aumento do comprimento das vilosidades no jejuno (em função do já mencionado aumento da celularidade), porém com maior tempo de “sobrevivência” do enterócito (pela menor taxa de replicação de células nas criptas jejunais). Em sua conclusão, os autores defendem que as alterações no metabolismo não podem ser associadas aos relatos de aumento nas taxas de metabolismo basal descritos em fêmeas gestantes e que a diminuição do *status* metabólico seria um mecanismo desenvolvido pela fêmea com o objetivo de poupar para a manutenção de suas funções vitais, deslocando assim, mais nutrientes para o feto.

Embora os resultados apresentados sejam contrastantes, trabalhos mais recentes (Camacho et al., 2014) concordam com a ideia de que o desenvolvimento da gestação requer aumento da taxa

metabólica de órgãos, particularmente do trato gastrointestinal, de forma a suprir adequadamente o feto. Os autores prosseguem o raciocínio mencionando que as adaptações do trato gastrointestinal acarretam no aumento da massa destes órgãos, culminando com o aumento da exigência energética materna.

Atualmente, a abordagem mais comum no estudo do metabólico da vaca gestante parece estar mais direcionada em avaliar os impactos de diferentes planos alimentares no metabolismo materno durante a gestação, sem haver preocupação em isolar os efeitos metabólicos em função da presença ou ausência do concepto. Entretanto, estes estudos fornecem algumas evidências que, de fato, indicam adaptações da biologia da fêmea ruminante em prol do desenvolvimento fetal.

Um exemplo, é o estudo de Wood et al. (2013). Avaliando diferentes planos nutricionais e seus efeitos sobre diversos parâmetros metabólicos em vacas aos 250 dias de gestação, estes autores submeteram os animais a dietas que forneciam 40% a mais da energia líquida para manutenção (EL_m) recomendada pelo NRC (2000) ou 15% a menos de EL_m . Os autores relatam que a massa do fígado, rins, pulmões, coração, pâncreas, baço e intestinos (delgado, ceco e reto) não diferiram entre os diferentes tratamentos ($P \geq 0,05$). Da mesma forma, o consumo de oxigênio hepático por miligrama de tecido não diferiu entre os tratamentos ($0,668 \times 0,549 \mu\text{L}/\text{mg}$ de tecido hepático/h para os níveis de alimentação alto e baixo, respectivamente; $P=0,12$), assim como a atividade da enzima citrato sintase foi semelhante entre os grupos avaliados. Além disso, o tamanho do feto não foi afetado pelos diferentes níveis de consumo de energia ($P=0,54$), denotando que, possivelmente, a restrição energética em 15% não foi suficiente para afetar o desenvolvimento fetal. Segundo os autores, isto é um indicativo claro de que mesmo em condições desfavoráveis, a fêmea gestante modula sua partição de nutrientes em favor do crescimento do concepto, embora estes mecanismos ainda não estejam completamente elucidados.

Como visto, alguns parâmetros do metabolismo energético dos animais avaliados no trabalho de Wood et al. (2013), como a avaliação indireta da manutenção (pela pesagem e consumo de oxigênio dos órgãos) e a avaliação de “abundância” mitocondrial (pela avaliação da atividade da citrato sintase) não foram suficientes para explicar o mesmo desenvolvimento fetal em diferentes níveis de consumo. Curiosamente, alterações no metabolismo proteico parecem apresentar respostas para esta questão. Os maiores níveis de ubiquitina (proteína utilizada como indicador de degradação proteica) no músculo esquelético de vacas gestantes recebendo dieta em nível restrito, denotam que para atender à exigência fetal, a mobilização de proteína muscular pode ser um mecanismo para suprir o aumento da demanda energética imposta pela gestação. As concentrações de glicose

foram mais elevadas nas vacas recebendo dieta com maior densidade energética no início e meio do experimento ($P \leq 0,05$), igualando-se ao final do experimento ($P=0,17$), quando houve o abate das vacas aos 250 dias de gestação.

Em relação ao maior suprimento de nutrientes para o feto, a glicose merece especial atenção por ser o principal substrato para desenvolvimento do concepto. Em função do grande consumo de glicose fetal, a fêmea gestante possui duas opções para aumentar a disponibilidade deste substrato para gestação: aumento da produção de glicose (Bell, 1995) ou redução da utilização deste açúcar pelos tecidos maternos (Lindsay, 1971; Bell, 1995).

Em ovinos, grande parte do aumento da gliconeogênese pelo metabolismo materno pode ser atribuída ao aumento do consumo de energia, mas o nível de glicose circulante na mãe é aumentado no terço final da gestação mesmo em situações nas quais ocorre restrição alimentar, havendo inclusive, maior eficiência na produção de glicose a partir do propionato (Wilson, 1983). A produção de glicose está, provavelmente, associada ao aumento da mobilização de tecidos periféricos, bem como à maior captação hepática de precursores endógenos, como aminoácidos oriundos da mobilização de tecido muscular e glicerol originado da quebra de triacilgliceróis do tecido adiposo (Bell e Bauman, 1997). Este maior aporte de substratos derivados da mobilização pode, possivelmente ser explicado pelo maior fluxo sanguíneo hepático (Freetly e Ferrell, 1998), aliado a um “incentivo” de processos catabólicos induzidos pelo processo de resistência à insulina, descrito a seguir.

A resistência à insulina é definida como um estado no qual uma concentração de insulina induz uma resposta biológica inferior em tecidos sensíveis à insulina (Koster e Opsomer, 2013). Para estes mesmos autores está claro que vacas leiteiras são resistentes à insulina nos estágios finais da gestação e início da lactação. Em estudo desenvolvido para avaliar a resposta na secreção de insulina diante de infusão de glicose exógena e a responsividade de tecidos à insulina exógena na fase final da gestação de vacas de corte, foi observado que vacas gestantes (21 a 60 dias antes do parto) apresentaram menor responsividade dos tecidos à insulina, quando comparadas a vacas não gestantes (Sano et al., 1991). Estes autores sugerem que possivelmente haja uma diminuição no número de receptores para a insulina na fase final da gestação nos tecidos periféricos, uma vez que a captação de glicose pelo útero gestante é insulino-independente.

Os efeitos da resistência à insulina em diversos tecidos estão sumarizados na tabela 4.

Tabela 4. Efeitos da resistência à insulina em diferentes tecidos insulino-sensitivos

Tecido	Via metabólica	Efeito da resistência à insulina
Fígado	Glicogênese	↓
	Cetogênese	↑
	Síntese triacilglicerol	↓
	Gliconeogênese	↑
	Glicogenólise	↑
	Glicólise	↓
	Síntese proteica	↓
	Degradação proteica	↑
Músculo esquelético	Captação de glicose	↓
	Utilização corpos cetônicos	↓
	Síntese proteica	↓
	Degradação proteica	↑
	Glicólise	↓
	Glicogenólise	↑
	Glicogênese	↓
Tecido Adiposo	Lipólise	↑
	Lipogênese	↓
	Captação de glicose	↓

Adaptado de Koster e Opsomer (2013)

Diante da resistência à insulina, espera-se que, portanto, os efeitos deste hormônio sejam reduzidos nos diferentes tecidos insulino-sensíveis. Lindsay (1971) alega que hormônios esteroides (estrógenos e progesterona), cujos níveis encontram-se elevados na fase final da gestação, estariam envolvidos no processo de resistência a insulina, pois estes hormônios foram associados a efeitos diabetogênicos em ratos. A diminuição dos efeitos da insulina aparentemente está relacionada com a menor expressão de receptores para este hormônio, em especial, o GLUT-4, que é responsável em transportar a glicose do meio extra para o meio intracelular.

O desenvolvimento da resistência à insulina no tecido adiposo acaba por favorecer a lipólise e, como consequência, a liberação de ácidos graxos pelos efeitos inibitórios da insulina sobre a lipogênese e reesterificação dos ácidos graxos neste tecido (tabela 4). Os níveis circulantes de

ácidos graxos não esterificados (AGNE) e corpos cetônicos tendem a se elevar nos estágios finais da gestação, mesmo em animais cuidadosamente alimentados de forma a atender as exigências nutricionais neste período (Pettersson et al., 1994).

Em uma compilação de estudos avaliando o metabolismo lipídico na gestação (trabalhos principalmente desenvolvidos com ratos), Herrera et al. (1987) apontam a existência de um quadro de hipertrigliceridemia na segunda metade da gestação. Segundo os autores, este quadro está associado ao aumento da lipólise no tecido adiposo, aumentando a disponibilidade de substratos para síntese hepática de triacilgliceróis (TAG), que juntamente com modificações endógenas, promove um aumento no fluxo sanguíneo destes componentes na forma de VLDL (*very low density lipoprotein*). Esse aumento dos níveis de TAG na circulação materna na segunda metade da gestação seria estabilizado até seus estágios finais pela diminuição da atividade da enzima lipase lipoproteica (LPL) nos tecidos extra-hepáticos, impedindo a remoção destes compostos lipídicos, de forma a criar uma “reserva” energética para a síntese de leite materna logo antes do parto.

O aumento de triacilgliceróis também estaria associado ao aumento sérico de quilomícrons provenientes da dieta (Herrera et al., 1987). A maior absorção de TAG oriundos da dieta ocorreria em função da diminuição do trânsito gastrointestinal, que permitiria maior absorção destes componentes. Entretanto, a taxa de passagem de vacas no último trimestre da gestação foi identificada como superior àquela determinada em vacas não gestantes (Hanks et al., 1993), sendo este efeito também descrito em ovinos (Coffey et al., 1989; Gunter et al., 1990), limitando a aplicação desta informação para ruminantes.

Em ruminantes gestantes, o metabolismo proteico tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores. Entretanto, pelos efeitos da resistência a insulina desenvolvida nos estágios finais da gestação no metabolismo proteico pode-se inferir que ocorra um aumento na degradação proteica de tecidos extra-hepáticos, principalmente no músculo esquelético, uma vez que a insulina (em seu modo de ação normal) é responsável pela síntese proteica (Koster e Opsomer, 2013). Como já mencionado anteriormente, esta maior mobilização proteica na musculatura esquelética é também abordada por Wood et al. (2013) ao descrever maiores níveis de ubiquitina na musculatura esquelética de vacas gestantes recebendo alimentação restrita (abaixo da exigência proposta pelo NRC, 2000).

Bell (1995) relata haver aumento na produção de proteína hepática (%/dia) no período periparturiente de vacas holandesas e que isto estaria de acordo com o a hipertrofia identificada no fígado de ovelhas (Campbell e Ferrell, citado por Bell, 1995). Já Scheaffer et al. (2003) descreveram menor conteúdo proteico ($P=0,07$) no fígado de novilhas de corte gestantes, quando comparadas a novilhas não gestantes, sem haver, entretanto, alteração da celularidade deste órgão em função da gestação. Os autores deste trabalho indicam que esta redução do teor proteico hepático seria provavelmente em função da diminuição nos níveis de proteínas exportadoras. Entretanto, esta explicação não parece plausível, uma vez que o consumo de oxigênio pelo fígado parece aumentar com o avançar da gestação (Freetly e Ferrell, 1998).

Avaliando diversos níveis proteicos de dietas fornecidas para vacas holandesas por, aproximadamente, 50 dias antes do parto, Putnam e Varga (1998) observaram relação linear e significativa entre os níveis proteicos dietéticos e a produção de glicose ($P=0,05$) e nitrogênio ureico plasmático ($P=0,0001$) sem, entretanto, observar alterações nas concentrações séricas de insulina e AGNE. Para os autores, tais achados indicam claramente que a rota preferencial dos aminoácidos produzidos pelo processo da digestão seria a via gliconeogênica. Como o feto caracteriza-se como grande consumidor de aminoácidos no terço final da gestação, um aumento no suprimento de aminoácidos via dieta consumida pela mãe acarreta aumento da produção de glicose materna, que por sua vez, é “direcionada” preferencialmente para o útero gestante.

Em suma, as adaptações maternas para suportar o desenvolvimento do conceito, possivelmente, incluem (especialmente no terço final): aumento da gliconeogênese hepática aliada à redução na utilização de glicose pelos tecidos periféricos; aumento nas concentrações de AGNE e corpos cetônicos, originados da mobilização do tecido adiposo, com consequente aumento da utilização destas substâncias pelos tecidos periféricos e aumento da degradação proteica do músculo esquelético.

3. BIBLIOGRAFIA

- BATTAGLIA, F.C.; MESCHIA, G. Principal substrates of fetal metabolism. *Phys. Rev.*, n.2, v.58, p.499-521, 1978.
- BAUMAN, D.E.; CURRIE, W.B. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.*, n.63, p.1514-1529, 1980.
- BELL, A.W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.*, n.73, p.2804-2819, 1995.
- BELL, A.W.; BAUMAN, D.E. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *J. Mam. Gland Biol. Neop.*, v.2, n.3, 1997.
- BELL, A.W.; SLEPETIS, R.; EHRHARDT, R.A. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in holstein cows. *J. Dairy Sci.*, n.78, p.1954-1961, 1995.
- CAMACHO, L.E.; LEMLEY, C.O.; VAN EMON, M.L. et al. Effects of maternal nutrient restriction followed by realimentation during early and mid gestation on beef cows. I. Maternal performance and organ weights at different stages of gestation. *J. Anim. Sci.*, n.92, p.520-529, 2014.
- COFFEY, K. P.; PATERSON, J. A.; SAUL, C. S. et al. The influence of pregnancy and source of supplemental protein on intake, digestive kinetics and amino acid absorption by ewes. *J. Anim. Sci.*, n.67, p.1805-1814, 1989.
- COMLINE, R.S.; SILVER, M. Some aspects of foetal and uteroplacental metabolism in cows with indwelling umbilical and uterine vascular catheters. *J. Physiol.*, n.260, p.571-586, 1976.
- CRAWFORD, M. A.; WILLIAMS, G.; HASSAM, A. G. Essential fatty acids and fetal brain growth. *Prel. Com.*, n.28, 1976.
- ELEY, R.M.; THATCHER, W.W.; BAZER, F.W. et al. Development of the conceptus in the bovine. *J. Dairy Sci.*, n.61, p.467-473, 1978.

- FERRELL, C.L. Maternal and fetal influences on uterine and conceptus development in the cow: II. Blood flow and nutrient flux. *J. Anim. Sci.*, n.69, p.1954-1965, 1991.
- FERRELL, C.L.; GARRETT, W.N.; HINMAN, N. Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *J. Anim. Sci.*, n.42, p.1477-1489, 1976a.
- FERRELL, C.L.; GARRETT, W.N.; HINMAN, N.; GRICHTING, G. Energy utilization by pregnant and non-pregnant heifers. *J. Anim. Sci.*, n.42, p.937-950, 1976b.
- FERRELL, C.L.; T. G. JENKINS, T.G. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *J Anim Sci*, v. 61, n. 3, p. 725 – 741, 1985.
- FREETLY, H.C.; FERRELL, C.L. Changes in gut and liver glucose release and oxygen consumption during gestation and lactation in the ewe. In: Energy and Protein Metabolism and Nutrition, 14., 1998, Newcastle. *Proceedings...Newcastle: CAB International 1998. P. 35 – 38.*
- GUNTER, S.A.; JUDKINS, M.B.; KRYSL, L.J. et al. Digesta kinetics, ruminal fermentation characteristics and serum metabolites of pregnant and lactating ewes fed chopped alfalfa hay. *J Anim Sci.*, n.68, p.3821-3831, 1990.
- HANKS, D.R.; JUDKINS, M B.; MCCRACKEN, B A. et al. Effects of pregnancy on digesta kinetics and ruminal fermentation in beef cows. *J. Anim. Sci.* n.71, p.2809-2814. 1993.
- HERRERA, E.; GÓMEZ-CORONADO, D.; LASUNCIÓN, M.A. Lipid metabolism in pregnancy. *Biol. Neonate*, n.51, p.70-77, 1987.
- HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, C.K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. *J. Nutr.*, v.117, p.1167-1173, 1987.
- KOSTER, J.D.D.; OPSOMER, G. Insulin resistance in dairy cows. *Vet. Clin. Food Anim.*, n.29, p.299-322, 2013.
- LARQUE, E.; DEMMELMAIR, H.; GIL-SÁNCHEZ, A. et al. Placental transfer of fatty acids and fetal implications. *Am. J. Clin. Nutr.*, n.94, 2011.

- LEMONS, J.A.; ADCOCK, E.W.; JONES, M.D. et al. Umbilical uptake of amino acids in the unstressed fetal lamb. *J. Clin. Invest.*, v.58, p.1428-1434, 1976.
- LINDSAY, D.B. Changes in the pattern of glucose metabolism in growth, pregnancy and lactation in ruminants. *Proceed. Nutr. Soc.*, v.3, p.272-277, 1971.
- MEYER, A.M.; REED, J.J.; VONNAHME, K.A. et al. Effects of stage of gestation and nutrient restriction during early to mid-gestation on maternal and fetal visceral organ mass and indices of jejunal growth and vascularity in beef cows. *J. Anim. Sci.*, n.88, p.2410-2424, 2010.
- MOE, P.W.; TYRRELL, H.F. Metabolizable energy requirements of pregnant dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.55, n.4, p.480-483, 1972.
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 2000. 242p.
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.
- NELSON, D.L.; COX, M.M. *Princípios de Bioquímica de Lehninger*. 5 ed. São Paulo, 2011. 1273p.
- PÈRE, M.C. Materno-foetal exchanges and utilisation of nutrients by the foetus: comparison between species. Review. *Reprod. Nutr. Dev.*, n.43, p.1-15, 2003.
- PETHICK, D. W.; LINDSAY, D. B. Metabolism of ketone bodies in pregnant sheep. *Br. J. Nutr.*, v. 48, p.549-563, 1982.
- PETTERSON, J.A.; SLEPETIS, R.; EHRHARDT, R.A. Pregnancy but not moderate indernutrition attenuates insulin suppression of fat mobilization in Sheep. *J. Nutr.*, v.124, p.2431-2436, 1994.
- PRIOR, R.L.; LASTER, D.B. Development of the bovine fetus *J. Anim. Sci.*, n.48, p.1546-1553, 1979.

- PUTNAM, D.E.; VARGA, G.A. Protein density and its influence on metabolite concentration and nitrogen retention by Holstein cows in late gestation. *J. Dairy Sci.*, v.81, p.1608-1618, 1998.
- RAGSDALE, C.; TURNER, C.W.; BRODY, S. The effect of gestation upon lactation in the dairy cow. *J. Dairy Sci.*, n.1, v.2, p.24-30, 1923.
- RATTRAY, P.V.; GARRETT, W.N.; EAST, N.E.; HINMAN, N. Growth, development and composition of the ovine conceptus and mammary gland during pregnancy *J. Anim. Sci.*, n.3, v.38, p.613-626, 1974.
- REYNOLDS, L.P.; MILLAWAY, D.S.; KIRSCH, J.D. et al. Growth and in-vitro metabolism of placental tissues of cows from day 100 to day 250 of gestation. *J. Reprod. Fert.*, n.89, p.213-222, 1990.
- SANO, H.; NAKAI, M.; KONDO, T.; TERASHIMA, Y. Insulin responsiveness to glucose and tissue responsiveness to insulin in lactating, pregnant, and nonpregnant, nonlactating beef cows. *J. Anim. Sci.*, n.69, p.1122-1127, 1991.
- SCHEAFFER, A.N.; CATON, J.S.; BAUER, M.L. et al. The effect of pregnancy on visceral growth and energy use in beef heifers. *J. Anim. Sci.*, n.81, p.1853-1861, 2003.
- SMITH, N.E.; BALDWIN, R.L. Effects of breed, pregnancy, and lactation on weight of organs and tissues in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, n.9, v.57, p.1055-1060, 1973.
- SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.; OLSSON, K. Endocrinology of milk production. *Domest Anim Endocrin*, v. 29, p. 241 – 258, 2005.
- THORBURN, G.D.; HOPKIN, P.S. Thyroid function in yhe foetal lamb. In: Sir Joseph Barcroft Centenary Symposium, 1972, Cambridge. *Proceedings...* Cambridge: Cambridge University Press 1972. P.488.
- TODINI, L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors. *Animal*, n.1, v.7, p.997-1008, 2007.
- TUCKER, H.A. Hormones, mammary growth and lactation: a 41-Year perspective. *J Dairy Sci*, v. 83, p. 874 – 884, 2000.

WOOD, K.M.; AWDA, B.J.; FITZSIMMONS, C. et al. Effect of moderate dietary restriction on visceral organ weight, hepatic oxygen consumption, and metabolic proteins associated with energy balance in mature pregnant beef cows. *J. Anim. Sci.*, n.91, p.4245-4255, 2013.

CAPÍTULO 2

Consumo de nutrientes e partição da energia de vacas Gir e F1 Holandês x Gir no terço final da gestação

1. INTRODUÇÃO

Não restam dúvidas de que dentro do processo produtivo da pecuária, as fêmeas sejam os indivíduos mais desafiados pelas constantes modificações fisiológicas às quais são impostas. Dentre estas modificações, a lactação tem sido exaustivamente estudada em ruminantes nos últimos anos (Tucker, 2000; Svennersten e Olsson, 2005) por sua importância em garantir a saúde da prole (no caso de monogástricos e ruminantes), bem como por sua importância econômica para o fornecimento de matéria prima para a indústria láctea (no caso de ruminantes). Entretanto, o “pré-requisito” para que a lactação ocorra, a gestação, tem sido um tanto quanto negligenciada nas pesquisas, especialmente no que concerne ao entendimento do metabolismo de vacas gestantes.

Ferrell et al. (1976a) descreveram o conhecimento do metabolismo energético e das exigências nutricionais durante a gestação de fêmeas bovinas como de suma importância para garantir a saúde da mãe e o adequado desenvolvimento do feto. De forma adversativa, os mesmos autores mencionaram a limitação da informação científica disponível relativa a este tema. Quarenta anos mais tarde, as afirmações destes autores ainda podem ser legitimamente consideradas, sobretudo no tangente às informações sobre o metabolismo energético da gestação de vacas de raças zebuínas e seus cruzamentos.

Na década de 90, Bell et al. (1995) agregaram informações valiosas a respeito do desenvolvimento da gestação pela avaliação do conteúdo energético do útero em vários estádios gestacionais. Os autores, por fim, estipularam que com menos de 190 dias o acréscimo na exigência de energia imposta pela gestação seria pífio e que, portanto, não deveria ser considerada na formulação de dietas para vacas leiteiras, sendo tal recomendação adotada pelo NRC (2001)

O objetivo com este trabalho, portanto, foi descrever a utilização de nutrientes e a partição energética de vacas Gir e Holandês x Gir (F1 H x G) aos 180, 210 e 240 dias de gestação, utilizando-se de respirometria.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas instalações do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (Brasil), no período de julho de 2012 a agosto de 2014.

2.1. Animais utilizados

Foram utilizadas seis vacas Gir e seis vacas F1 Holnadês x Gir, gestantes (gestação obtida via inseminação artificial com sêmen de touro Holandês), oriundas do município de Felixlândia, MG. As vacas Gir possuíam peso médio inicial de $435,2 \pm 49$ kg e as vacas F1 H x G apresentaram peso médio inicial de $515,6 \pm 81$ kg, gentilmente cedidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

2.2. Manejo e dieta experimental

Durante o experimento, os animais foram mantidos em regime de confinamento do tipo *tie-stall* em galpão de alvenaria, com baias individuais equipadas com estrados de borracha. As instalações permitiram a exposição diária dos animais a luz solar e livre acesso à água disposta em bebedouros individuais. A dieta era composta por silagem de milho, farelo de soja e núcleo mineral comercial. Todas as vacas receberam a mesma dieta experimental, duas vezes ao dia (8h e 16h) e a sua composição em cada período de avaliação está demonstrada na tabela 1.

Tabela 1. Composição média da dieta experimental (% da matéria seca) fornecida para vacas Gir e F1 Holandês x Gir nos períodos de avaliação aos 180, 210 e 240 dias de gestação

Item	Período de avaliação		
	180	210	240
% inclusão farelo de soja	6,20	17,10	17,75
EM ¹ (kcal/kg MS)	2,68	2,76	2,74
EL ² (kcal/kg MS)	1,62	1,63	1,78
% MO	91,02	91,86	91,01
% PB ³	10,51	15,42	15,24
% EE ⁴	2,16	2,22	2,40
% FDNcp ⁵	55,00	50,00	49,70
% CNF ⁶	21,04	21,94	22,16
% NDT ⁷	60,20	67,30	65,81
% Ca ⁸	0,65	0,67	0,64

% P ⁹	0,39	0,46	0,43
Ca:P	1,66	1,44	1,49

¹Energia metabolizável; ²Energia líquida; ³Proteína bruta (N*6,25); ⁴Extrato etéreo; ⁵Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína; ⁶Carboidratos não-fibrosos; ⁷Nutrientes digestíveis totais; ⁸Cálcio; ⁹Fósforo.

Inicialmente houve um período de adaptação à dieta experimental dos 150º ao 180º dia de gestação. Neste intervalo, houve ajustes para o consumo de matéria seca pelos animais em função do ganho médio diário de peso vivo e observação do escore de condição corporal dos mesmos. O objetivo do período de adaptação consistia em garantir que todos os animais apresentassem consumo suficiente para manter a condição corporal em 3,5 (Wildman et al., 1982) e ganho de peso corporal controlado, de modo que houvesse mínima interferência da energia retida como ganho de peso na obtenção dos valores de energia líquida para gestação sem, entretanto, criar uma restrição à fêmea gestante capaz de provocar mobilização tecidual e/ou prejuízo ao desenvolvimento fetal. O ganho médio obtido dos 180 aos 240 dias de gestação foi de 0,507 g/dia para vacas F1 HxG e 0,472 g/dia para as vacas Gir. A dieta fornecida durante o período de adaptação teve composição idêntica àquela fornecida aos 180 dias de gestação.

A partir do 180º dia de gestação, foram iniciadas as aquisições de dados *in vivo*, havendo o fornecimento das dietas experimentais (tabela 1) em quantidade restrita, para que, a princípio, possuísse concentração energética equivalente a 1,2 vezes a exigência de energia líquida para manutenção.

3. Aquisição de dados *in vivo*

3.1. Ensaio de digestibilidade aparente

Conforme as demonstrações do trabalho de Bell et al. (1995), o NRC (2001) postula que a exigência de energia e nutrientes para gestação só se torna significativa a partir do 190º dia e portanto, o cronograma do experimento foi desenvolvido para que fossem iniciadas coleta total de fezes e avaliação em câmara respirométrica aos 180, 210 e 240 dias de gestação.

Os ensaios de digestibilidade aparente tiveram cinco dias de duração cada, havendo o fornecimento da dieta nos mesmos horários do período de adaptação (8h e 16h). Durante este período, de cinco dias, foram pesadas individualmente a quantidade total de alimento

fornecido e a produção fecal diária. Logo em seguida foram coletadas amostras do alimento oferecido e fezes (cerca de 400g). Em função da quantidade restrita de alimento fornecido, não houve necessidade de coleta de sobras. As amostras coletadas foram congeladas em câmara fria a -18°C para futuros processamentos e análises.

3.2. Coleta de urina

Após a realização dos ensaios de consumo e digestibilidade aparente e das mensurações em câmara respirométrica em diferentes idades gestacionais, foi realizada a coleta total de urina dos animais (em média, aos 253 dias de gestação). Para a coleta total de urina, utilizou-se a sondagem uretral dos animais com sonda Folley nº26. Uma vez inserida e fixada, acoplou-se a sonda um fragmento de mangueira siliconada com aproximadamente dois metros de comprimento, que por sua vez, era fixado a um galão higienizado contendo 500ml de ácido sulfúrico a 20%, de forma que o pH atingido na solução de urina e ácido fosse inferior a 2,0, evitando assim, a volatilização do nitrogênio urinário (Valadares et al., 2001; Chizzotti et al., 2007).

Cada animal permaneceu com a sonda por um período total 72h, sendo 24h para adaptação à sonda e as outras 48h destinadas à mensuração do volume urinário total e amostragem para futuras análises. A produção urinária diária foi obtida pela soma da medição da urinária diária com auxílio de proveta graduada. Durante a medição, a urina foi homogeneizada e uma amostra foi retirada. As amostras de urina foram acondicionadas em frascos plásticos higienizados e, em seguida, armazenados em câmara fria a -20°C para futuras análises laboratoriais. A produção urinária diária foi obtida pela média da quantidade de urina excretada nas últimas 48h da coleta.

3.3. Mensurações na Câmara Respirométrica

Após a realização do ensaio de digestibilidade aparente, foram iniciadas as mensurações realizadas na câmara respirométrica, sendo o sistema utilizado brevemente descrito no tópico a seguir.

3.3.1. Descrição do sistema de respirometria em circuito aberto

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

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

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

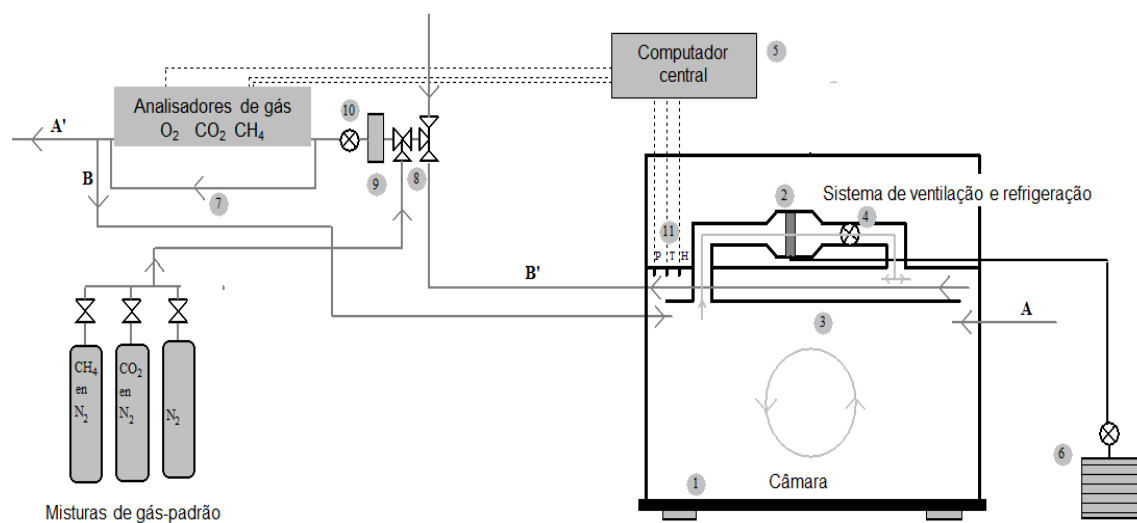


Figura 1. Diagrama simplificado do equipamento de respirometria. (1) plataforma na qual se encontra o animal; (2) radiador; (3) teto falso (4) turbina; (5) computador para aquisição de dados; (6) refrigerador de ar; (7) circuito *by-pass*; (8) solenoide (9) controlador de fluxo de gás (10) bomba hermética;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

O ar que deixa a câmara pela ação da bomba de sucção é conduzido por uma tubulação até uma área exterior ao laboratório, havendo concomitantemente uma amostragem do mesmo

pela bomba hermética (Figura 1) que é destinada ao sistema exemplificado na figura para avaliação pelos analisadores de gás. Estes se encontram em sistema *by pass*, isto é, todos estão interconectados, permitindo a passagem de uma mesma amostra por todos os analisadores. Os analisadores de gás utilizados neste experimento são oriundos da empresa SABLE SYSTEMS[®], sendo os seguintes modelos utilizados: analisador de oxigênio TA-1B O₂ Analyzer; analisador de dióxido de carbono CA-2A CO₂ Analyzer e analisador de metano MA-1 CH₄ Analyzer.

A avaliação dos gases pelos analisadores ocorrem em ciclos. Considera-se o início de cada ciclo quando o circuito é deslocado automaticamente pelo equipamento para uma tubulação responsável pela amostragem de ar atmosférico, que está conectada com uma área externa ao laboratório, e uma amostra deste ar é coletada. A amostra do ar externo (atmosférico) é denominada “linha base” e circula por todo o circuito (Figura 1 – AA’) até que seja feita a análise do material gasoso. A seguir, o sistema é deslocado para um circuito fechado de amostragem (Figura 1 – BB’) e ocorre a amostragem do ar do interior da câmara e sua análise pelo sistema pelos analisadores. No caso dos equipamentos utilizados, cada ciclo teve duração de cinco minutos (isto é, tanto o ar externo ou linha base, assim como a amostra de gás da câmara, passavam continuamente pelo sistema durante cinco minutos), havendo registro da concentração da amostra de gás a cada dois segundos neste período. De maneira bem simplificada, o consumo de oxigênio e a produção de metano e dióxido de carbono pelo animal são calculados pela diferença entre a quantidade de um gás no ar externo e a quantidade deste mesmo gás na amostra obtida no interior da câmara respirométrica (o volume de cada gás pode ser obtido uma vez que se tem o conhecimento de sua concentração juntamente com o valor do fluxo pré-determinado). Descrições mais detalhadas do sistema e seu funcionamento foram feitas por Silva (2011).

Como o material analisado é de natureza gasosa, é de suma importância o controle de temperatura, pressão e umidade do sistema, uma vez que estes fatores são responsáveis por alteração no volume de cada gás avaliado em relação às condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Antes de se iniciarem as mensurações na câmara, é necessário que esta tenha seus fatores de correção determinados. O fator de correção é a correlação entre a leitura da concentração que os analisadores fazem e a concentração real deste gás, que foram determinados como sendo de

1,0001 para o oxigênio, 0,8972 para o dióxido de carbono e 1,0755 para o gás metano. Recentemente, a metodologia para sua determinação foi descrita por Silva (2011).

3.3.2. Rotina na utilização da respirometria calorimétrica

O tipo de analisadores de gás utilizados neste experimento exigiu a calibração diária dos mesmos, a fim de garantir a confiabilidade da leitura. O tempo despendido nessa atividade foi em média de duas horas por dia.

Cilindros contendo gases de concentração conhecida foram acoplados ao sistema por tubulações conectadas aos analisadores. A concentração dos gases utilizados é determinada em função do limite de leitura de cada analisador, pois cada equipamento possui um intervalo de leitura diferente. No processo de calibração era aberta primeiramente a válvula do cilindro de nitrogênio. Embora este gás não tenha sido avaliado pelos analisadores descritos, sua função era garantir (além da “limpeza” da tubulação do sistema) que os analisadores demonstrassem leitura equivalente a zero, pois os outros gases utilizados foram diluídos em nitrogênio, evitando assim sua interferência nas próximas leituras de calibração subsequente. Em seguida, o cilindro contendo CO_2 a 5% foi acoplado ao sistema e este gás passava pelo sistema também cumprindo um ciclo de cinco minutos. O mesmo aconteceu com o cilindro contendo CH_4 a 1%. O analisador de O_2 foi calibrado utilizando-se como referência o próprio ar externo, que possui a concentração deste gás conhecida, de 20,946%.

Ao final de cada ciclo, a leitura feita pelo respectivo analisador de cada gás deveria indicar a concentração com o valor mais próximo possível da concentração indicada nos cilindros. No caso do CO_2 a concentração lida pelo equipamento oscilou entre 4,990 e 5,007 e para o CH_4 o intervalo permitido era de 0,997 a 1,003. No caso do N_2 , todos os aparelhos deviam apresentar valores próximos de zero, com margem de pelo menos duas casas decimais, podendo haver variação somente na terceira casa. Para o O_2 , a leitura indicada pelo seu analisador esteve entre 20,9450 e 20,9510.

A calibração consiste em ajustar a leitura do analisador ao final de cada ciclo de 5 minutos, para os intervalos de concentração permitidos para cada gás. O equipamento só pode ser considerado calibrado quando, após três rodadas (cada rodada corresponde aos quatro ciclos de cinco minutos necessários para todos os gases – N_2 , CO_2 , CH_4 e O_2), os analisadores de cada gás apresentassem o valor permitido para concentração específica de cada gás, sem a necessidade de ajuste do equipamento.

Feita a calibração, a mensuração da produção e consumo de gases pelo animal era iniciada. O fluxo do fluxômetro de massa era ajustado de acordo com o peso vivo do animal e eram também conferidos o bom funcionamento dos sistemas de circulação e refrigeração do ar, de forma a garantir o mínimo de desconforto para o animal alojado no interior da câmara respirométrica.

3.3.3. Mensurações na câmara com animais alimentados

Os animais utilizados tiveram seu consumo e produção de gases determinados recebendo a mesma dieta fornecida em cada ensaio de digestibilidade aparente (silagem, farelo de soja e mistura mineral pertencente à mesma partida). Após a calibração dos analisadores e conferência do fluxo de ar, cada animal foi conduzido até a câmara respirométrica. O animal só foi alimentado imediatamente antes do início da leitura para que dados de produção de gás (e como consequência, a produção de calor) associados à alimentação não fossem perdidos. A câmara era então fechada e assim iniciava-se a leitura, que prosseguia até o dia seguinte (totalizando, em média, 20h de leitura), conforme descrito no item anterior.

É fundamental que, para a realização de mensurações na câmara respirométrica, os animais mantenham o consumo observado no ensaio de digestibilidade aparente, como foi o caso neste experimento. Aqueles animais que, por algum motivo, apresentaram consumo da dieta muito diferente do esperado (e tiveram tal diferença refletida nos dados de produção de calor, quociente respiratório e consumo e produção dos gases O₂, CO₂ e CH₄) foram submetidos a uma nova mensuração, na qual havia o consumo da totalidade da dieta fornecida.

3.4. Análises químicas

Previamente ao envio das amostras para análise laboratorial, o material coletado (alimento oferecido e fezes do ensaio de digestibilidade aparente, e do alimento oferecido no período de mensuração na câmara respirométrica) foi submetido à secagem em estufa ventilada a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ para determinação do teor de matéria pré-seca e, uma vez realizada a pré-secagem, foi realizada a moagem em moinho estacionário “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 5 mm. A seguir, foi feita uma amostra composta representativa para cada um dos ensaios de digestibilidade aparente totalizando, portanto, uma amostra de cada alimento da dieta oferecida em cada período e uma amostra de fezes para cada animal em cada período. Cada amostra foi então moída em moinho “Thomas-Willey” modelo 4, em peneira de 1 mm, sendo as amostras estocadas em frascos plásticos identificados com tampa.

As análises químicas de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}) foram realizadas em parceria com o Laboratório de Alimentos do Centro Nacional de Pesquisas em Gado de Leite (EMBRAPA – CNPGL), localizado em Juiz de Fora (MG). As análises de matéria mineral, energia bruta e nitrogênio urinário foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG, localizado em Belo Horizonte, MG. As amostras de silagem, farelo de soja e fezes foram submetidas a análises de matéria seca, matéria mineral, proteína bruta (N*6,25) e extrato etéreo segundo Silva e Queiroz (2002). Os resultados para fibra insolúvel em detergente neutro foram obtidos de acordo com Van Soest et al. (1991) e a energia bruta foi determinada pela combustão da amostra de calorímetro adiabático modelo PAAR-1281. Nas amostras de urina, determinaram-se os valores de nitrogênio (método Kjeldahl, descrito por Silva e Queiroz (2002)) e energia bruta.

Para que a combustão da urina fosse possível para obtenção de seu valor energético, foi realizada a secagem deste material. Para isto, 10 mL da urina foram colocados em recipiente plástico cortado em altura suficiente para alojar o volume mencionado. Este mesmo recipiente foi colocado em estufa ventilada a $55 \pm 5^\circ\text{C}$ por cerca de 12h (ou por tempo suficiente para a evaporação do conteúdo de água da amostra). Para análise do teor de energia na bomba calorimétrica, o recipiente com o resíduo da amostra de urina foi colocado no aparelho, sendo a energia da urina obtida pela diferença entre o valor de energia do recipiente com o resíduo e a média do valor de energia liberado na queima de três recipientes vazios.

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

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

Conforme descrito no item 3.4 (Análises químicas), a energia bruta ingerida (EB) pelo animal foi determinada por meio de combustão completa da amostra da dieta oferecida em bomba calorimétrica adiabática. Seguindo-se o mesmo procedimento, foi realizada a combustão das amostras de fezes, o que permitiu o cálculo da energia digestível disponível para o animal 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, foram consideradas as perdas de energia associadas à urina e ao gás metano. A perda de energia urinária foi possível pela combustão das amostras utilizando-se o calorímetro adiabático, sendo este valor aplicado à produção de urina diária. A quantificação da energia perdida na forma de metano foi obtida pela passagem dos animais alimentados na câmara respirométrica pelo período de aproximadamente 20h. Cada litro de metano, segundo Brouwer (1965), possui equivalente calórico de 9,45 kcal ($EM = ED - E_{urina} - E_{metano}$).

Para a obtenção da energia líquida (EL) da dieta, é necessária a mensuração da energia perdida pelo animal como calor. São duas as fontes de produção de calor no metabolismo animal: o metabolismo basal (MB) e o calor oriundo do processo digestivo ou incremento calórico da dieta (IC). A produção de calor (PC) é obtida pela equação proposta por Brouwer (1965), que considera o volume de gases consumidos e produzidos pelo animal, além do nitrogênio excretado na urina (Nu):

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

Por sua vez, os volumes (em litros) de oxigênio (O_2) consumido e dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) produzidos pela técnica de respirometria são determinados por respirometria.

A determinação do calor oriundo do metabolismo basal corresponde à PC do animal em jejum alimentar por um período de, pelo menos, 72h (PC_j), que por sua vez, também corresponde à exigência de energia líquida para manutenção do animal. Este dado foi determinado previamente por Lage (2011), utilizando animais de mesma origem geográfica e racial daqueles utilizados no presente estudo, com peso vivo corporal médio de 450 kg e não-gestantes. A exigência de energia líquida para manutenção determinada para fêmeas Gir foi de 76,83 kcal/kg $PV^{0,75}$ e para fêmeas F1 H x G foi de 92,02 kcal/kg $PV^{0,75}$.

A PC associada aos processos digestivos foi determinada em novilhas Guzerá com peso vivo médio de 594,2 kg. Estes animais receberam dieta com a mesma composição da dieta fornecida para as vacas Gir e F1 H x G. Para que o nível de alimentação fosse semelhante àquele utilizado para as vacas gestantes, o consumo total de matéria seca foi estabelecido em 1,2% do peso vivo corporal. O incremento calórico da dieta foi então obtido pela diferença entre PC do animal alimentado e em jejum ($IC = PC_{alimentado} - PC_{jejum}$). Para a determinação da produção de calor em jejum, as mesmas fêmeas da raça Guzerá foram submetidas a jejum

alimentar por um período de 48h, quando então eram colocados na câmara respirométrica de onde eram retiradas na manhã seguinte (totalizando 72h de jejum alimentar).

Na fêmea gestante, a PC também pode ser associada ao metabolismo do útero, do feto e seus anexos ($PC_{\text{útero}}$). Para o cálculo desta variável, a PC obtida pelos animais alimentados foi subtraída da PC oriunda do metabolismo basal e da produção de calor oriunda de processos digestivos ($PC_{\text{útero}} = PC_{\text{alimentada}} - PC_{\text{jejum}} - IC_{\text{dieta}}$).

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

3.6. Análise Estatística

Para comparar o comportamento das variáveis estudadas entre raças e as idades gestacionais avaliadas, o delineamento estatístico utilizado foi o de arranjo em parcelas subdivididas, no qual as raças representam as parcelas e as idades gestacionais correspondem às sub-parcelas. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS. Verificada a significância pelo teste F (para interação significativa ou não), as médias entre raças no mesmo momento de coleta foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias entre raças no mesmo período e entre períodos ao avaliar-se a mesma raça.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Consumo e digestibilidade de nutrientes

Quando expresso em kg/dia, o consumo de matéria seca (CMS) foi superior para vacas F1 em relação às Gir em todos os períodos avaliados (tabela 2). Dentre as diferentes fases da gestação avaliadas, o consumo de matéria seca manteve-se constante, com exceção do consumo exibido pelas vacas F1 H x G aos 240 dias de gestação, que foi superior aos demais quando expresso em gramas por quilograma de peso metabólico (g/kg PM). Tal diferença não pôde ser observada quando o consumo de matéria seca foi expresso em percentual do peso vivo, apresentando valor médio de 1,43%, demonstrando a uniformidade da restrição de consumo imposta aos animais durante o terço final da gestação.

Tabela 2. Consumo (C), digestibilidade de nutrientes e respectivos erros-padrão da média (EPM) vacas F1 Holandês x Gir e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação

Variáveis	Raça					
	F1			Gir		
	180	210	240	180	210	240
Peso vivo (kg)	515,60 ^a	538,40 ^b	568,40 ^{Bc}	435,16 ^a	455,83 ^b	469,33 ^{Ab}
Matéria seca (MS)						
CMS total (kg/dia)	7,82 ^{Ab}	7,73 ^{Ab}	8,82 ^{Aa}	6,11 ^B	5,71 ^B	6,11 ^B
EPM	0,17	0,53	0,31	0,43	0,52	0,33
Digestibilidade MS (%)	65,26	70,11	70,33	69,63	71,16	69,16
EP	0,03	0,70	0,70	0,02	0,71	0,69
CMS (% PV)	1,55	1,46	1,56	1,43	1,26	1,30
EPM	0,12	0,12	0,07	0,14	0,12	0,08
CMS (g/kg PM)	73,52	69,94	76,24 ^A	64,97	58,22	60,83 ^B
EPM	4,62	5,31	2,96	5,71	5,24	3,24
CMS Digestível (Kg/dia)	5,09 ^b	5,39 ^{Ab}	6,22 ^{Aa}	4,28	4,06 ^B	4,22 ^B
EPM	0,19	0,29	0,32	0,38	0,37	0,23
CMS Digestível (g/kg PM ¹)	47,35	48,7	53,71 ^A	45,53	41,39	42,07 ^B
EPM	1,50	2,74	2,46	4,24	3,87	2,64
Matéria orgânica (MO)						
CMO (Kg/dia)	7,09 ^{Ab}	7,15 ^{Aab}	8,07 ^{Aa}	5,59 ^B	5,22 ^B	5,54 ^B
EPM	0,16	0,47	0,29	0,40	0,48	0,30
CMO (g/kg PM)	66,53	64,67	69,8 ^A	59,4	53,23	55,14 ^B
EPM	3,88	4,82	2,69	5,31	5,08	3,23
Digestibilidade MO (%)	57,71 ^b	69,63 ^a	69,18 ^a	62,4 ^b	69,95 ^a	67,76 ^{ab}
EPM	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
CMO Digestível (Kg/d)	4,09 ^b	4,96 ^{Aa}	5,60 ^{Aa}	3,51 ^B	3,65	3,75 ^B
EPM	0,28	0,28	0,29	0,33	0,36	0,21
Proteína bruta (PB)						
CPB (kg/dia)	0,81 ^b	1,21 ^{Aa}	1,36 ^{Aa}	0,64 ^b	0,86 ^{Ba}	0,91 ^{Ba}
EPM	0,01	0,10	0,06	0,04	0,08	0,04
Digestibilidade PB (%)	65,94 ^b	79,24 ^a	78,07 ^a	70,58 ^b	78,29 ^a	77,03 ^a
EPM	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Extrato etéreo (EE)						
CEE (Kg/dia)	0,16 ^b	0,17 ^{Aab}	0,21 ^{Ab}	0,13	0,11 ^B	0,14 ^A

EPM	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Digestibilidade EE (%)	79,07	81,62	80,51	85,6	79,49	85,55
EPM	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
Fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp)						
CFDNcp (kg/dia)	4,32 ^A	3,86 ^A	4,35 ^A	3,38 ^B	2,96 ^B	3,06 ^B
EPM	0,10	0,27	0,17	0,22	0,30	0,19
Digestibilidade FDNcp (%)	60,58	63,47	64,65	65,79	66,02	62,43
EPM	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
CFDNcp Digestível (kg/dia)	2,61	2,43	2,83 ^A	2,23	1,96	1,91 ^B
EPM	0,11	0,14	0,21	0,19	0,24	0,13
Carboidratos não-fibrosos (CNF)²						
CCNF (kg/dia)	1,61 ^b	1,79 ^{Aab}	2,01 ^{Aa}	1,32	1,17 ^B	1,30 ^B
EPM	0,09	0,11	0,08	0,15	0,09	0,08
Digestibilidade CNF (%)	73,20	78,38	74,11	74,55	76,31	74,97
EPM	0,06	0,03	0,03	0,05	0,02	0,01
Nutrientes digestíveis totais (NDT)³						
CNDT (kg/d)	4,49 ^b	5,19 ^{Aab}	5,88 ^{Ab}	3,86	3,84 ^B	3,97 ^B
EPM	0,26	0,29	0,31	0,35	0,37	0,22
CNDT (%PV)	0,87	0,97	1,04	0,90	0,84	0,85
EPM	0,04	0,05	1,04	0,10	0,06	0,05
CNDT (g/kg PM ¹)	41,67	46,81	50,83	40,97	39,12	39,58
EPM	1,82	2,53	2,55	4,20	3,82	2,40
Cálcio (Ca)						
CCa (g/dia)	44,23 ^b	44,56 ^b	55,07 ^{Aa}	44,83	42,89	39,55 ^B
EPM	1,62	2,77	4,25	2,53	1,55	0,72
Fósforo (P)						
CP (g/dia)	29,16 ^b	34,66 ^{Aa}	35,23 ^{Aa}	24,91	27,60 ^B	27,95 ^B
EPM	1,33	2,62	1,24	0,7	1,67	0,59

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. ¹PV^{0,75}; ²CNF = 1 - (%cinzas + %PB + %EE + %FDN), de acordo com NRC (2001); ³NDT = % PB + % CNF + (2,25*% EE), de acordo com Weiss et al. (1992).

O CMS superior para as vacas F1 H x G refletiu-se no consumo de outros nutrientes da dieta, como nos consumos de matéria orgânica (MO) e fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), quando expressos em quilogramas por dia (kg/dia).

Moe et al. (1965) mencionaram a relação inversa relacionada ao aumento do consumo de matéria seca e a diminuição do valor nutritivo da dieta em vacas de leite. Mais recentemente, Clark et al. (2007) verificaram o mesmo em novilhos de corte, ao descreverem aumento significativo de 10% ($P < 0,04$) na digestibilidade da MS por novilhos Angus consumindo 80% da quantidade de MS fornecida para o outro grupo experimental, que consumia a mesma dieta *ad libitum*. No presente trabalho, variáveis como o consumo de proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e nutrientes digestíveis totais (NDT) apresentaram superioridade para as vacas F1 H x G apenas aos 210 e 240 dias de gestação. De maneira geral, entretanto, nota-se que o maior consumo pelas vacas F1 em nenhum momento foi responsável por alterações na digestibilidade dos nutrientes, com exceção da PB. As variações na digestibilidade da PB provavelmente ocorreram em função da maior inclusão de farelo de soja aos 210 e 240 dias de gestação, em relação aos 180 dias, o que resultou em menor concentração de FDNcp na dieta nos dois últimos períodos de avaliação (tabela 1) com fornecimento de maior quantidade de proteína, com possibilidade de melhor aproveitamento pelo animal.

As variações na quantidade diária ingerida dos nutrientes foram controladas pelo CMS, que, por sua vez, foi ajustado em função da condição corporal dos animais e das pesagens periódicas realizadas. Os ajustes no consumo foram feitos de maneira sutil, pois a condição corporal das vacas no início da aquisição de dados (aos 180 dias de gestação) já se encontrava uniformizada e adequada, e assim, o objetivo da dieta foi apenas manutenção da condição corporal.

Em vacas de corte Angus x Simental, que recebiam alimentação em diferentes níveis, houve alteração no consumo de oxigênio hepático (Woods et al., 2013). Os animais que receberam dieta com 140% das recomendações do NRC (2000) apresentaram consumo de oxigênio pelo fígado superior ($P = 0,01$) em relação àquelas que consumiram 85% das recomendações (97,2 vs. 70,68 litros/dia para com maior e menor consumo, respectivamente). Entretanto, os autores não identificaram diferença no consumo de oxigênio hepático quando este foi expresso em $\mu\text{L}/\text{miligrama}$ de tecido ($0,668 \times 0,549 \mu\text{L}/\text{mg}$ de tecido hepático/h para consumos “alto e baixo”, respectivamente ($P = 0,12$)). Os resultados indicam que o aumento do consumo de oxigênio pelo fígado não ocorreu em função de sua maior atividade metabólica, mas sim em função da maior massa ($P = 0,07$) deste órgão associada ao maior nível de ingestão de matéria seca (6,21 kg para o nível de maior ingestão de matéria seca e 5,38 kg para as vacas com nível de consumo inferior). Outros trabalhos também demonstraram associação

entre níveis de consumo e tamanho de vísceras de vacas em diferentes estádios da gestação (Freetly et al., 2008; Meyer et al., 2010; Camacho et al., 2014).

A importância de avaliar a influência do consumo sobre o tamanho e a atividade de vísceras consiste no fato de que, muito embora os órgãos viscerais correspondam a uma baixa proporção do peso vivo corporal do animal (11 a 12%, incluindo gordura visceral e, 5 a 6% sem a mesma), demandam cerca de 40 a 50% da energia destinada à manutenção (Huntington e Reynolds, 1987). Na condução do presente experimento, a consideração destas observações entre consumo e exigência nutricional foi fundamental, pois a exigência de energia líquida para manutenção foi determinada em estudo previamente conduzido (Lage, 2011) com os mesmos animais, não gestantes, recebendo dieta em quantidade restrita, equivalente a 1,3% do peso vivo. Além disso, durante o experimento com os animais gestantes, não foi possível isolar o ganho materno do ganho associado ao desenvolvimento do saco gestacional. Sendo assim, a dieta não poderia ser fornecida de forma a permitir ganhos de peso elevados, pela dificuldade em se diferenciar a partição da energia retida no ganho entre ganho de peso materno e gestacional.

Avaliando os efeitos da restrição energética e proteica em vacas Holandês nas últimas três semanas de gestação, Vandehaar et al. (1999) descreveram que o consumo de 1,5% do peso vivo corporal para esta categoria animal seria o suficiente para atender às exigências de manutenção da mãe e adequado desenvolvimento fetal, entretanto, sem haver saldo (positivo ou negativo) na partição de energia destes animais. Os consumos de matéria seca obtidos para as vacas mestiças F1 H x G no presente experimento não diferiram ($P > 0,05$) entre si nos diferentes tempos avaliados e, em média, foi equivalente a 1,52% do peso vivo corporal dos animais. As vacas Gir também apresentaram consumos semelhantes (1,33% do peso vivo corporal) entre os diferentes tempos avaliados e numericamente inferiores ($P > 0,05$) aqueles apresentados pelas vacas mestiças. Os dados apresentados de consumo de matéria seca e níveis de ingestão (tabela 2) indicam que, para manutenção da mesma condição corporal, foi necessário que as vacas zebuínas consumissem menos alimento que as vacas mestiças, provavelmente em função de sua menor ($P = 0,06$) exigência de energia líquida para manutenção (76,83 e 92,02 kcal/kg $PV^{0,75}$ para as vacas Gir e F1 H x G, respectivamente), conforme descrito por Lage (2011).

4.2. Densidade energética da dieta

Na tabela 3 tem-se a densidade energética da dieta para as vacas F1 H x G e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação em função do consumo de matéria seca obtido pelos animais.

Tabela 3. Densidade energética da dieta fornecida para vacas F1 Holandês x Gir e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) por quilograma de matéria seca (kg MS) e nível energético da dieta expresso em múltiplo da energia líquida para manutenção (x Manutenção)

Variáveis	Raça					
	F1			GIR		
	180	210	240	180	210	240
EB (Mcal/kg MS)	4,43	4,61	4,62	4,52	4,61	4,48
EPM ¹	0,06	0,06	0,06	0,13	0,07	0,09
ED (Mcal/kg MS)	3,04	3,35	3,33	3,23	3,39	3,14
EPM ¹	0,10	0,1	0,05	0,12	0,09	0,08
EM (Mcal/kg MS)	2,55 ^B	2,76	2,82	2,80 ^A	2,89	2,65
EPM ¹	0,1	0,08	0,06	0,1	0,09	0,07
EL (Mcal/kg MS)	1,55 ^b	1,58 ^b	1,90 ^a	1,69	1,66	1,65
EPM ¹	0,06	0,05	0,08	0,11	0,09	0,08
x Manutenção	1,25 ^b	1,22 ^b	1,62 ^a	1,43	1,28	1,33
EPM ¹	0,04	0,08	0,06	0,09	0,13	0,07

¹EPM = erro padrão da média. 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.

Não foram encontradas diferenças significativas para a concentração de EB da dieta entre grupos e tempos avaliados, uma vez que o teor de EB da dieta refere-se ao calor de combustão da mesma, sendo dependente apenas de sua composição química e não de sua qualidade. O valor médio encontrado na combustão de amostras da dieta foi 4,54 Mcal/kg de MS, muito próximo ao valor para combustão de carboidratos, que é de 4,2 Mcal/kg (Ferrell, 1993). O CSIRO (2007) e o AFRC (1993) adotam valores de 4,4 e 4,5 Mcal/kg de MS, respectivamente, para expressar os valores de EB de alimentos para ruminantes. O valor de EB de uma dieta aumenta conforme há aumento de seus teores de proteína e, principalmente, de gordura, pois estas substâncias possuem calores de combustão de 5,6 e 9,4 Mcal/kg, respectivamente (Maynard et al., 1979). A tendência de diminuição do valor de EB da dieta

aumenta na medida em que se aumenta o teor de cinzas da mesma, afinal tais substâncias não são passíveis de oxidação completa em bomba calorimétrica adiabática, assim como não o são no organismo animal.

Sem estabelecer qualquer consideração ao *status* fisiológico do animal, o NRC (2001) postula que a conversão da ED em NDT (nutrientes digestíveis totais) pode ser feita pela divisão da ED por 4,409, pois em teoria, um quilograma de NDT corresponderia a 4,409 Mcal de ED para animais alimentados em nível de manutenção (equação 2-1; NRC (2001)). Sendo assim, uma dieta com média de 64,4% de NDT (valor médio do percentual de NDT da dieta fornecida para as vacas Gir e F1 H x G, conforme tabela 1) teria o equivalente a 2,84 Mcal/kg de ED/kg MS, valor abaixo do descrito para a ED média obtida (média de 3,25 Mcal/kg MS, conforme tabela 3) no presente experimento. A figura abaixo ilustra a baixa capacidade desta equação em prever o valor da energia digestível em função do NDT, segundo os dados obtidos no presente estudo.

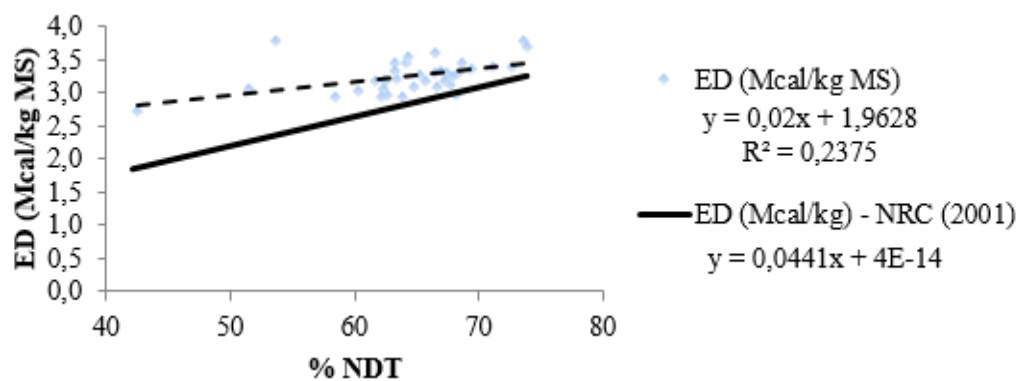


Figura 2. Relação entre a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,02x + 1,96$).

A diferença significativa quanto à densidade energética da dieta ($P < 0,05$) entre os grupos genéticos avaliados foi identificada apenas quando expressa como EM, sendo superior para as vacas Gir (2,80 vs 2,55 para vacas Gir x F1 H x G, respectivamente). Entre os períodos avaliados, as vacas Gir apresentaram densidade energética semelhante entre todos os períodos avaliados, enquanto para as vacas mestiças, a concentração energética da dieta foi superior aos 240 dias quando expressa em EL (1,90 Mcal/kg MS).

A equação de conversão da energia metabolizável a partir da concentração de energia digestível pelo NRC (2001; equação 2-2), embora tenha sido obtida por vacas alimentadas em nível equivalente a 3,0x a manutenção, teoricamente poderia ser utilizada para estimar tais variáveis em qualquer nível de consumo. Tal afirmativa pode ser considerada verdadeira, conforme demonstra a figura 3, que compara os dados estimados pelo NRC (2001) e os dados obtidos em vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação.

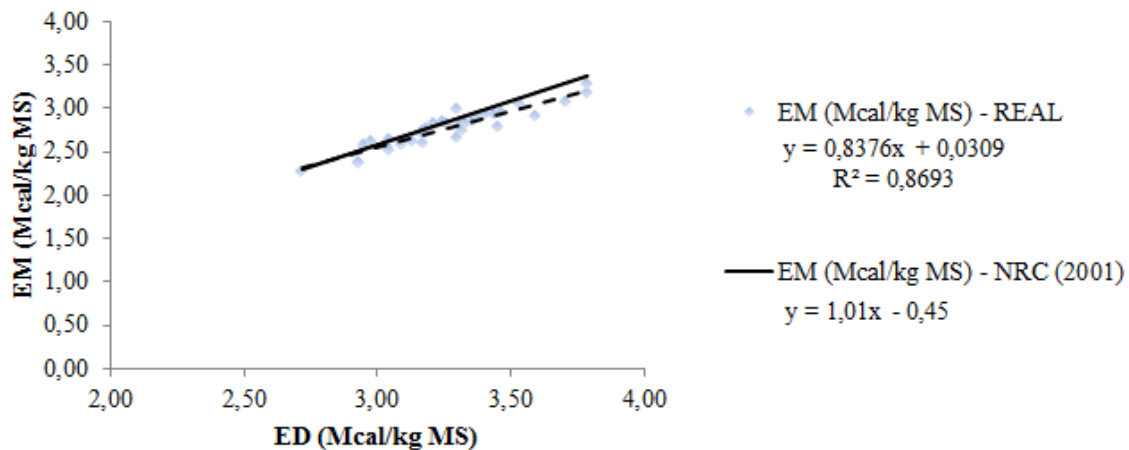


Figura 3. Relação entre a concentração de energia metabolizável (Mcal/kg MS) e a concentração de energia digestível (Mcal/kg MS) da dieta fornecida para vacas Gir e F1 H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidas neste estudo ($Y = 0,84x + 0,03$).

A equação 2-3 do NRC (2001), que estima o valor de EL da dieta em função do percentual de NDT, no caso do presente trabalho, não foi capaz de predizer com acurácia o valor de EL. Possivelmente, em função do fato de que a equação converte o percentual de NDT em nível de 1X a manutenção para EL (Mcal/kg MS) para consumo equivalente a 3X a manutenção e, como mostra a tabela 3, o consumo de EL pelos animais deste experimento obteve valor máximo de 1,6X a energia líquida para manutenção. A figura 4 ilustra a variação da EL em função do NDT.

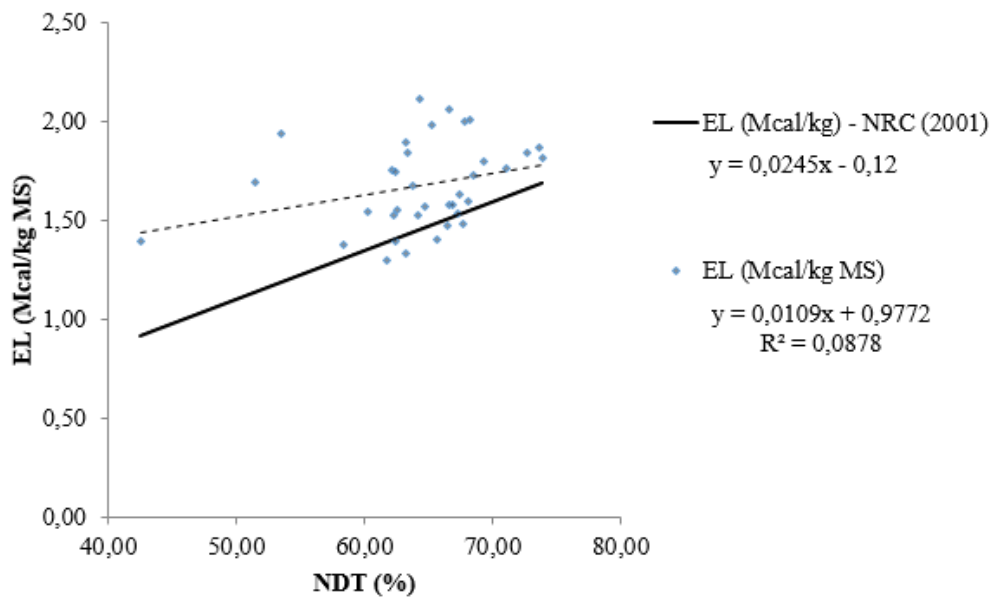


Figura 4. Relação entre a concentração de energia líquida (Mcal/kg MS) e o percentual de nutrientes digestíveis totais (% NDT) da dieta fornecida para vacas Gir e Fi H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias) e os valores estimados pelo NRC (2001), representados pela linha contínua. A linha pontilhada (- - -) representa os dados reais obtidos neste estudo ($Y = 0,11x + 0,97$).

O nível de ingestão de MS das vacas Gir de 1,3X a EL para manutenção, observado no presente trabalho, foi semelhante ao descrito por Gionbelli (2013) para vacas da raça Nelore recebendo dieta em quantidade controlada. O autor estudou a exigência nutricional para gestação utilizando-se a técnica de abate comparativo, e trabalhou com 1,2X a EL para manutenção recomendada pelo NRC (2000). Não há referências na literatura sobre exigências para gestação de vacas zebuínas e seus cruzamentos, utilizando-se a respirometria. No trabalho de Ferrell et al. (1976a), o cálculo em múltiplos relativos à exigência de EL para manutenção em fêmeas bovinas gestantes da raça Hereford resultou, para os grupos classificados como de baixo consumo, energia 30% superior à estimativa de energia para manutenção. Diante do desconhecimento da exigência de energia de vacas gestantes das raças Gir e F1 H x G, os níveis energéticos em relação à manutenção parecem adequados para a condução do trabalho, uma vez que densidades energéticas inferiores poderiam comprometer o desenvolvimento fetal, assim como a acurácia na aquisição dos dados, pelas diferenças nas eficiências de utilização de substratos oriundos de mobilização tecidual ou da dieta (Ferrell e Oltjen, 2008).

Ao avaliar a densidade energética da dieta de novilhas Hereford gestantes aos 109 e 209 dias de gestação consumindo dietas em quantidade restrita (com inclusão de volumosos de 85%),

com nível de ingestão equivalente a 1,3x a manutenção, Ferrell et al. (1976a) encontraram os valores para a densidade energética da dieta descritos na tabela 4.

Tabela 4. Densidade energética de dieta fornecida para novilhas Hereford aos 109 e 209 dias de gestação recebendo dieta em quantidade restrita¹, expressa em megacalorias (Mcal) de energia bruta (EB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM) por quilograma de matéria seca (kg MS)

Idade gestacional (dias)	EB (Mcal/kg MS)	ED (Mcal/kg MS)	EM (Mcal/kg MS)
109	4,29	3,00a	2,50b
229	4,29	3,15a	2,73a

¹Nível de alimentação equivalente a 1,3X manutenção, dieta composta por 45% de feno de alfafa, 40,5% de cevada moída, 7% de polpa de beterraba e 6% de melaço. Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente (P<0,05). Adaptado de Ferrell et al. (1976a).

De uma maneira geral, é possível observar que os valores de energia da dieta descritos por Ferrell et al. (1976a) possuem grande semelhança aos descritos para vacas Gir e F1 H x G utilizadas no presente trabalho. A ED da dieta determinada neste trabalho teve valor médio de 3,25 Mcal/kg MS entre 180 e 240 dias de gestação para as vacas Gir e F1HxG, enquanto que a mesma variável para novilhas Hereford (tabela 4) foi, em média, 3,01 Mcal/kg MS. O mesmo pode ser observado para os valores de EM da dieta, que apresentaram valores semelhantes entre o trabalho de Ferrell et al. (1976a) e oscilaram entre 2,55 e 2,82 Mcal/kg MS, sendo apenas diferentes aos 180 dias entre os grupos genéticos avaliados. Neste período, a dieta consumida pelas vacas Gir apresentou maior (P<0,05) concentração de EM (2,80 Mcal/kg MS) quando comparada ao valor de EM da dieta consumida pelas F1HxG (2,55 Mcal/kg MS).

O valor médio de EL das dietas consumidas pelas vacas Gir e F1 H x G foi equivalente a 1,67 Mcal/kg de MS (independente da idade gestacional). Este valor é superior ao valor de 1,40 Mcal/kg de MS, descrito para vacas holandesas aos 220 dias de gestação por Bell et al. (1995). Da mesma forma, Vandehaar et al. (1999) descreveram valores de EL de dietas de vacas holandesas gestantes (25 dias antes do parto), oscilando entre de 1,30 Mcal/dia para animais com baixa ingestão de energia a 1,61 para animais recebendo dieta com “alto teor” energético.

4.3. Partição energética

Os dados de energia, apresentados na tabela 5, comprovam que o consumo de nutrientes pelas vacas Gir e F1 H x G aos 180, 210 e 240 dias de gestação foi adequado para suprir a exigência

de energia destes animais e que, portanto, a restrição não foi suficiente para instituir déficit energético às vacas em diferentes idades gestacionais, o que permite o melhor entendimento dos valores de densidade energética da dieta (tabela 3).

Tabela 5. Partição energética de vacas F1 Holandês x Gir (F1 H x G) e Gir aos 180, 210 e 240 dias de gestação

Variáveis	Grupo genético					
	F1			Gir		
	180	210	240	180	210	240
Energia Bruta (EB)						
EB (Mcal/dia)	34,30 ^{Ab}	35,10 ^{Ab}	39,84 ^{Aa}	27,00 ^B	25,84 ^B	26,96 ^B
EPM ²	1,01	2,17	1,42	1,36	2,08	1,37
EB (Kcal/kg PM)	323,01	317,96	343,95 ^A	286,65	263,66	268,05 ^B
EPM ²	23,44	23,01	11,87	20,57	23,34	14,04
Energia digestível (ED)						
Fezes (Mcal/d)	10,82 ^A	9,76 ^A	11,12 ^A	7,78 ^B	6,91 ^B	8,09 ^B
EPM ²	1,24	1,14	0,38	0,56	0,72	0,47
Fezes (%EB)	31,21	27,39	27,97	28,72	26,6	30,01
EPM ²	2,67	1,74	0,75	0,97	1,21	0,87
CED (Mcal/dia)	23,48 ^{Ab}	25,34 ^{Ab}	28,72 ^{Aa}	19,21 ^B	18,92 ^B	18,86 ^B
EPM ²	0,49	1,05	1,21	0,87	1,53	0,98
ED (Kcal/kg PM)	219,14 ^b	229,21 ^{Aab}	247,84 ^{Ba}	203,87	192,91 ^B	187,57 ^B
EPM ²	7,61	12,17	10,15	13,58	16,31	12,17
Energia metabolizável (EM)						
CH ₄ (L/dia)	213,41 ^{Ab}	276,04 ^{Aa}	268,23 ^{Aa}	153,28 ^{Bb}	183,14 ^{Bab}	197,65 ^{Bb}
EPM ²	7,13	22,43	16,48	7,91	17,27	19,89
CH ₄ (L/kg MS)	27,72 ^b	36,10 ^a	31,16 ^{ab}	25,70 ^b	32,71 ^a	32,70 ^a
EPM ²	1,29	1,69	1,69	1,00	1,46	2,58
CH ₄ (Mcal/dia)	2,01 ^{Ab}	2,60 ^{Aa}	2,53 ^{Aa}	1,44 ^{Bb}	1,73 ^{Bab}	1,86 ^{Bb}
EPM ²	0,07	0,21	0,16	0,07	0,16	0,19
CH ₄ (% EB)	5,91 ^b	7,42 ^a	6,35 ^b	5,38 ^b	6,71 ^a	6,88 ^a
EPM ²	0,32	0,42	0,29	0,24	0,36	0,54
Urina (Mcal/dia)	1,78	1,78	1,78	1,06	1,06	1,06
Urina (% EB)	5,35 ^a	5,16 ^{ab}	4,56 ^b	3,89	3,98	3,87
EPM ²	0,66	0,79	0,74	0,87	0,76	0,8

EM (Mcal/dia)	19,68 ^{Ab}	20,95 ^{Ab}	24,40 ^{Aa}	16,70 ^B	16,13 ^B	15,93 ^B
EPM ²	0,46	0,88	1,19	0,75	1,25	0,78
EM (kcal/kg PM)	183,52 ^a	189,38 ^{ab}	210,29 ^{Bb}	177,15	164,39	158,45 ^A
EPM ²	5,53	9,73	8,46	11,52	13,40	8,18
<i>EMm (kcal/kg PM)^l</i>	<i>146,06</i>	<i>146,06</i>	<i>146,06</i>	<i>120,05</i>	<i>120,05</i>	<i>120,05</i>
EMm (Mcal/dia)	15,76 ^{Ac}	16,28 ^{Ab}	16,97 ^{Aa}	11,42 ^{Bb}	11,83 ^{Ba}	12,09 ^{Ba}
EPM ²	0,76	0,83	0,30	0,40	0,39	0,68
EM gestação (Mcal/d)	3,92 ^b	4,66 ^b	7,42 ^{Aa}	5,27	4,3	3,83 ^B
EPM ²	0,42	0,91	0,97	0,98	1,29	0,79
EM gestação (Kcal/kg PM)	37,51 ^b	43,38 ^{ab}	64,27 ^a	57,10	44,34	38,40
EPM ²	5,52	9,73	8,46	11,52	9,40	8,18
Q	0,57	0,60	0,61	0,61	0,62	0,59
EPM	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
EM/ED	0,83 ^{Bab}	0,82 ^b	0,84 ^b	0,86 ^{Aa}	0,85 ^b	0,84 ^b
EPM ²	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Energia líquida (EL)						
PC alim ³ (Mcal/dia)	18,51 ^b	20,72 ^{Aa}	22,91 ^{Aa}	16,10	16,00 ^B	15,64 ^B
EPM ²	0,46	0,51	0,41	0,25	0,24	0,18
PC alim ³ (Kcal/kg PM)	171,83 ^a	187,37 ^{ab}	197,98 ^{Bb}	171,06	163,16	155,57 ^A
EPM ²	2,32	9,02	8,33	12,30	12,81	8,14
<i>PCj⁴ (kcal/kg PM)^l</i>	<i>92,02</i>	<i>92,02</i>	<i>92,02</i>	<i>76,83</i>	<i>76,83</i>	<i>76,83</i>
PCj ⁴ (Mcal/d)	9,55 ^{Ab}	9,87 ^{Ac}	10,29 ^{Bb}	7,03 ^{Bb}	7,28 ^{Ba}	7,45 ^{Ba}
EPM ²	0,46	0,51	0,41	0,25	0,24	0,18
PCj ⁴ (% EB)	28,10	28,50	25,89	26,49	29,23	27,94
EPM ²	1,96	1,88	0,92	1,97	2,72	1,40
IC ⁵ (Mcal/dia)	7,73	8,89 ^A	8,08 ^A	6,65	6,75 ^B	5,97 ^B
EPM ²	0,28	0,31	0,99	0,56	0,50	0,65
IC ⁵ (kcal/kg PM)	72,09	80,6	69,46	71,41	69,24	59,77
EPM ²	2,70	4,24	8,44	8,61	6,16	7,18
IC ⁵ (% EB)	22,66 ^{ab}	25,58 ^a	19,97 ^b	24,58	26,43	22,12
EPM ²	1,13	0,98	1,89	1,55	1,13	2,1
EL (Mcal/d)	11,94 ^b	12,05 ^{Ab}	16,32 ^{Aa}	10,04	9,37 ^B	9,95 ^B
EPM ²	0,27	0,71	0,53	0,61	1,00	0,62
Calor gestação ⁶ (Mcal/d)	1,21 ^b	1,95 ^b	4,54 ^{Aa}	2,40	1,96	2,21 ^B
EPM ²	0,11	0,59	0,62	0,54	0,90	0,54
EL _p (Mcal/d)	2,70	2,71	2,88	2,86	2,33	1,62

EPM ²	0,48	0,40	1,35	0,60	0,59	0,70
k _p (%)	13,93	12,92	10,71	16,79	13,98	9,72
EPM ²	2,67	1,78	5,00	3,27	3,58	4,18

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. ¹Determinadas por Lage (2011); ²EP = erro-padrão da média; ³produção de calor de vacas alimentadas; ⁴Produção de calor de vacas em jejum; ⁵IC = incremento calórico; ⁶Calor gestação = calor oriundo do útero gestante obtido por diferença entre a PCa – PCj – IC.

Freetly et al. (2008) avaliaram a partição da energia em vacas de corte gestantes de raças europeias, recebendo dieta para ganho de peso moderado. A título de comparação, os resultados encontrados pelos autores anteriormente mencionados estão sumarizados na tabela 6.

Tabela 6. Consumo de energia bruta em megacalorias por dia (EB, Mcal/dia) e perdas energéticas equivalentes à produção fecal, urina, gases e calor, expressas em Mcal/dia e em percentual da energia bruta consumida (%EB)

Item	Gestação (dias)		
	171	206	241
Peso vivo	561	580	586
EB (Mcal/dia)	31,511	35,114	36,617
Fezes (Mcal/dia)	12,003	14,609	14,433
%EB	38,11%	41,60%	39,42%
Urina (Mcal/dia)	0,798	0,870	0,904
% EB	2,53%	2,48%	2,47%
Metano (Mcal/dia)	1,911	1,927	2,121
%EB	6,06%	5,49%	5,79%
Calor (Mcal/dia)	15,182	16,792	18,538
% EB	48,18%	47,82%	50,63%
Energia retida (Mcal/dia)	1,166	0,916	0,621
Eficiência	13,80%	4,90%	2,70%

Adaptado de Freetly et al. (2008)

O consumo de EB diário (Mcal/dia) pelas vacas F1 H x G foi significativamente superior (P<0,05) ao consumo de EB apresentado pelas vacas Gir, obviamente, seguindo o mesmo padrão do consumo de matéria seca (uma vez que a dieta fornecida possuía a mesma composição). Proporcionalmente ao consumo de EB, a perda de energia pelas fezes foi superior

($P < 0,05$) para as vacas F1 H x G em todos os tempos de gestação avaliados. Entretanto, a proporção de EB perdida como energia fecal não diferiu entre as raças avaliadas e correspondeu, em média, a 28,65%, refletindo os valores descritos para a digestibilidade da matéria seca, que também não diferiram entre os grupos genéticos com valor médio de matéria seca indigestível de 30,73%. Novilhas Hereford com consumo equivalente a 1,3X a manutenção apresentaram perda de energia nas fezes equivalente a 30,01 e 26,65% da energia bruta consumida aos 109 e 229 dias de gestação, respectivamente (Ferrell et al., 1976). O percentual de energia perdida pelas fezes varia principalmente em função da qualidade da dieta. As perdas energéticas nas fezes podem corresponder a 65% ou mais da EB consumida de dietas compostas por forragens de qualidade inferior à de forrageiras temperadas bem manejadas, como é o caso deste experimento, enquanto que para dietas contendo grande quantidade de grãos processados, a proporção de energia fecal em relação à EB pode corresponder a menos de 20% (CSIRO, 2007). A superioridade dos valores de energia perdida na forma de fezes, relatada por Freetly et al. (2008), provavelmente se deu em função do maior consumo de seus animais, o que pode ser suposto em função do maior consumo de EB pelos mesmos.

As produções diárias de metano (litros/dia) variaram da mesma forma que a ingestão de matéria seca, sendo superior nas vacas F1 HxG quando comparadas às Gir. Entretanto, quando expressa por quilograma de matéria seca consumido ou em percentual da EB ingerida, não foram observadas diferenças entre os grupos genéticos avaliados. Já entre os tempos gestacionais avaliados, a proporção de energia bruta perdida como metano foi superior ($P < 0,05$) aos 210 dias para as vacas F1 H x G e para as vacas Gir, sendo que esta variável obteve os maiores valores aos 210 e 240 dias de gestação. Embora uma explicação concreta para a oscilação da produção de metano seja limitada pelos dados disponíveis, é possível inferir que a superioridade dos valores para perdas energéticas associadas à metanogênese sejam intimamente correlacionadas com a digestibilidade da matéria orgânica da dieta, que apresentou comportamento similar (tabela 2). A figura 5 apresenta a relação entre o consumo de matéria orgânica digestível e a produção de metano pelos animais experimentais em diferentes idades gestacionais.

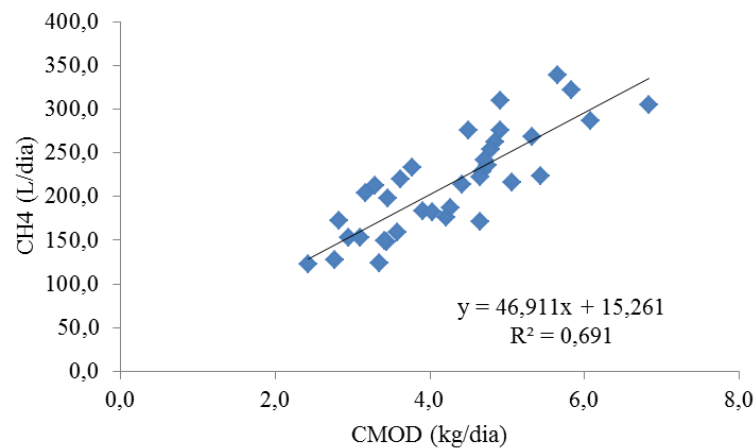


Figura 5. Relação entre o consumo de matéria orgânica digestível (kg/dia) e o a produção de gás metano (litros/dia) por vacas Gir e Fi H x G no terço final da gestação (180 aos 240 dias)

Mesmo diante de oscilações entre os períodos avaliados, o valor médio da produção de metano, expresso em função da energia bruta ingerida foi de 6,44%. Este valor está próximo do valor de 6% proposto por Johnson e Johnson (1995) e dentro do limite de 5 a 12% sugerido por Van Soest (1994). As perdas na forma de metano podem variar em função do nível de ingestão, sendo cerca de 8% da EB ingerida em nível de manutenção, e decrescendo para cerca de 6% com aumento no nível da ingestão (Resende et al., 2011).

A perda diária de energia na forma de urina (valor médio de 1,42 Mcal/dia), ao contrário do que aconteceu com o metano, não diferiu entre os grupos genéticos avaliados, mas em relação a energia bruta consumida as vacas F1 H x G obtiveram maior perda relativa aos 180 e 210 dias de gestação. As perdas energéticas em relação à energia bruta ingerida estão abaixo dos valores entre 3,0 e 5,0% propostos por Van Soest (1994). Maiores perdas de energia na urina podem ser justificadas pela maior excreção de compostos nitrogenados não específicos, como aminoácidos e creatinina, cujo conteúdo energético corresponde a 33,46 Kcal/g de N e 13,38 Kcal/g de N, respectivamente. A ureia, que corresponde normalmente a 80 a 90% da quantidade total de nitrogênio da urina, possui um valor energético de 5,37 Kcal/g de N (Birkett e Lange, 2001).

A dedução dos valores de energia perdida pelas fezes, urina e gases da EB consumida resulta na obtenção de consumo de EM pelo animal. No presente trabalho, o valor de EM ingerida pelos animais F1 H x G foi superior em todos os momentos avaliados, em relação aos animais Gir, quando expresso em megacalorias por dia (Mcal/dia). Já quando expressa em kcal por quilograma de peso metabólico (kcal/kg PM), a ingestão de energia metabolizável foi 11%

superior ($P < 0,05$) para as vacas mestiças apenas aos 240 dias de gestação e apresentou média de 194,39 Kcal/kg PM. Vacas Gir não apresentaram variação no consumo de energia metabolizável entre os três tempos avaliados, com média de 166,66 kcal/kg PM.

Novilhas de corte consumindo dieta em nível equivalente aos do presente experimento (1,3X manutenção), utilizadas por Ferrell et al. (1976a), apresentaram consumo de EM oscilando entre 149 e 159 kcal/kg PM, valores que aproximam-se daqueles descritos para as vacas Gir utilizadas neste trabalho. O valor de 194,39 kcal/kg PM apresentado pelas vacas F1 H x G é 19% superior ao valor máximo descritos por Ferrell et al. (1976a) para novilhas consumindo dieta restrita, entretanto, está mais próximo do valor descrito pelos mesmos autores para novilhas consumindo dieta ao nível de 1,8X a manutenção, considerando-se a EM para manutenção equivalente a 92 kcal/kg PM (inferior ao valor descrito neste trabalho de 146,06 kcal/kg PM para vacas F1 H x G, presente na tabela 5).

O fracionamento da EM foi obtido pela dedução do valor de EM para manutenção descrito por Lage (2011), de 120,05 e 146,06 para as vacas Gir e F1 H xG, respectivamente. Bell et al. (1995), utilizando a eficiência de conversão de energia metabolizável em energia líquida de 0,14 proposta por Ferrell et al. (1976), estimaram que a energia metabolizável para gestação de vacas Holandesas (no último mês de gestação) seria de 5,52 Mcal/dia ou 40 kcal/kg PM/dia. O consumo médio de energia metabolizável para gestação neste trabalho foi de 5,33 e 4,46 Mcal/dia para vacas F1 H x G e Gir, respectivamente. Quando expressa em kcal/kg PM, os valores também se aproximam daquele descrito por Bell et al. (1995) e foram equivalentes a 48,39 kcal/kg PM para vacas mestiças e 46,61 kcal/kg PM para vacas zebuínas. Aos 240 dias de gestação, o valor de energia metabolizável para gestação das vacas F1 H x G foi superior em relação aos outros tempos e ao mesmo parâmetro para vacas Gir. Isto pode ser explicado pelo maior consumo de EB pelos animais mestiços e, uma vez que a manutenção foi considerada fixa, é de se esperar que a diferença correspondente ao saldo energético para a gestação seja maior na medida em que há aumento consumo de energia bruta.

A ingestão de EM diária proposta por Moe e Tyrrell (1972) para vacas holandesas nos últimos 75 dias de gestação, com 550 kg (peso vivo corporal próximo ao peso vivo médio das vacas mestiças de 540 kg; tabela 2) foi de 17,80 Mcal/dia, inferior ao apresentado pelas vacas F1 H x G (que obteve média de 21,68 Mcal/dia considerando os três períodos avaliados). Os mesmos autores mencionam que, para vacas holandesas aos 450 kg (com peso vivo médio semelhante ao das vacas Gir de 453 kg; tabela 2), o consumo de energia metabolizável para

suprir as exigências de manutenção e gestação seria de 15,3 Mcal/dia, valor próximo ao obtido para as vacas Gir nos três tempos avaliados, de 16,26 Mcal/dia.

O percentual de EM em relação à EB ingerida (ou q), que corresponde à metabolizabilidade da dieta, foi similar entre os grupos genéticos avaliados, sendo este valor correspondente a 0,60. Para novilhas das raças Friesian e Holandesa recebendo dietas com concentração de energia metabolizável equivalente a 2,4 Mcal/kg, o AFRC (1993) adota um q_m (metabolizabilidade para manutenção) de 0,53. Na medida em que a densidade energética da dieta aumenta, ocorre um aumento nos valores de q , chegando a 0,64 para dietas contendo 2,9 Mcal de EM/kg. Para gado de corte, o q_m se comporta da mesma forma, atingindo valores de 0,69 para dietas nas quais a energia metabolizável é de 3,1 Mcal/kg (AFRC, 1993). Reid et al. (1980) citam que a metabolizabilidade da dieta tem seu valor estabelecido em função da qualidade da dieta e do balanço energético ao qual o animal está submetido, isto é, um animal recebendo dieta de maior qualidade e submetido a um plano de alimentação que permita ganho de peso terá seu valor de “ q ” maior quando comparado a um animal recebendo dieta de pior qualidade e submetido à perda de peso. Assim, o “ q ” da dieta consumida pelas vacas deste experimento está de acordo com esses autores, uma vez que os animais estavam submetidos a um plano de alimentação próximo da manutenção.

A relação entre EM e ED foi estatisticamente semelhante entre as duas raças avaliadas, com valor médio de $EM/ED = 0,84$, e apresentou variação dentre os tempos e/ou raças avaliadas. A literatura cita que esta relação é alta, sendo a correspondência entre EM e ED equivalente a 82% (AFRC, 1993; Resende et al., 2011). As perdas associadas ao metano e à urina, avaliadas neste estudo, estão em torno de 20%. O NRC (2000) adota um valor de 0,80 para a razão entre a EM e a ED, e ainda chama a atenção para o fato de que este valor pode variar consideravelmente em função do nível de consumo, idade do animal e tipo de alimento. Confirmando tal hipótese, o AFRC (1993) cita que a relação entre EM/ED pode variar de 0,80 a 0,86. Para forragens tropicais, que tipicamente apresentam menor disponibilidade de energia para o animal, a relação EM/ED estaria mais próxima de 0,81, enquanto que valores maiores como 0,85 seriam mais característicos de cereais e grãos (CSIRO, 2007). A obtenção de dados reais de produção de metano em câmaras respirométricas contribui de forma definitiva para o estudo da relação EM/ED, uma vez que os dados obtidos são inéditos em animais zebuínos e seus cruzados. O estudo da eficiência metabólica em vacas Gir e F1 H x G é fundamental para melhor compreensão dos mecanismos envolvidos na maior rusticidade e potencial de adaptação às condições adversas de ambiente e alimentação.

Considerando-se o estágio fisiológico da gestação, a literatura mundial disponível sobre estudos de metabolismo energético é escassa. Em relação aos valores de metabolizabilidade e sobre a relação entre a EM/ED, não existem dados que ponderem a influência da gestação sobre estas variáveis. Apesar do conhecimento de que as principais causas de variação na conversão da EM/ED referem-se à dieta e à dinâmica digestiva do animal, o conhecimento dos possíveis efeitos da raça e do estágio fisiológico sobre esta variação é fundamental em estudos de partição energética.

No estudo da energia líquida do alimento e da exigência de energia líquida do animal, o conhecimento da produção de calor oriunda do metabolismo animal e da dieta é o principal dado gerado pela técnica respirométrica. Prosseguindo-se à avaliação da partição energética (tabela 4), o próximo passo é o “desmembramento” da EM, que inclui a dedução da produção de calor pelo animal oriunda de cada função, para obtenção da energia líquida consumida pelos animais. Uma das fontes de calor está associada aos processos catabólicos da digestão, que neste trabalho foi denominada incremento calórico (IC). O IC pode representar de 20 a 30% da EB ingerida para animais em manutenção, 30% para animais em lactação e até 66% para animais em engorda (Van Soest, 1994). Tanto os valores obtidos para as vacas Gir (24,38%) quanto o valor para as vacas F1 H x G (22,74%) estão de acordo com os intervalos propostos por este autor para animais em manutenção. Os dados de Johnson et al. (2003) comprovam a influência do plano de alimentação no incremento calórico, uma vez que os animais descritos por estes autores representariam bovinos de corte “modernos” e seriam alimentados em níveis energéticos para obtenção de ganho de peso, e apresentariam a razão entre o IC e EB ingerida variando de 30 a 40%.

O calor produzido pelos processos associados à manutenção do metabolismo basal também deve ser considerado, pois influencia de maneira inversamente proporcional a energia retida pelo animal para que este possa desempenhar suas funções produtivas. Na respirometria, o calor oriundo do metabolismo basal equivale à produção de calor do animal em jejum e corresponde à energia líquida para manutenção (EL_m). Os dados de manutenção, apresentados na tabela 5, pelos animais experimentais foram calculados considerando-se os valores encontrados por Lage (2011), de 92,02 kcal/kg PM para vacas F1 H x G e 76,83 kcal/kg PM para vacas Gir (ambas não gestantes). A proporção da EB ingerida utilizada pelo metabolismo basal nas vacas gestantes, não diferiu neste trabalho entre as raças e os períodos avaliados e correspondeu a 29,69%.

Outra fonte de calor a ser considerada em animais gestantes é a produção de calor oriunda da conversão da EM em EL_p . De maneira geral, a aparente ineficiência de utilização de EM para gestação advém do considerável custo energético de manutenção dos produtos da concepção, isto é, o metabolismo oxidativo constitui o principal componente do requisito energético total do concepto. A desvantagem em termos de eficiência energética baseia-se no fato de que reações oxidativas são, por natureza, exotérmicas. Isto significa que boa parte da energia que poderia ser direcionada para desenvolvimento tecidual do feto é dissipada na forma de calor. A intensa atividade metabólica fetal é responsável pela existência de um gradiente térmico entre a mãe e o feto de 0,5 a 1,0°C (Bauman e Currie, 1980). No presente trabalho, a produção de calor oriunda da gestação, isto é, do concepto (feto, líquidos e membranas fetais) foi obtida subtraindo-se da produção de calor obtida no animal alimentado, o calor oriundo do metabolismo basal (manutenção) e do IC associado a processos digestivos. Por sua vez, a energia líquida para a gestação (EL_p) foi obtida pela diferença entre a EM direcionada para gestação e o calor produzido pelo concepto.

A baixa eficiência de conversão da EM em EL_p encontrada neste trabalho teve um valor médio de 13,00%, e está de acordo com aquele proposto pelo NRC (2001), de 14%. Ferrell et al. (1976) descreveram que a eficiência de utilização do útero gestante seria de 14%, sendo superior à eficiência de utilização de energia pelo concepto (que corresponde apenas ao feto, líquidos e membranas fetais), que seria 12,5%. Os dados de eficiência de utilização de EM para gestação ou prenhez (k_p) apresentados neste trabalho seriam correspondentes ao concepto, uma vez que o calor oriundo do útero propriamente dito já teria sido contabilizado na mensuração de exigência de EL_m . Segundo Ferrell et al. (1976b), a composição do útero foi identificada como relativamente constante, com aproximadamente 16,6% de matéria seca (MS), 3,0% de gordura, 2,12% de nitrogênio, teor energético de 0,95 kcal/g, com taxa de crescimento de 2,03%/dia, havendo diminuição de 0,00268% por dia, à medida em que a gestação avança. A importância dos fluidos seria pífia em termos de acúmulo de nutrientes em função de seu baixíssimo teor de matéria seca (2,0 a 3,7% de MS), de forma que sua composição se mantém praticamente constante durante os diferentes estádios gestacionais (Ferrell et al., 1976a).

A tabela 7 sumariza os valores de EM e EL para gestação de vacas F1 H x G e Gir em relação aqueles preditos pelo NRC (2001).

Tabela 7. Comparação entre a exigência de energia líquida (EL) e metabolizável (EM) aos 180, 210 e 240 dias de gestação de vacas F1 H x Ge Gir em relação ao predito pelo NRC (2001) nas mesmas idades gestacionais

Item	F1			Gir		
	180	210	240	180	210	240
1 Peso vivo bezerro (kg) ¹	39,0	39,0	39,0	28,0	28,0	28,0
2 Kp obtido no experimento (%)	13,93	12,92	10,71	16,79	13,98	9,72
3 EM gestação (Mcal/d) - NRC (2001) (k _p = 0,14)	3,33	3,92	4,51	2,39	2,81	3,24
4 EM gestação obtida (Mcal/d)	3,92	4,66	7,42	5,27	4,30	3,83
5 EM gestação (Mcal/d) - k _p obtido	3,34	4,24	5,89	2,77	3,92	6,49
6 EL gestação (Mcal/d)- NRC (2001)	2,14	2,51	2,89	1,53	1,81	2,08
7 EL gestação obtida (Mcal/d)	2,70	2,71	2,88	2,70	2,71	2,88

¹Peso vivo médio de bezerros obtidos pela pesagem de bezerros F1 HxG e Gir

A linha 2 da tabela 7 apresenta as diferentes eficiências de utilização de EM pelas vacas F1 HxG e Gir em diferentes estádios da gestação (k_p). Na linha 3, observam-se os valores de EM para manutenção de acordo com a equação proposta pelo NRC (2001), que considera a eficiência de 14% proposta por Ferrell et al. (1976a) para conservação de EM pelo útero gestante. Na linha 4, estão apresentados os valores de EM para gestação obtidos no presente trabalho. Os valores obtidos para as vacas F1 H x G (com exceção do valor aos 240 dias) foram semelhantes àqueles descritos pelo NRC (2001). Aos 240 dias, em função do maior consumo de EB (e consumo de matéria seca) pode ter havido excesso de energia que, possivelmente, foi destinada para ganho de peso materno. Para as vacas Gir, comportamento semelhante foi principalmente evidente aos 180 e 210 dias de gestação. Com a aplicação do k_p obtido neste experimento na equação no NRC (2001), os valores de EM preditos aproximam-se mais daqueles de fato obtidos pela dedução da energia perdida nas fezes, urina e gases nos animais experimentais, indicando que um valor fixo de eficiência de utilização de EM para a gestação pode não ser o método mais acurado. Gionbelli (2013), trabalhando com vacas Nelore gestantes e utilizando a técnica de abate comparativo, encontrou k_p equivalente a 14%, representativo para o período gestacional como um todo. O autor mencionou, porém, a grande variabilidade entre os dados obtidos, o que o conduziu ao cálculo do valor de eficiência de utilização de EM utilizando os valores médios. Da mesma forma, Freetly et al. (2008) mencionam diferentes eficiências de utilização de energia variando de 2,7% aos 240 dias de

gestação à 14,4% aos 87 dias, demonstrando a complexidade envolvida na determinação desta variável independentemente da metodologia utilizada.

Por fim, as linhas 6 e 7 mostram os valores de EL_p , de acordo com equações de predição de exigência propostas pelo NRC (2001) e os valores obtidos pela partição energética realizada nos animais experimentais. De modo geral, é possível observar similaridade entre os valores preditos e obtidos, principalmente para os animais mestiços. Para os animais zebuínos, a equação subestimou a exigência dos animais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da partição energética em animais zebuínos e seus cruzamentos é fundamental para melhor compreensão dos processos digestivos e metabólicos que contribuem para o grande potencial produtivo destes animais.

Valores de digestibilidade não foram influenciados pelos grupos genéticos e pelos tempos (idade gestacional) avaliados.

A influência da gestação não foi observada na metabolizabilidade da dieta (q), assim como não influenciou a relação entre ED/EM de vacas gestantes recebendo dieta em nível energético próximo ao da manutenção.

A utilização da energia metabolizável da dieta para gestação envolve processos com baixa eficiência energética devido à complexidade envolvida no desenvolvimento fetal e seus anexos.

A respirometria contribui de forma definitiva para o enriquecimento dos dados de exigências nutricionais, eficiência alimentar e metabólica em bovinos.

6. BIBLIOGRAFIA

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. *Energy and requirements of ruminants*. Wallingford, Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.
- BAUMAM, 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. 80, p. 1514 – 1529. 1980.
- BELL, A. W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2804-2819. 1995.
- BIRKETT, S.; LANGE, K. Limitations of conventional models and a conceptual framework for a nutrient flow representation of energy utilization by animals. *British Journal of Nutrition*, v. 86, p. 647 – 659, 2001.
- BROWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: Proceedings of 3rd Symposium on Energy Metabolism. EEAP Publication 11. Academic Press, London, 1965.
- CAMACHO, L. E.; LEMLEY, C. O.; VAN EMON, J. S. *et al.* Effects of maternal nutrient restriction followed by realimentation during early and midgestation on beef cows. I. Maternal performance and organ weights at different stages of gestation. *Journal of Animal Science*, v. 92, p. 520 – 529. 2014.
- CLARK, J. H.; OLSON, K. C.; SCHMIDT, T. B.; *et al.* Effects of dry matter intake restriction on diet digestion, energy partitioning, phosphorus retention, and ruminal fermentation by beef steers. *Journal of Animal Science*, v. 85, p. 3383-3390, 2007.
- CHIZZOTTI, M.L.; TEDESCHI, L.O.; VALADARES FILHO, S.C. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, v. 86, n. 7, p. 1588 – 1597, 2007.
- C.S.I.R.O COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Victoria: Australia Agricultural Council, CSIRO publications, 2007. 266p.
- 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. Energy Metabolism. In: CHURCH, D.C. *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Illinois: Waveland press, c. 13, p. 250 – 267. 1993
- FERRELL, C.L., GARRETT, W.N., HINMAN, N. Estimation of body composition in pregnant and non pregnant heifers. *Journal of Animal Science*, v.42, n.5, p.1158-1166, 1976.
- FREETLY, H.C.; NIENABER, J. A.; BROWN-BRANDL. Partitioning of energy in pregnant beef cows during nutritionally induced body weight. *Journal of Animal Science*. v. 86, p. 370 – 377. 2008.
- HUNTINGTON, G.B.; REYNOLDS, C.K. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. *The Journal of Nutrition*, v. 117, p. 1167 – 1173, 1987.
- GIONBELII, M. P. 2013 Nutrient requirements and quantitative aspects of growth, development and digestion of pregnant and non-pregnant Nelore cows. 2013. 197f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa – Viçosa.
- 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, n. 8, p.2483-2492, 1995.
- 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.
- MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K.; HINTZ, H. F. *Animal Nutrition*. 7 ed. McGraw-Hill, New York. 1979.
- MEYER, A. M; REED, J. J.; VONNAHME, K. A.; *et al.*. Effects of stage of gestation and nutrient restriction during early to mid-gestation on maternal and fetal visceral organ mass and indices of jejunal growth and vascularity in beef cows. *Journal of Animal Science*, v. 88, p 2410 – 2424. 2010.
- MOE, P.W.; REID, J.T.; TYRREL, H.F.; Effect of level of intake on digestibility of dietary energy by high-production cows. *Journal of dairy Science*, v. 48, p.1053–1061. 1965
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 242p. 2000

- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 381p. 2001.
- REID, J. T., WHITE, O. D., ANRIQUE, R. et al. Nutritional Energetics of Livestock: some present boundaries of knowledge and future research needs. *Journal of Animal Science*, v. 51, p. 1393 – 1415, 1980.
- RESENDE, K. T., TEIXEIRA, I. A. M. A., FERNANDES, M. H. R. Metabolismo de energia. In: Berchielli, T. T., Pires, A. V., Oliveira, S. G. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: FUNEP, 2011. C.11, p.323 – 344.
- 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.
- SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos*. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, p. 235, 2002.
- SILVA, R.R. Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos. 2011. 59p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Escola De Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- SVNERSTENN, S. K.; OLSSON, K, Endocrinology of milk production. *Domestic Animal Endocrinology*. v. 29, n. 2, p. 241 – 258. 2005.
- TUCKER, H.A. Endocrine and neural control of mammary gland. In Lactation, Larson, B.L. Iowa: The Iowa State University Press, p. 39-79, 1985.
- 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. Ithaca: Cornell University Press. 476p. 1994.
- VANDEHAAR, M. J.; YOUSIF, G.; SHARMA, B. K.; *et al.*. Effect of Energy and Protein Density of Prepartum Diets on Fat and Protein Metabolism of Dairy Cattle in the Periparturient Period. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 1282 – 1295. 1999.
- WEISS, W.P.; H.R.CONRAD; PIERRE, N.R.S. Atheoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science Technology*. v. 39, p. 95 – 110. 1992.

WOOD, K. M.; AWDA, B. J.; FITZSMMONS, C. *et al.*. Effect of moderate dietary restriction on visceral organ weight, hepatic oxygen consumption, and metabolic proteins associated with energy balance in mature pregnant beef cows. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 4245 – 4255. 2013.

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 – 503. 1982.

CAPÍTULO 3

Perfil metabólico do período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir

1. INTRODUÇÃO

O período de transição em vacas leiteiras é caracterizado como um período no qual a fêmea bovina passa de um estado gestacional não-lactante para outro no qual há intensa síntese de leite e, sendo caracterizado como uma fase do ciclo produtivo na qual a fêmea encontra-se em balanço energético negativo (Grummer, 1995). Diante deste déficit energético, a vaca deve sofrer ajustes profundos em seu metabolismo devido ao aumento súbito de sua exigência energética para a síntese de grandes quantidades de glicose (quase que a totalidade da glicose disponível no organismo) destinada à síntese de lactose, ao mesmo tempo em que experimenta a supressão significativa do apetite durante as últimas semanas do parto e as primeiras semanas de lactação (Sordillo e Raphael, 2013). Como o consumo necessário para prover tais demandas energéticas adicionais ocorre apenas em uma fase mais tardia da lactação, as carências por nutrientes e energia são supridas pela mobilização de reservas corporais (tecido adiposo, musculatura e ósseo) e pela modificação da utilização de nutrientes pelos tecidos extra-mamários. De maneira geral, tais alterações envolvem um quadro de hipoinsulinemia aliado a uma diminuição da resposta à insulina pelos tecidos adiposo e muscular (Bell e Bauman, 1997).

A redução da resposta à insulina, típica do final da gestação e início da lactação, acarreta aumento dos mecanismos metabólicos associados à lipólise, culminando com o aumento da concentração de ácidos graxos não esterificados (AGNE) na corrente sanguínea, que por sua vez, são utilizados como combustível para suprir as exigências de energia impostas pelo início da lactação (Chapinal et al., 2012). Uma vez no fígado, os AGNE podem ser oxidados na mitocôndria ou reesterificados a triglicerídeos. Embora os mecanismos associados ao metabolismo lipídico sejam fundamentais para a vaca durante o período de transição, é comum a ocorrência do acúmulo excessivo de triglicerídeos no fígado, que por sua vez pode acarretar redução das funções hepáticas normais, comprometendo vias metabólicas fundamentais para fornecimento de energia para a fêmea bovina em balanço energético negativo, como a própria β -oxidação e a gliconeogênese via propionato, glicerol ou aminoácidos (Sordillo & Raphael, 2013; Koster & Opsomer, 2013).

A avaliação do perfil bioquímico nesta etapa desafiadora do ciclo produtivo da fêmea ruminante consiste em valiosa ferramenta no auxílio para diagnóstico de transtornos metabólicos, deficiências nutricionais e/ou monitoramento preventivo de transtornos subclínicos (Duffield et al., 2009), fornecendo informações a respeito do metabolismo do animal. Entretanto, no tocante ao período de transição, o volume de informações disponível na literatura para raças de origem europeia e puras pode ser considerada significativamente superior (Drackley, 1999; Ingvarsten e Andersen, 2000; Opsina et al., 2009; Chapinal et al., 2012; Contreras e Sordillo, 2011; Roche et al., 2013; Alvarenga et al., 2015; Weber et al., 2015) quando comparado ao volume deste tipo de informação para raças zebuínas e seus cruzamentos.

Dada à importância de raças zebuínas e seus cruzamentos na pecuária brasileira, objetivou-se com este trabalho a avaliação do perfil metabólico no período de transição de vacas Gir e F1 Holandês x Gir.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado de julho de 2012 a agosto de 2014, nas dependências da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

2.1. Dieta experimental

A dieta consumida pelos animais no período pré-parto corresponde àquela descrita no Capítulo I, item 2.2 aos 240 dias de gestação.

A dieta para lactação (Vivenza, dados não publicados) era composta de silagem de milho e um concentrado à base de milho e farelo de soja (65% volumoso e 35% concentrado), além do núcleo mineral. A composição da dieta experimental foi de 49,62% de matéria seca (MS), 94,85% de matéria orgânica (MO), 14,13% de proteína bruta (PB), 40,12% de fibra em detergente neutro (FDN), 20,87% de fibra em detergente ácido (FDA), 67,77 % de nutrientes digestíveis totais (NDT). A dieta foi calculada conforme as recomendações do NRC (2001), atendendo às exigências de manutenção e produção. A dieta foi fornecida duas vezes ao dia, *ad libitum*, às 7h 30 min e às 16h 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% de sobras.

2.2. Animais utilizados

Os animais utilizados estão descritos no capítulo I, item 2.1.

2.3. Períodos avaliados

As coletas de sangue foram iniciadas 30 dias antes da data prevista do parto de cada animal e finalizadas 30 dias após o parto. O intervalo entre as coletas foi de aproximadamente cinco dias, com exceção da primeira semana após o parto, na qual a coleta de sangue ocorreu a cada dois dias por tratar-se de um período mais crítico em termos de desafios metabólicos. Como o período de parição das fêmeas não pôde ser uniformizado, as coletas foram realizadas conforme o cronograma escalonado.

2.4. Coleta de sangue, processamento e análise das amostras

As amostras de sangue para dosagem dos componentes bioquímicos e hormonais foram obtidas por punção da veia/artéria coccígea utilizando-se sistema de coleta a vácuo, sendo as coletas realizadas no início da manhã, antes da primeira alimentação (entre 6h30m e 8h). Foram coletados: 5 mL de sangue em anticoagulante ácido etilenodiaminotertracético (EDTA) para realização das análises de AGNE e todos exames hematológicos, 5 mL de sangue em anticoagulante fluoreto de sódio para determinação da glicose plasmática e 10 mL de sangue em tubos siliconizados, sem anticoagulante, para obtenção do soro, a partir do qual foram realizadas as análises de bioquímica clínica. Após os procedimentos de coleta, as amostras foram conduzidas para o Laboratório de Patologia Clínica da UFMG para processamento e análises.

Os tubos foram centrifugados por 10 minutos a 3000 RPM, em centrífuga Centerbio[®]. As alíquotas de plasma e soro foram retiradas utilizando-se pipetas de precisão e transferidas para tubos plásticos de 0,5 mL (eppendorfs), que foram armazenados em câmara fria a -20°C, até a realização das análises bioquímicas.

As análises bioquímicas foram realizadas em Analisador Bioquímico Cobas Mira Plus[®] tendo sido determinadas:

- Concentração plasmática de glicose (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];

- Concentração plasmática para ácidos graxos não-esterificados (AGNE; mmol/L), determinada utilizando-se kit comercial RANDOX[®];
- Concentração sérica de colesterol (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de triglicerídeos (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de ureia (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de creatinina (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de proteína total (g/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de albumina (g/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de cálcio (mg/dL), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®];
- Concentração sérica de aspartato amino transferase (AST; U/L), determinada utilizando-se kit comercial KOVALENT[®].

2.5. Análise estatística

Para comparar as variáveis estudadas entre os períodos (dias em relação ao parto), o delineamento estatístico utilizado foi organizado em arranjo em parcelas subdivididas, no qual as raças representam as parcelas e os momentos das coletas as sub-parcelas. As análises de variância foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SISVAR. Verificou-se a significância pelo teste F, para interação significativa ou não, sendo as médias entre raças no mesmo momento de coleta comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, enquanto os momentos de coleta foram comparados pelo teste Scott-Knott por sua característica de diminuir a sobreposição entre os resultados, que equivalem aos 14 momentos de coleta. As médias entre os tempos de avaliação foram também avaliadas por regressão (linear, quadrática e cúbica) pelo mesmo pacote estatístico SISVAR, considerando nível de significância de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Metabolismo proteico

A concentração de nitrogênio ureico plasmático (NUP), na tabela 1 demonstra que as vacas da raça Gir apresentaram valores inferiores para esta variável do 10º dia pré-parto ao 8º dia pós-parto, enquanto o mesmo parâmetro nas vacas F1 não diferiu entre os tempos avaliados durante o período de transição.

Tabela 1. Médias e erros-padrão das concentrações séricas de nitrogênio ureico plasmático (NUP, mg/dL), creatinina (mg/dL), albumina (mg/dL) e proteína total de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto*

Item	Período														Média
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	+2	+4	+6	+8	+13	+18	+23	+28	
NUP															
Gir	15,54a	15,72a	16,70a	16,65Aa	12,93b	12,75b	11,82b	13,41b	13,44b	11,43b	15,43Aa	9,11Bb	9,75b	9,87b	13,29
EP	1,60	0,48	0,63	0,39	0,30	0,65	0,44	0,44	0,76	0,65	0,55	0,63	0,38	0,47	0,40
F1 H x G	13,80	14,71	13,37	12,62B	13,63	12,17	11,68	11,26	11,52	12,43	10,67B	12,59A	14,27	10,04	12,39
EP	0,65	0,10	0,31	0,25	0,28	0,36	0,46	0,69	0,70	0,43	0,79	1,19	0,80	0,84	0,39
Média	14,77a	15,31a	15,82a	14,64a	13,28a	12,46b	11,57b	12,43b	12,48b	11,93b	13,05b	10,69b	12,01b	9,96b	12,87
EP	0,32	2,24	1,00	0,81	0,50	0,88	0,75	0,93	1,24	0,92	1,34	1,50	1,24	1,12	0,28
CREATININA															
Gir	2,66a	2,91Aa	2,71a	2,93Aa	2,47a	2,81a	2,22b	2,31b	2,22b	2,10b	2,28b	1,97b	1,83b	1,99b	2,35A
EP	0,08	0,10	0,10	0,08	0,17	0,09	0,06	0,03	0,04	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06
F1 H x G	2,45a	2,26Ba	2,32a	2,30Ba	1,93b	2,58a	2,08b	1,95b	1,89b	1,69b	2,11b	1,80b	1,96b	1,64b	2,05B
EP	0,18	0,09	0,10	0,12	0,04	0,11	0,08	0,16	0,04	0,03	0,11	0,07	0,04	0,09	0,06
Média	2,57a	2,39a	2,53a	2,62a	2,20b	2,69a	2,15b	2,15b	2,06b	1,89b	2,19b	1,89b	1,89b	1,82b	2,21
EP	0,17	1,15	0,17	0,20	0,22	0,17	0,11	0,09	0,09	0,09	0,16	0,11	0,07	0,13	0,04
ALBUMINA															
Gir	3,55	3,91	3,54	3,63	3,41	3,59	3,34	3,52	3,59	3,41	3,93	3,82	3,40B	3,61	3,56
EP	0,10	0,13	0,07	0,07	0,05	0,07	0,05	0,09	0,09	0,13	0,17	0,11	0,08	0,12	0,06
F1 H x G	4,00a	3,19b	3,44b	3,97a	3,27b	4,19a	3,76a	3,38b	3,58b	3,26b	3,94a	3,58b	4,17Aa	3,76b	3,70

<i>EP</i>	0,22	0,03	0,08	0,13	0,03	0,19	0,16	0,27	0,09	0,07	0,15	0,17	0,08	0,10	0,08
Média	3,75	3,11	3,57	3,80	3,34	3,89	3,55	3,46	3,58	3,34	3,93	32,71	3,78	3,69	3,63
<i>EP</i>	0,22	1,48	0,12	0,18	0,07	0,25	0,21	0,13	0,14	0,18	0,26	0,22	0,18	0,19	0,05

PROTEÍNA TOTAL

Gir	8,60	9,06	8,21	8,80	7,97	8,04	8,06	8,76	8,78	8,57	10,17	9,81	8,45B	9,32	8,72
<i>EP</i>	0,26	0,30	0,17	0,33	0,14	0,17	0,11	0,21	0,21	0,30	0,40	0,24	0,06	0,27	0,15
F1 H x G	9,45b	8,03b	8,43b	9,38b	8,22b	9,71b	9,17b	7,91b	9,14b	8,44b	10,64a	9,60b	12,03Aa	10,07a	9,36
<i>EP</i>	0,40	0,12	0,06	0,34	0,13	0,41	0,31	0,64	0,36	0,09	0,26	0,43	0,28	0,50	0,21
Média	8,98	6,98	8,31	9,09	8,10	8,87	8,61	8,37	8,96	8,51	10,41	9,72	10,24	9,69	9,02
<i>EP</i>	0,43	3,46	0,22	0,56	0,23	0,57	0,42	0,36	0,48	0,36	0,56	0,51	0,64	0,50	0,13

*valores de hematócrito avaliados em todos os períodos estavam compreendidos entre o intervalo de referência: 24 a 46% (Rosenberger, 1993).

Entre as colunas, as médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Entre as linhas, as médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

Broderick e Clayton (1997) afirmaram que os valores de referência para bovinos estariam entre 7,0 e 19,0 mg/dL, indicando que os valores de NUP apresentados pelos animais no período de transição encontram-se dentro da normalidade, independentemente da raça e/ou período avaliado. A figura presente no apêndice 6.1 (ao final deste capítulo) demonstra haver relação linear e negativa entre os valores de NUP e os tempos avaliados, sendo que isso ocorre de forma significativa para vacas Gir. Tal comportamento parece lógico, uma vez que a eficiência de utilização de proteína para lactação é de 67%, enquanto, que para a gestação, esta eficiência equivale a 33% (NRC, 2001).

A ureia consiste na principal forma de excreção de nitrogênio em mamíferos e, portanto, concentrações elevadas de nitrogênio ureico no plasma podem ser associadas à utilização ineficiente do nitrogênio da dieta (Broderick e Clayton, 1997). Embora não sejam a principal fonte de substrato gliconeogênico, os aminoácidos, especialmente alanina e glutamina, contribuem de forma significativa para a produção de glicose em ruminantes (Drackley et al., 2001). Sendo assim, a mobilização proteica típica de quadros de balanço energético negativo (BEN) pode justificar alterações nos valores de ureia plasmática, pois o tecido muscular esquelético age como reservatório de aminoácidos para suportar o aumento da gliconeogênese observado no período de transição (Bell, 1995). Os maiores valores médios de NUP observados até o 5º dia pré-parto provavelmente estariam associados ao menor consumo de MS e, conseqüentemente, menor ingestão de PB pelos animais no período seco em relação ao consumo de nutrientes observados no período pós-parto (Vivenza, dados não publicados), muito embora estejam ainda dentro do intervalo de normalidade para esta variável, conforme descrito anteriormente. Segundo o NRC (2001), em situações de BEN acentuado, aproximadamente de 11 a 15 kg de proteína corpórea podem ser mobilizados durante os primeiros 60 dias de lactação. Neste caso, o catabolismo proteico é importante gerador de nitrogênio amoniacal, em virtude da maior deaminação de aminoácidos, gerando assim maiores valores de NUP.

Zambrano e Marques Júnior (2009) avaliaram o perfil metabólico de vacas mestiças girolando e não identificaram diferença estatística para os valores de NUP nos períodos pré e pós-parto. O valor médio descrito pelos autores para esta variável foi de $11,85 \pm 2,80$ mg/dL, sendo próximo ao valor médio 12,87 mg/dL encontrado no presente trabalho. Em um estudo com vacas holandesas, objetivando avaliar a relação entre a duração do período seco e o perfil metabólico de vacas holandesas, Weber et al. (2015) encontraram valores de NUP variando de

9,32 mg/dL à 12,56 mg/dL, sendo a ocorrência dos maiores valores no 1º dia pós-parto, valores próximos aos apresentados pelas vacas Gir e F1 Holandês x Gir utilizadas no presente experimento. Da mesma forma, os valores descritos por Fenwick et al. (2008) estão próximos aos valores de NUP presentes na tabela 1. Estes autores submeteram vacas holandesas a “balanços energéticos” médio e severo, e os valores de NUP foram de $11,76 \pm 1,29$ e $14,29 \pm 0,87$ mg/dL, respectivamente, e não diferiram estatisticamente ($P=0,174$).

A creatinina é formada nos músculos a partir da creatina, sendo sua concentração plasmática interpretada como uma avaliação indireta da massa muscular. A diminuição deste parâmetro é um reflexo da mobilização de musculatura esquelética (Bruckmaier et al., 1998). Em sua revisão, Bell e Bauman (1997) mencionam que a perda líquida de tecido muscular seria responsável pela redução de 25% no diâmetro da fibra muscular em vacas logo após o parto. Além disso, os mesmos autores mencionam estudos que identificaram redução da síntese proteica em ruminantes submetidos a balanço negativo de nitrogênio, além do aumento da degradação proteica tipicamente descrita em casos de restrição nutricional. Comprovando esta relação, Kokkonen et al. (2005) relataram diminuição no diâmetro da fibra muscular de vacas Ayrshire a partir do 7º dia pré-parto e observaram que este mesmo parâmetro sofreu redução gradativa até o final das mensurações ao 28º dia pós-parto. Paralelamente, os mesmos autores descreveram o mesmo comportamento para a concentração sérica de creatinina, que teve seus valores reduzidos de 1,36 mg/dL ao 1º dia pós-parto para 0,92 mg/dL no 21º dia de lactação, o que denotaria diminuição da massa muscular total. A diminuição dos valores de creatinina presentes na tabela 1 denota que a mobilização de reservas proteicas para ambas as raças avaliadas teve início no período pós-parto, indicando que nesta fase o balanço de nitrogênio destes animais estaria negativo. No caso das vacas Gir, o comportamento do NUP corrobora tal observação, pois ambas as variáveis se comportam da mesma forma. Já nas vacas F1 HxG, enquanto as concentrações de creatinina apresentam redução significativa ($P<0,05$) no 10º dia pré-parto, os valores de NUP permaneceram estatisticamente semelhantes em todo o período. Nozad et al. (2012) obtiveram a correlação de 0,36 ($P<0,01$) entre as concentrações séricas de nitrogênio ureico e creatinina plasmática ao avaliar parâmetros sanguíneos de 76 vacas holandesas em diferentes fases da lactação. A figura presente no apêndice 6.2 demonstra a correlação linear e negativa existente entre os valores de creatinina e os tempos avaliados, assim como ocorreu com a avaliação da concentração de NUP, indicando a semelhança de variação destes teores no período de transição.

De uma maneira geral, é possível observar que os valores de creatinina não diferiram entre as raças avaliadas (com exceção dos dias 25º e 15º pré-parto), sendo mais elevados no período pré-parto em relação ao pós-parto. As concentrações séricas de creatinina em todos os períodos avaliados estão acima dos valores descritos por Kaneko et al. (2008), que variam de 1,0 a 2,0 mg/dL. Nicoletti et al. (1981) relataram valores entre 1,30 a 1,74 mg/dL de creatinina no soro sanguíneo de 60 fêmeas bovinas de diversas raças. Em outro trabalho nacional, com o objetivo de determinar os valores de referência das concentrações séricas de creatinina, Gregory et al. (2004) estabeleceram teores de $1,35 \pm 0,21$ mg/ dL para creatinina. Os valores descritos no presente trabalho assemelham-se aos descritos por Vivenza (2012), que encontrou números também acima do valor máximo proposto Kaneko et al. (2008) e daqueles descritos por outros autores, para novilhos mestiços F1 H x Gir que recebiam dieta *ad libitum* ou em quantidade suficiente para atender às exigências de manutenção, sendo a concentração média de creatinina de 2,26 mg/dL para estes animais. A média apresentada pelos animais F1 H x G em todo o período amostral foi estatisticamente inferior ($P < 0,05$) quando comparada àquela apresentada pelos animais Gir. Este fato, possivelmente, estaria associado à maior exigência proteica dos animais F1, tanto na gestação, em função do maior peso do bezerro, quanto na lactação (Vivenza, dados não publicados), devido à maior produção de leite.

Ainda no tocante ao perfil proteico, a tabela 1 demonstra que as concentrações séricas de albumina e proteína total variaram de forma semelhante, provavelmente porque de 35 a 50% da proteína total é composta por albumina (Kaneko et al., 2008). A raça Gir não apresentou variação destes componentes nos diferentes tempos avaliados, enquanto que nos animais F1 H x G, tanto a proteína total quanto a albumina apresentaram oscilação em diferentes momentos de avaliação. A variação destes indicadores do metabolismo proteico está ilustrada nos gráficos e equações de regressão apresentados nos apêndices 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 ao final deste capítulo.

Os valores propostos por Rosenberger (1993) e Kaneko (2008) para a concentração de albumina variam entre 3,03 e 3,55 g/ dL. De acordo com Meyer e Harvey (2004), a concentração plasmática da albumina varia entre as espécies ruminantes, mas seu valor sérico ou plasmático médio pode variar entre 2,5 g/dL e 4,5 g/dL.

As concentrações de proteína total e albumina são abordadas na literatura como reflexo do *status* proteico do animal, sendo que seus valores encontram-se inferiores em casos de

deficiência proteica. Em quadros de insuficiência de proteína na dieta para vacas secas, os valores de NUP encontram-se abaixo de 10 mg/dL, enquanto as concentrações de albumina podem permanecer normais, em torno de 3,5 mg/dL. Já vacas recém-paridas podem apresentar baixa concentração de NUP associada a baixos valores na concentração de albumina (Lee et al., 1978). Além da redução do consumo de matéria seca observada no início da lactação e consequente ingestão insuficiente de nutrientes para suprir as exigências nutricionais, neste mesmo período, concomitantemente, ocorre prejuízo da função hepática (Roche et al., 2013). O reflexo destes fenômenos metabólicos na concentração de albumina e de proteínas totais ocorre pelo fato de que a albumina é uma proteína sintetizada exclusivamente pelos hepatócitos (Kaneko et al., 2008).

3.2. Metabolismo lipídico/energético

Na tabela 2 verifica-se a diferença entre as concentrações de triglicerídeos entre as raças Gir e F1 H x G no pré-parto, com superioridade dos valores apresentados nos animais zebuínos. Entretanto, é também possível observar que comportamento desta variável foi semelhante entre as raças, com a ocorrência de maiores valores no período pré-parto.

Tabela 2. Médias e erros-padrão das concentrações séricas de triglicerídeos (TG, mg/dL), ácidos graxos não-esterificados (AGNE, mmol/dL), colesterol (mg/dL), glicose (mg/dL) e de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto*.

Item	Período														
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	+2	+4	+6	+8	+13	+18	+23	+28	Média
TG															
Gir	48,84Aa	56,78Aa	50,38Aa	55,33Aa	47,08Aa	48,37a	23,88b	23,38b	24,26b	25,09b	24,34b	21,10b	20,05b	22,08b	34,48A
EP	3,61	3,36	3,25	3,10	1,52	2,46	0,64	1,13	1,02	1,21	1,06	1,55	0,50	0,81	1,90
F1 H x G	35,05Ba	34,49Ba	42,57Ba	38,57Ba	34,88Ba	39,12a	21,89b	20,68b	18,25b	19,21b	18,79b	13,88b	16,85b	16,68b	26,09B
EP	1,74	1,70	2,14	1,47	1,14	1,76	1,01	1,65	0,55	0,94	0,67	0,30	0,38	0,95	1,31
Média	42,71 ^a	37,78a	46,83a	46,95a	40,98a	43,75a	22,88b	22,16b	21,25b	22,15b	21,57b	17,82b	18,45b	19,38b	30,54
EP	4,41	25,47	4,79	47,37	2,88	3,80	1,43	1,60	1,63	2,00	1,69	2,30	0,88	1,68	1,22
AGNE															
Gir	0,299	0,381B	0,351B	0,348	0,317	0,346	0,590	0,400	0,340	0,410	0,330	0,390	0,240	-	0,366B
EP	0,024	0,03	0,04	0,031	0,055	0,050	0,11	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	-	0,018
F1 H x G	0,267b	0,621Aa	0,591Aa	0,408b	0,477b	0,361b	0,578a	0,581a	0,437b	0,403b	0,359b	0,418b	0,389b	0,451b	0,444A
EP	0,04	0,06	0,07	0,06	0,03	0,05	0,09	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,09	0,04	0,017
Média	0,285b	0,480b	0,420a	0,379b	0,397b	0,354b	0,580a	0,480a	0,390b	0,410b	0,340b	0,400b	0,310b	-	0,405
EP	0,023	0,049	0,044	0,033	0,039	0,035	0,069	0,045	0,046	0,050	0,032	0,041	0,053	-	0,013
COLESTEROL															
Gir	106,96a	93,15b	96,69b	94,92b	86,03b	75,95b	65,87b	89,79b	92,40b	103,40a	124,36a	112,22a	113,03aB	126,28a	99,36A
EP	3,35	4,75	2,62	2,23	2,07	4,02	4,26	3,94	4,10	2,42	8,30	7,45	7,05	6,92	3,52
F1 H x G	117,15a	70,38b	76,59b	84,25b	77,90b	94,95b	97,90b	84,46b	103,42b	97,01b	139,32a	131,27a	154,25Aa	139,39a	105,74A

<i>EP</i>	5,73	7,72	3,53	3,15	3,20	4,90	5,83	6,88	3,97	3,88	8,65	8,44	3,80	7,60	4,38
Média	111,49a	69,56b	87,56b	89,58b	81,96b	85,45b	81,88b	87,37b	97,91b	100,21b	131,84a	125,24a	133,61a	132,84a	101,29
<i>EP</i>	0,72	40,28	5,70	4,78	4,62	7,94	9,72	6,14	6,87	5,43	14,19	12,60	11,23	12,17	2,79

GLICOSE

Gir	61,18	62,87	58,43	62,94	62,85	63,18	63,15	71,67A	65,97	67,94	61,94	65,33	63,75	63,48	63,39
<i>EP</i>	2,80	1,05	0,83	2,46	1,66	1,71	2,11	2,49	2,57	2,37	1,24	2,01	1,93	1,34	1,13
F1 H x G	54,64	50,54	57,01	55,65	57,48	66,59	60,50	57,67B	59,99	68,91	69,46	57,07	62,10	59,35	60,26
<i>EP</i>	1,30	1,09	1,68	1,00	1,66	1,49	1,10	4,51	1,65	1,42	2,11	0,83	1,44	1,57	1,06
Média	58,27	44,90	57,79	59,30	60,16	64,88	61,83	63,31	62,98	68,42	65,70	61,58	62,29	61,41	61,92
<i>EP</i>	2,84	24,95	1,94	3,29	2,86	2,70	2,81	3,92	3,68	3,23	3,07	2,98	2,82	2,49	0,79

*valores de hematócrito avaliados em todos os períodos estavam compreendidos entre o intervalo de referência: 24 a 46% (Rosenberger, 1993).

Entre as colunas, as médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Entre as linhas, as médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

Os valores de referência para a concentração de triglicerídeos em bovinos, estabelecidos por Kaneko et al. (2008), encontram-se entre zero e 14 mg/dL, muito abaixo dos valores apresentados pelos animais do presente experimento. Avaliando a concentração de triglicerídeos de vacas no período de transição, Weber et al. (2013) encontraram teores de 7,97 a 11,55 mg/dL para vacas com diferentes graus de infiltração lipídica. Valores encontrados no presente trabalho estão mais próximos de outros trabalhos nacionais. Moreira (2015), por exemplo, trabalhando com vacas Girolando, encontrou valores de triglicerídeos plasmáticos mais elevados, de 40,59 mg/dL, 37,10 mg/dL e 36,97 mg/dL, respectivamente, na quarta, terceira e segunda semanas anteriores ao parto. Na última semana antecedente ao parto, a concentração de triglicerídeos caiu para 32,04 mg/dL e no dia do parto e logo após este, a concentração foi reduzida para níveis entre 20 e 30 mg/dL.

Valores mais elevados para a concentração de triglicerídeos parecem estar associados ao melhor *status* energético do animal. Numa compilação de dados relacionados ao lipidograma de animais na raça Holandesa, Pogliani e Birgel Júnior (2007) observaram que vacas secas apresentam maior concentração de triglicerídeos quando comparadas a vacas em lactação, sendo os menores valores desta variável descritos em vacas no início da lactação. Os autores sugerem níveis de 19,68 a 36,23 mg/dL em vacas com seis a nove meses de gestação e de 6,5 a 15,8 mg/dL em vacas no puerpério recente (menos de 30 dias em lactação).

Altas taxas de mobilização de tecido adiposo provocam acúmulo de triglicerídeos no fígado (Weber et al., 2013). Quando captados pelo fígado, os ácidos graxos não-esterificados (AGNE) podem ser reesterificados em triglicerídeos ou oxidados pela mitocôndria. Entretanto, quando o fluxo de AGNE para o fígado excede a capacidade do mesmo em exportar os triglicerídeos sintetizados, ocorre acúmulo desta substância nos hepatócitos (Sordillo e Raphael, 2013). Em sua revisão, Roche et al. (2013) mencionaram que, do ponto de vista bioquímico, ruminantes possuem a mesma capacidade de esterificar os AGNE que qualquer outra espécie, como ratos, suínos e aves. Entretanto, a capacidade de exportação de triglicerídeos via VLDL (do inglês, *very low density protein*) pelos ruminantes é significativamente menor quando comparada à de monogástricos. Tal característica específica é o que acarreta a ocorrência de acúmulo excessivo de triglicerídeos no fígado, principalmente observada nas primeiras semanas pós-parto reportada em diversos estudos (Roche et al., 2013).

O grau do balanço energético negativo pode ser identificado pelo aumento dos níveis de ácidos graxos não-esterificados (AGNE) circulantes. Neste experimento, as vacas Gir não apresentaram variação na concentração de AGNE nos tempos avaliados (0,366 mmol/L; $P > 0,05$), enquanto as vacas F1 H x G apresentaram valores de AGNE circulantes superiores no período durante a primeira semana pós-parto (0,5795; $P < 0,05$). Curiosamente, no período pré-parto foram identificadas altas concentrações de AGNE aos 25 e 20 dias anteriores ao parto, sendo estes valores estatisticamente superiores aqueles encontrados para as vacas Gir (0,606 vs. 0,366, respectivamente).

A variação “clássica” para a concentração de AGNE descrito pelo NRC (2001) em vacas de leite estabelece que esta variável possa ter seu valor dobrado ou triplicado nas duas ou três semanas antes do parto e nos segundo e terceiro dia pós-parto. O comitê alega que tais modificações na concentração de AGNE podem ser associadas tanto à diminuição do consumo de matéria seca e/ou a modificações hormonais, não sendo ainda possível identificar qual destes fatores teria a maior influência no aumento das concentrações de AGNE no período de transição.

Para vacas em balanço energético positivo, a concentração normal de AGNE seria menor que 0,2 mmol/L (Drackley, 2001). No período de transição, ocorre aumento na concentração de AGNE, que oscila entre 0,5 e 1,0 mmol/L na última semana antecedente ao parto, podendo alcançar picos entre 0,8 e 1,2 mmol de AGNE/L pelas modificações hormonais e estresse associados à ocorrência do parto (Adewuyi et al., 2005). Valores elevados de AGNE, acima de 0,40 mmol/L, são considerados elevados e estão associados à ocorrência de doenças e prejuízo produtivo ao longo da lactação (Leblanc, 2010). No estudo de Fenwick et al. (2008), vacas Holandês x Friesian foram submetidas a dois tipos de balanço energético negativo (médio e severo). As vacas submetidas ao balanço energético severo apresentaram concentrações de AGNE circulantes de 1,4 mmol/L, enquanto esta variável nos animais submetidos à restrição energética em nível “médio” foi de 0,3 mmol/L.

Em vacas holandesas no período de transição, Seifi et al. (2007) descreveram aumento da concentração concomitante à ocorrência do parto, atingindo o pico no 8º dia (0,91 mmol/L). A partir deste momento, os autores relatam um decréscimo na concentração desta variável. O perfil metabólico energético de vacas mestiças Holandês x zebu apresentado por Oliveira et al. (2014) demonstrou a ocorrência de lipólise no dia do parto com concentração de AGNE equivalente a $0,86 \pm 0,44$ mmol/L, sendo que apenas na segunda semana pós-parto os valores

retornaram aos níveis considerados adequados para o puerpério recente, em vacas Holandesas, que oscilam entre 0,26 e 0,52mmol/L (Pogliani & Birgel Júnior 2007).

A superioridade da média para a concentração de NEFA nos períodos avaliados para as vacas F1 H x G possivelmente está associada à maior produção de leite destes animais em relação às Gir. Além disso, os animais F1 apresentaram maior redução no escore de condição corporal no pós-parto (Vivenza, dados não publicados). Lage (2011) verificou maior exigência de energia metabolizável para manutenção em novilhas mestiças F1 H x G em relação a novilhas Gir com 450 kg de peso vivo.

A concentração de colesterol variou de forma semelhante entre as raças avaliadas e pode ser visualizada no apêndice 6.7. No 30º dia anterior ao parto, o colesterol apresentou valores superiores aqueles descritos entre o 25º dia pré-parto até o nascimento do bezerro. A partir do 8º e do 13º dia pós-parto, nas vacas Gir e F1, respectivamente, o colesterol teve sua concentração aumentada. Varas et al. (2015) observaram variação no colesterol similar à obtida nas duas raças avaliadas. Segundo esses autores, o colesterol sérico em vacas de leite tende a diminuir com a aproximação do parto, mas aumenta gradualmente após o parto, seguindo os padrões de modificação no consumo de matéria seca durante o período de transição.

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 trabalhos nacionais (Souza & Birgel Júnior, 2009; García et al., 2011; Oliveira et al., 2014). Cavestany et al. (2005) sugerem que a hipercolesterolemia com o avanço da lactação é uma resposta fisiológica e está relacionada à melhora no balanço energético.

Os valores inferiores ($P < 0,05$) para a concentração de colesterol tiveram média de 86,16 mg/L, em contraste com a média dos valores superiores, equivalente a 122,54 mg/L. Ambos encontram-se próximos aos valores de referência propostos por Kaneko et al. (2008), que oscilam entre 80 e 120 mg/dL. Dann et al. (2006), ao fornecerem dietas atendendo 80, 100 e 150% da recomendação de energia líquida do NRC (2001) para vacas Holandesas, não encontrou diferença ($P > 0,05$) entre a concentração de colesterol dos animais submetidos aos diferentes tratamentos e descreveu valores oscilando de 84 a 105 mg/dL aos 10 dias antecedentes ao parto. No 10º dia pós-parto, a mesma variável apresentou valores entre 75 e 93 mg/dL, sem apresentar diferença estatística entre os níveis de ingestão de energia

avaliados. Já Pogliani e Birgel Júnior (2007) descreveram valores maiores na avaliação de rebanhos leiteiros brasileiros, com médias de 94,63 a 146,93 mg/dL.

A variável seguinte, demonstrado na tabela 2, refere-se às concentrações de glicose. Observa-se que a glicemia dos animais experimentais não sofreu alterações durante o período de transição para ambas as raças avaliadas. Apenas no quarto dia após o parto foi possível verificar maior concentração de glicose circulante para vacas Gir em relação às vacas mestiças, com valores de 71,67 e 57,67 mg/dL, respectivamente ($P < 0,05$). O valor médio para a glicemia das fêmeas bovinas foi de 61,92 mg/dL. Os valores para glicemia normal de vacas estaria compreendido entre 45 e 75 mg/dL (Kaneko et al., 2008).

A estabilidade da glicemia nos animais do presente trabalho está em desacordo com a observação de Grummer (1995) que, em sua revisão, menciona que os valores de glicose permanecem estáveis no período pré-parto, sofrem um aumento súbito em decorrência do parto (possivelmente pelo aumento nos níveis séricos de glucocorticoides e glucagon) e por fim, sofrem redução significativa com o início da lactação. A utilização da glicose no final da gestação e início da lactação encontra-se reduzida na maioria dos tecidos com consequente aumento na utilização de AGNE e corpos cetônicos por outros tecidos. Mesmo diante da menor utilização da glicose estar associada ao aumento da gliconeogênese pelo fígado e rins, o que se observa é a queda da glicemia no início da lactação (Harðarson e Ingvarsen, 2005). Comprovando este conceito, o estudo de Zachut et al. (2013) com vacas Holandesas apresenta valor basal para a concentração de glicose no pré-parto de 67,9 mg/dL, com decréscimo significativo ($P < 0,05$) desta variável no pós-parto para 55,9 mg/dL. Em vacas mestiças holandês x zebu, Moreira (2015) observou o mesmo comportamento.

Sendo a glândula mamária caracterizada como o grande consumidor de glicose no organismo da vaca em lactação, a ausência do decréscimo da glicemia com o início da lactação possivelmente se deu em função da baixa produção de leite pelas vacas, quando comparadas à produção de leite de vacas holandesas especializadas, normalmente utilizadas neste tipo estudo. Vivenza (dados não publicados) avaliou os mesmos animais F1 H x G e Gir em lactação. Segundo ele, os animais mestiços apresentaram a fase ascendente de lactação, sendo o pico de produção observado na 7ª semana de lactação (49 – 56 DEL), com $19,58 \pm 2,18$ kg/dia. Já os 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 (LCG4%) 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. As vacas Gir apresentaram, ao final do período avaliado, redução 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 7,59 kg/dia e 8,08 kg/dia LCG4%.

3.3. Função hepática

Além de caracterizar-se como um indicador do metabolismo energético do animal, a concentração de glicose sérica pode ser interpretada como um biomarcador da função hepática, uma vez que gliconeogênese hepática caracteriza-se como o maior contribuinte na homeostase da glicose sanguínea em vacas leiteiras (Kasagic et al., 2011). Aliada à avaliação da glicemia, a dosagem sérica de aspartato aminotransferase (AST) também contribui para este estudo. A AST é encontrada principalmente no fígado, nos eritrócitos e nos músculos esquelético e cardíaco. O significativo aumento da AST sérica sugere lesão hepática grave e difusa (Santos et al., 2007). Isso pode ocorrer devido à lesão hepato-celular secundária à excessiva mobilização lipídica, o que pode ocorrer em situações de déficit energético que promovam excessiva mobilização de tecido adiposo na tentativa de manter a homeostase. Por isso, destaca-se a importância de sua dosagem em situações de restrição alimentar e balanço energético negativo (Roberts e Reid, 1993).

As concentrações séricas da enzima AST em vacas F1 H x G e Gir no período de transição estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Médias e erros-padrão da atividade enzimática da aspartato aminotransferase (AST, U/L) de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto*

AST	Período														Média
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	+2	+4	+6	+8	+13	+18	+23	+28	
Gir	54,17	55,20	52,84	54,74	53,98	60,46	72,87	67,54 B	68,46	60,74	62,96 B	58,32	50,40 B	64,38	59,86 B
EP	9,58	10,82	4,78	7,95	6,72	4,84	3,16	9,10	9,77	8,87	12,49	10,75	8,47	10,84	2,28
F1 H x G	53,78 b	35,76 b	48,70 b	46,76 b	43,66 b	55,12 b	88,32 a	94,05 Aa	90,83 a	72,27 a	93,12 Aa	69,02 a	76,12 Aa	53,08 b	66,21 A
EP	5,93	1,77	6,29	4,37	4,39	6,11	10,37	6,67	9,58	3,37	12,28	14,27	7,66	12,59	3,01
Média	53,99 b	47,43 b	50,96 b	50,75 b	48,82 b	57,79 b	77,60 a	79,59 a	79,64 a	66,50 b	78,04 a	63,18 b	63,26 b	58,73 b	62,91
EP	5,60	7,04	3,72	4,49	4,13	3,80	5,36	6,93	8,40	5,22	11,00	8,45	6,68	8,10	1,88

*valores de hematócrito avaliados em todos os períodos estavam compreendidos entre o intervalo de referência: 24 a 46% (Rosenberger, 1993).
 Entre as colunas, as médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).
 Entre as linhas, as médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

Enquanto animais da raça Gir não apresentaram diferenças para a atividade enzimática da AST nos tempos avaliados, nas vacas F1 H x G foram observados valores superiores para esta variável a partir do 2º dia pós-parto. Concomitantemente, neste mesmo tempo de avaliação, foram identificados picos na concentração de AGNE pelos mesmos animais. Em outros momentos anteriores ao parto (-30 e -20) foram observados elevados teores de AGNE sem, entretanto, haver aumento sincrônico da atividade da enzima AST, levando a crer que é a lactação o maior desafio imposto ao fígado no período de transição.

A atividade enzimática média de AST para as vacas Gir, considerando-se todos os tempos de avaliação, foi de 59,86 U/L, sendo estatisticamente inferior ($P < 0,05$) ao mesmo parâmetro apresentado pelas vacas mestiças (66,21 U/L). Em relação aos períodos pré e pós-parto (até o 23º dia), que foram estatisticamente diferentes, as vacas F1 H x G apresentaram valores de 47,30 U/L e 83,39 U/L, respectivamente. Valores adequados desta variável para a espécie bovina oscilam entre 78 e 132 U/L (Kaneko et al., 2008), intervalo que abrange os valores apresentados no presente trabalho. Os números na tabela 3 também se enquadrariam dentro da normalidade, pois segundo Gerloff et al. (1986), valores acima de 100 U/L para a atividade enzimática da AST caracterizariam quadros de lipidose hepática.

Weber et al. (2015), avaliando diferentes durações para o período seco de vacas holandesas, não encontraram efeito dos tratamentos sobre a atividade da AST e relataram valores variando entre 57,9 e 60,9 U/L no período pré-parto e 79,6 e 99,2 U/L no período pós-parto. Teores elevados de AST e AGNE associados a teores baixos de glicose são úteis para a avaliação do grau de infiltração de gordura no fígado, pois em casos avançados de lipidose hepática, os teores de AST estão geralmente aumentados (Oliveira et al., 2014). Souza et al. (2008), avaliando rebanhos leiteiros de vacas holandesas no estado de São Paulo, descreveram valores entre 29,8 e 75 U/L, com média de 47,85 U/L para a atividade enzimática da AST no período de puerpério recente (zero a 10 dias após o parto).

De maneira geral, os dados apresentados sugerem que a infiltração lipídica no fígado dos animais utilizados neste experimento não foi capaz de provocar danos severos ao fígado, uma vez que as concentrações de albumina, colesterol, glicose e AST estiveram sempre dentro ou muito próximos dos intervalos de valores considerados normais.

3.4. *Calcemia*

O desafio determinado pelo balanço energético negativo também afeta o equilíbrio de minerais no organismo da vaca durante o período de transição, exigindo também adaptações homeorréticas e homeostáticas de modo a garantir o balanço de minerais em níveis fisiológicos (Bauman e Currie, 1980). No período de transição, o parto age como um fator agravante na incidência de quadros de hipocalcêmicos, pois enquanto o leite normal de uma vaca possui cerca de 1,2 g Ca/L, o colostro contém aproximadamente 23g de Ca/L (Riond, 2001). Outro fator agravante associado ao parto é o pico de estrogênio que ocorre neste momento, que diminui a atividade dos osteoclastos e, assim, leva a uma menor eficiência na reabsorção óssea para manter a concentração normal de cálcio no sangue (Goff, 2009).

Embora as adaptações no período de transição sejam (na maioria das vezes) eficientes em garantir a saúde da fêmea, quedas na concentração sérica de cálcio de vacas no puerpério recente são frequentemente observadas, que por sua vez, podem estar associadas à ocorrência de inúmeras doenças características do período peri-parturiente (Chapinal et al., 2012; Varas et al., 2015).

A concentração de cálcio sanguíneo de um bovino adulto deve estar entre 9,7 e 12,4 mg/dL, (Kaneko et al., 2008). Quadros de hipocalcemia podem ser classificadas como clínico, quando os níveis se encontram abaixo de 5,6 mg/dL ou como subclínico, quando a concentração de cálcio situa-se entre 6 e 8 mg/dL. Goff (2014), entretanto, considera que valores fisiológicos de cálcio devem estar entre 8,5 e 10,0 mg/dL. Normalmente, as menores concentrações de cálcio no sangue são observadas de 12 a 24h após o parto (Goff, 2008).

No presente trabalho, a concentração sérica de cálcio não apresentou diferenças entre os tempos avaliados, assim como não foram observadas diferenças entre as raças avaliadas ($P>0,05$), sendo a média equivalente a 10,22 mg/dL. Os dados podem ser visualizados na tabela 4.

Tabela 4. Médias e erros-padrão da concentração sérica de cálcio (mg/dL) de vacas Gir e F1 Holandês x Gir aos 30, 25, 20, 15, 10 e 5 dias pré-parto e aos 2, 4, 6, 8, 13, 23 e 28 dias pós-parto*.

CÁLCIO	Período														Média
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	+2	+4	+6	+8	+13	+18	+23	+28	
Gir	11,14	10,30	9,73	11,42	10,36	10,33	10,74	10,66	9,96	10,82	10,38	10,32	9,88	9,62	10,24
<i>EP</i>	0,59	0,34	0,40	0,25	0,37	0,30	0,54	0,37	0,31	0,47	0,33	0,25	0,34	0,38	0,21
F1 H x G	11,24	9,75	10,02	11,23	9,62	12,11	10,01	9,07	9,76	9,08	10,13	9,61	10,66	10,16	10,19
<i>EP</i>	0,22	0,08	0,38	0,43	0,08	0,41	0,16	0,70	0,31	0,18	0,32	0,33	0,18	0,11	0,19
Média	11,18	8,11	9,87	11,32	9,99	11,22	10,43	9,94	9,98	9,95	10,25	10,00	10,27	9,89	10,22
<i>EP</i>	0,58	4,11	0,63	0,58	0,45	0,65	0,67	0,55	0,51	0,64	0,54	0,47	0,46	0,47	0,14

*valores de hematócrito avaliados em todos os períodos estavam compreendidos entre o intervalo de referência: 24 a 46% (Rosenberger, 1993).

Entre as colunas, as médias seguidas por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Entre as linhas, as médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

O perfil mineral de vacas girolando no período de transição foi avaliado por Moreira et al. (2015) em duas estações do ano (verão e inverno). Os autores afirmam ter havido influência da época do ano nas concentrações sanguíneas de cálcio, sendo 9,61 mg/dL no verão e 8,95 mg/dL no inverno. Os autores descreveram queda a partir da primeira semana pré-parto até o dia 10 pós-parto. Depois desta data houve aumento no dia 15, sendo que a concentração de cálcio permaneceu assim até o final das coletas no dia 30 pós-parto. O trabalho ainda mostrou que no momento do parto a incidência de hipocalcemia subclínica foi a mais elevada, sendo observada em 35,48% dos animais no verão e em 75% no inverno e que, em todas as coletas e em ambas as estações, existiam animais com níveis séricos de cálcio abaixo do fisiológico – de acordo com valores estabelecidos por Goff (2004) – apesar de não ter ocorrido nenhum caso de hipocalcemia clínica. Os autores ressaltaram que mesmo aos 30 dias pós-parto ainda existiam animais hipocalcêmicos, principalmente no período de inverno (23%).

O NRC (2001) preconiza que concentrações normais de cálcio estariam compreendidas entre 9,0 e 10,0 mg/dL, sendo que quadros de hipocalcemia são caracterizados por concentrações séricas de cálcio abaixo de 5 mg/dL. Além disso, O NRC (2001) aborda algumas estratégias para a prevenção da hipocalcemia, como, por exemplo, o fornecimento de dietas com baixos níveis de cálcio. Tal recomendação foi adotada no presente trabalho, o que pode explicar a inalteração da calcemia nos diferentes tempos avaliados. O princípio dessa estratégia baseia-se no estímulo da secreção do hormônio paratireoideiano, que por sua vez aumenta a atividade osteoclástica e a reabsorção de cálcio pelos túbulos renais. Assim como outras variáveis, a menor produção de leite dos animais experimentais (mencionados anteriormente) pode ter influenciado os resultados relativos à concentração de cálcio, pois produção de leite está altamente correlacionada com a exigência total de cálcio, que varia de 1,37 a 1,45 g de cálcio para cada quilograma de leite produzido (NRC, 2001).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram o bom funcionamento de mecanismos homeostáticos e homeorréticos das vacas Gir e F1 Holandês x Gir utilizadas neste experimento durante o período de transição.

A mobilização de tecido muscular esquelético pôde ser verificada pelo aumento dos níveis de NUP e diminuição da concentração de creatinina e nitrogênio em momentos próximos ao

parto. A mobilização de tecido adiposo foi comprovada pela queda nos níveis de triglicerídeos e aumento de AGNE próximo ao parto, especialmente nas vacas F1 H x G.

A mobilização tecidual foi a responsável pela manutenção de níveis normais de glicemia durante o período de transição. A redução na concentração de glicose plasmática, normalmente observada em vacas leiteiras especializadas, não foi observada neste trabalho, possivelmente em função do menor potencial leiteiro dos animais utilizados.

Os níveis normais de glicose, colesterol, albumina e proteínas totais são indicadores da ausência de injúrias hepáticas severas nos animais experimentais, o que pode ser comprovado pela normalidade da atividade enzimática da AST durante todo o período de avaliação.

5. BIBLIOGRAFIA

- ADEWUYIL, A.A.; GRUSI, E.; VAN EERDENBURG F.J.C.M. Non esterified fatty acids (NEFA) in dairy cattle. A review. *Veterinary Quarterly*, v. 27, p. 117-126, 2005
- ALVARENGA, E.A.; MOREIRA, G.H.F.A.; FACURY FILHO, E.J. et al. Avaliação do perfil metabólico de vacas da raça Holandesa durante o período de transição. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, p.281-290, 2015
- BAUMAM, 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. 80, p. 1514 – 1529. 1980.
- BEEL, A. W.; BAUMAN, D. E.; Adaptations of Glucose Metabolism During Pregnancy and Lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, v. 2, n. 3. 1997
- BELL, A. W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal. Science*, v.73, p.2804-2819. 1995
- 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
- BRUCKMAIER, R. M.; BLUM, J. W. Oxytocin release and milk removal in ruminants. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 939 – 949.1998.
- CAVESTANY D.; BLANC J. E.; KULCSAR M.; et al. Studies of the transition cow under a pasture-based milk production system: metabolic profiles. *Journal Veterinary Medicine*. v. 52, p. 1 - 7, 2005.
- CHAPINAL, N.; CARSON, M.; LEBLANC, L.E. et al. The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 1301-1309, 2012
- CHAPINAL, N.; LEBLANC, L.E.; CARSON, M. et al. Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early

- lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 5676-5682, 2012
- CONTRERAS, G.A. & SORDILLO L.M. Lipid mobilization and inflammatory responses during the transition period of dairy cows. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, p. 281-289, 2011
- DANN, H.M.; LITHERLAND, N.B.; UNDERWOOD, J.P. *et al.* Diets During Far-Off and Close-Up Dry Periods Affect Periparturient Metabolism and Lactation in Multiparous Cows. *Journal of Dairy Science*, v. 89, p. 3563-3577, 2006
- DRACKLEY, J.K. Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier?. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 2259–2273, 1999
- DRACKLEY, J.K.; OVERTON, T.R.; DOUGLAS G.N. Adaptations of Glucose and Long-Chain Fatty Acid Metabolism in Liver of Dairy Cows During the Periparturient Period. *Journal of Dairy Science*, v. 84, p. 100-112, 2001
- DUFFIEL, T. F.; LISSEMORE, K. D.; MCBRIDE, B. W. *et al.* Impact of hyperketemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, v. 92, p. 571 – 580. 2009.
- FENWICHER, M.A.; FITZPATRICK, R. ; KENNY, D.A. *et al.* Interrelationships between negative energy balance (NEB) and IGF regulation in liver of lactating dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, v.34, p. 31 – 44. 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. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. v. 31, s.1, p. 11-17. 2011.
- GERLOFF, B. J.; HERDT, T. H.; EMERY, R.S. Relationship of hepatic lipodosis to health and performance in dairy cattle. *Journal Animal Veterinary Medicine Association*. v. 188, p. 845 – 850. 1986.

- GOFF, J. P. Como controlar a febre do leite e outras desordens metabólicas relacionadas à macro minerais em vacas de leite. Anais XIII Curso Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos, Uberlândia, p. 267 – 284.
- GOFF, J.P. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Veterinary Journal*. v. 176, p. 50 – 57. 2008.
- GOFF, J.P.; LIESEGANG, A.; HORST R.L. Diet-induced pseudohypoparathyroidism: A hypocalcemia and milk fever risk factor. *Journal of Dairy Science*, v. 97, p. 1520-1528, 2014
- GREGORY, L.; BIRGEL JUNIOR, E. H.; D´ANGELINO, F. J. *et al.* Valores de referência dos teores séricos da uréia e creatinina em bovinos da raça Jersey criados no Estado de São Paulo. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 71, n. 3, p. 339-345. 2004.
- 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
- HARDARSON, G. H.; INGVARTSEN, K. L. Energy metabolism in the periparturient dairy cow. *Fræðaging landbúnaðarins*, p. 94-102, 2005.
- INGVARTSEN, K.L. & 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
- KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; & BRUSS, M.L. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 6º ed. Academic Press, San Diego. 916p. 2008.
- KASAGIC, D.; RADOJICIC, B.; GVOZDIC, D. *et al.* Endocrine and metabolic profile in Holstein and red Holstein heifers during peripartal period. *Acta Veterinaria*, v. 61, p. 556-565, 2011
- KOKKONEN, T.; TAPONEN, T.; ANTTILA, T. *et al.* Effect of Body Fatness and Glucogenic Supplement on Lipid and Protein Mobilization and Plasma Leptin in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v. 88, p. 1127-1141, 2005

- KOSTER, J.D.D.; OPSOMER, G. Insulin resistance in dairy cows. *Vet. Clin. Food Anim.*, n.29, p.299-322, 2013.
- KOSTER, J.; HOSTENS, M.; EETVELDE, M.V. et al. Insulin response of the glucose and fatty acid metabolism in dry dairy cows across a range of body condition scores. *Journal of Dairy Science*, v. 98, p. 4580-4592, 2015
- 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.
- LEBLANC, S. Transition Diseases in Grazing Dairy Cows Are Related to Serum Cholesterol and Other Analytes. *Journal of Reproduction and Development*. v. 56, p. 29 – 35. 2010.
- MEYER, D.J.; HARVEY, J.W. Veterinary laboratory medicine: interpretation & diagnosis. 2.ed. Philadelphia: Saunders, 2004. 351p.
- MOREIRA, T. F.; FACURY FILHO, E. J.; ZAMBRANO, J.U.; et al. Perfil mineral de vacas mestiças Girolanda no período de transição em sistema semi-intensivo em duas estações do ano. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 35, n. 3, p. 249 – 257. 2015.
- N.R.C. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7 ed., Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 381p. 2001.
- NICOLETTI, J. L. M.; GANDOLFI, W.; KOHAYAGAWA, A.; IAMAGUTI, P.; PINTO, A. M. N. Alguns teores de constituintes séricos e hemograma em vacas da raça Gir, Holandês preto e branco e mestiças (Girolando), na região de Botucatu, SP. Arquivo da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, v. 30, n. 1, p. 19-30, 1981
- NOZAD, S.; RAMIM, A.; MOGHADAM, G. et al. Relationship between blood urea, protein, creatinine, triglycerides and macromineral concentrations with the quality and quantity of milk in dairy Holstein cows. *Veterinary Research Forum*. v. 3, p. 55 – 59. 2012

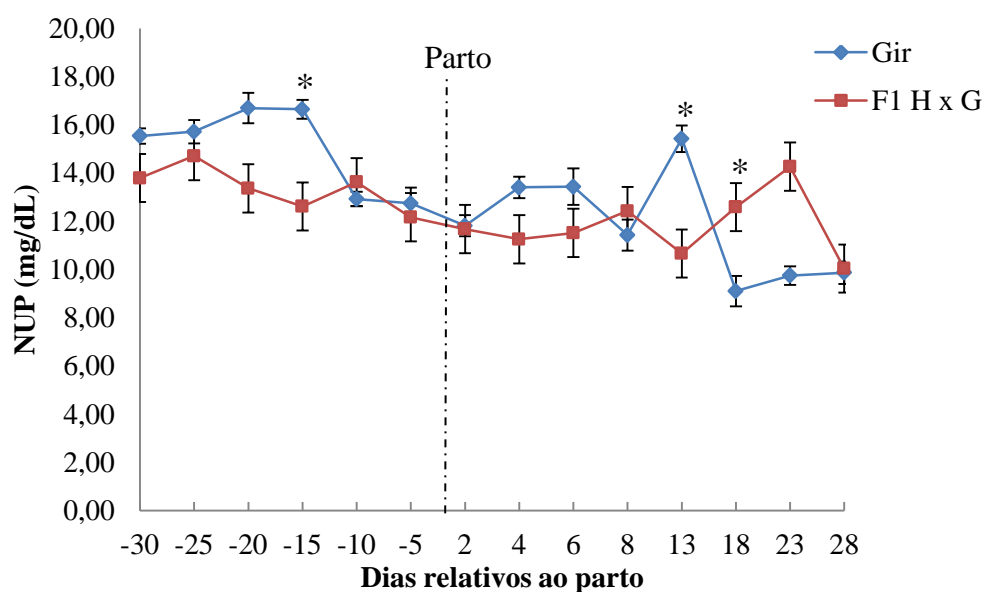
- OLIVEIRA, R. S. B. R.; MOURA, A. R. F.; PÁDUA, M. F. S. *et al.* Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras com baixo escore de condição corporal no periparto. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. v. 34, s.4, p. 362 -368. 2014.
- OSPINA, P. A.; NYDAM, D. V.; STOKOL, T. *et al.* Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science*, v. 93. P. 546 – 554. 2009.
- POGLIANI, F. C.; BIRGEL JÚNIOR, E. Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Brazilian Journal of Veterinary and Research Animal Science*, p. 373 – 383. 2007
- RIOND, J. L. Animal Nutrition and acid-base balance. *European Journal of Nutrition*. v. 40, n. 5, p. 245 – 254. 2001.
- ROCHE, J.R.; BELL, A.W.; OVERTON, T.R.*et al.* Nutritional management of the transition cow in the 21st century – a paradigm shift in thinking. *Animal Production Science*, v.53, p. 1000–1023, 2013
- ROSENBERGER, G. Exame clínico dos bovinos. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1993. C. 8, p. 229 – 240
- SEIFI, H. A.; GORJI-DOOZ, M.; MOHRI, M. *et al.* Variations of energy-related biochemical metabolites during transition period in dairy. *Comparative Clinical Pathology*, v. 16, p. 253 – 258. 2007.
- SORDILLO, L.M. & RAPHAEL, W. Significance of Metabolic Stress, Lipid Mobilization, and Inflammation on Transition Cow Disorders. *Veterinary Clinics North America Food Animal Practice*, p. 268-278, 2013
- SOUZA, R. M.; GARCIA, N. A. C. R.; BIRGEL, D. B. *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, n. 1, p. 140 - 147. 2008

- VARAS, P. S.; WEARY, D. M.; NORO, M. *et al.* Transition Diseases in Grazing Dairy Cows Are Related to Serum Cholesterol and Other Analytes. *Journal Plos one*, v. 10, p. 1 – 13. 2015.
- VIVENZA, P. A. D. Perfil metabólico e hormonal de novilhos F1 Holandês x Gir submetidos à respirometria, sob diferentes planos nutricionais, em jejum e realimentação. 2012. 110p. Dissertação(Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- ZACHUT, M.; HOING, H.; STRIEM, S. *et al.* Periparturient dairy cows do not exhibit hepatic insulin resistance, yet adipose-specific insulin resistance occurs in cows prone to high weight loss. *Journal of Dairy Science*, v.96, p. 5656 – 5669. 2013.
- ZAMBRANO, W. J.; MARQUES JÚNIOR, A. P. Perfil metabólico de vacas mestiças leiteiras do pré-parto ao quinto mês da lactação. *Zootecnia Tropical*, v. 27, p. 475 – 488. 2009.

6. APÊNDICES

6.1. NITROGÊNIO UREICO PLASMÁTICO (NUP)

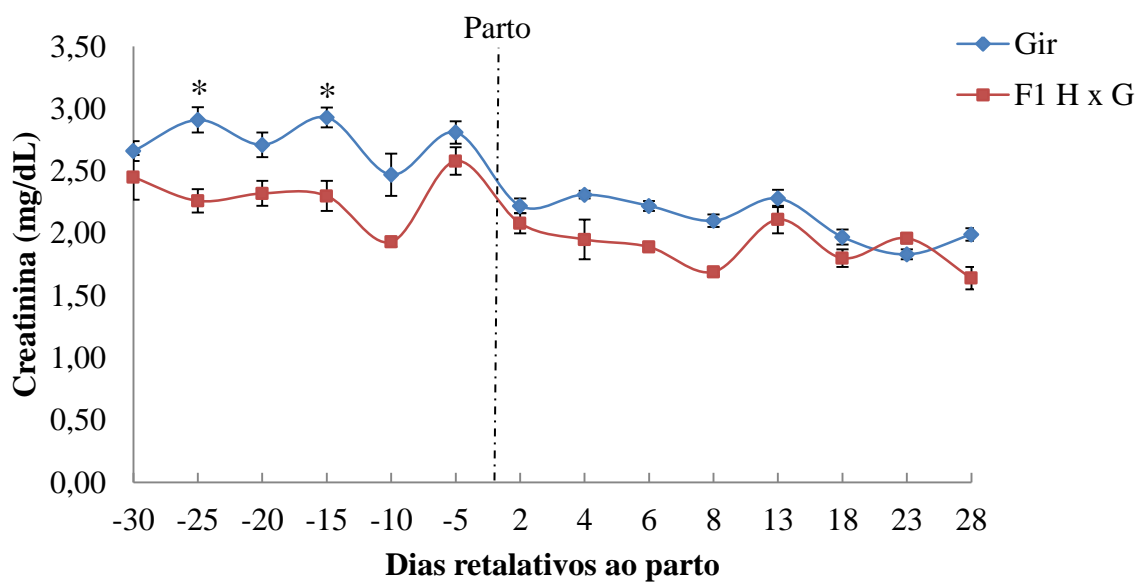
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R^2	Valor de P		
				L	Q	C
NUP	F1	$Y = 12,47 - 0,04X$	0,33	0,0428	0,4045	0,8806
	GIR	$Y = 13,15 - 0,11X$	0,64	<0,01	0,5389	0,8965

6.2. CREATININA

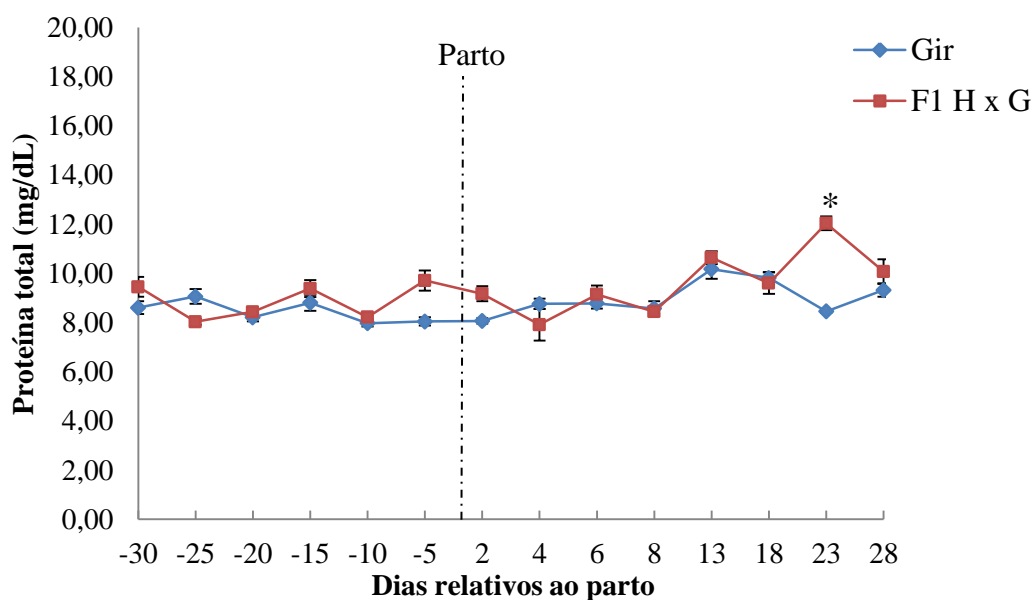
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Creatinina	F1	Y= 2,06 - 0,011X	0,55	<0,01	0,9156	0,9078
	GIR	Y= 2,38 - 0,018X	0,78	<0,01	0,459	0,0687

6.3. PROTEÍNA TOTAL

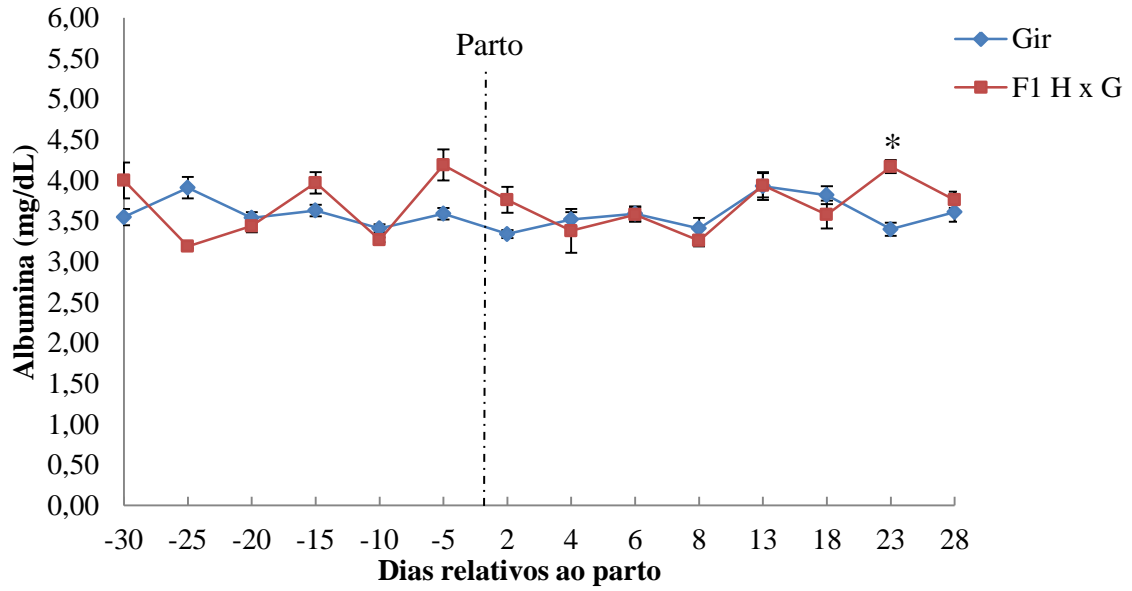
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Proteína Total	F1	Y= 9,30 + 0,03X	0,30	0,0006	0,0223	0,6539
	GIR	Y= 8,90 + 0,03X+0,001X ²	0,44			
		NS	-	0,1156	0,2487	0,2066

6.4. ALBUMINA

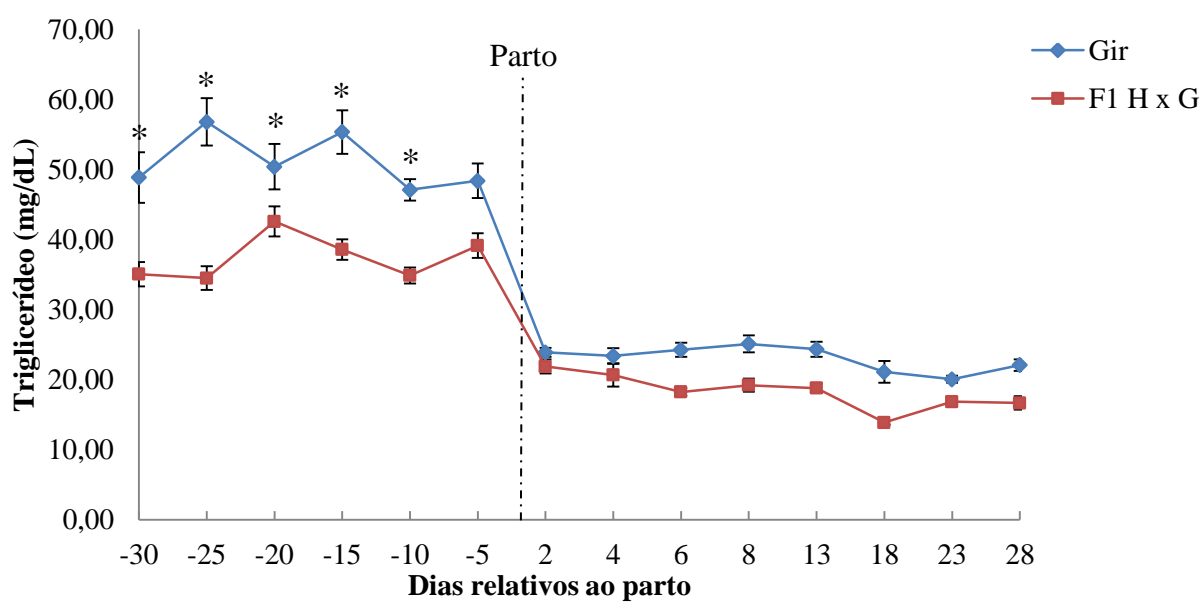
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados (P<0,05)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Albumina	F1	NS	-	0,4481	0,2825	0,9374
	GIR	NS	-	0,8973	0,4879	0,609

6.5. TRIGLICERÍDEOS

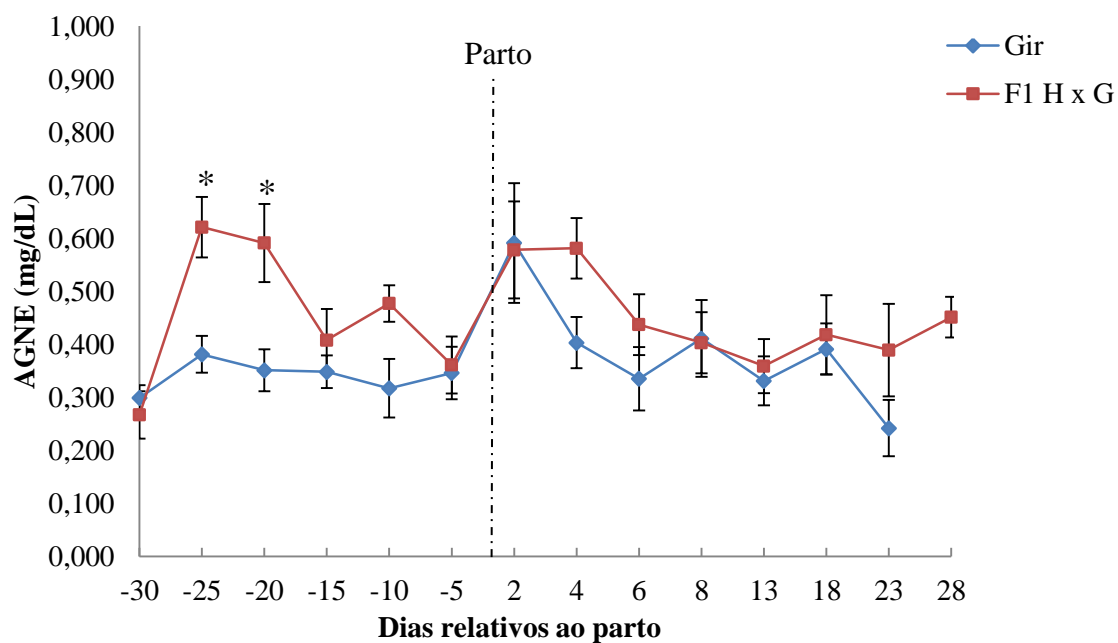
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Triglicerídeo		$Y = 26,38 - 0,49X$	0,75			
	F1	$Y = 27,02 - 1,01X + 0,00009X^2 + 0,00088X^3$	0,91	<0,01	0,6734	0,0001
		$Y = 34,91 - 0,73X$	0,79			
	GIR	$Y = 34,09 - 1,36X + 0,0054X^2 + 0,0011X^3$	0,92	<0,01	0,25	<0,01

6.6. ÁCIDOS GRAXOS NÃO ESTERIFICADOS (AGNE)

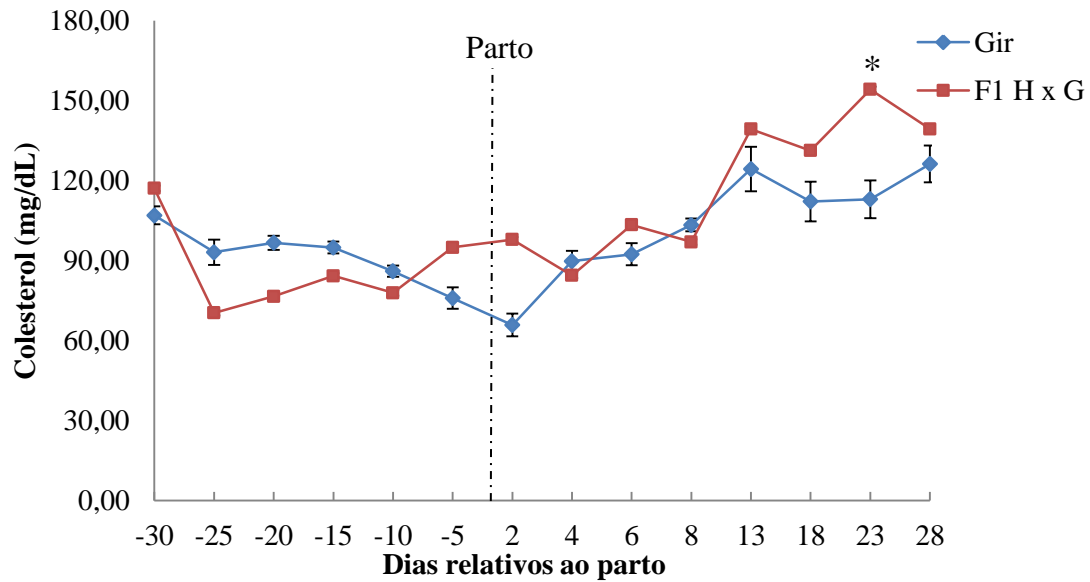
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
AGNE	F1	NS	-	0,3156	0,1192	0,165
	GIR	Y = 0,39 - 0,0003X - 0,0002X ² Y = 0,41 + 0,005X - 0,0003X ² - 0,00001X ³	0,35 0,52	0,2397	0,0048	0,0372

6.7. COLESTEROL

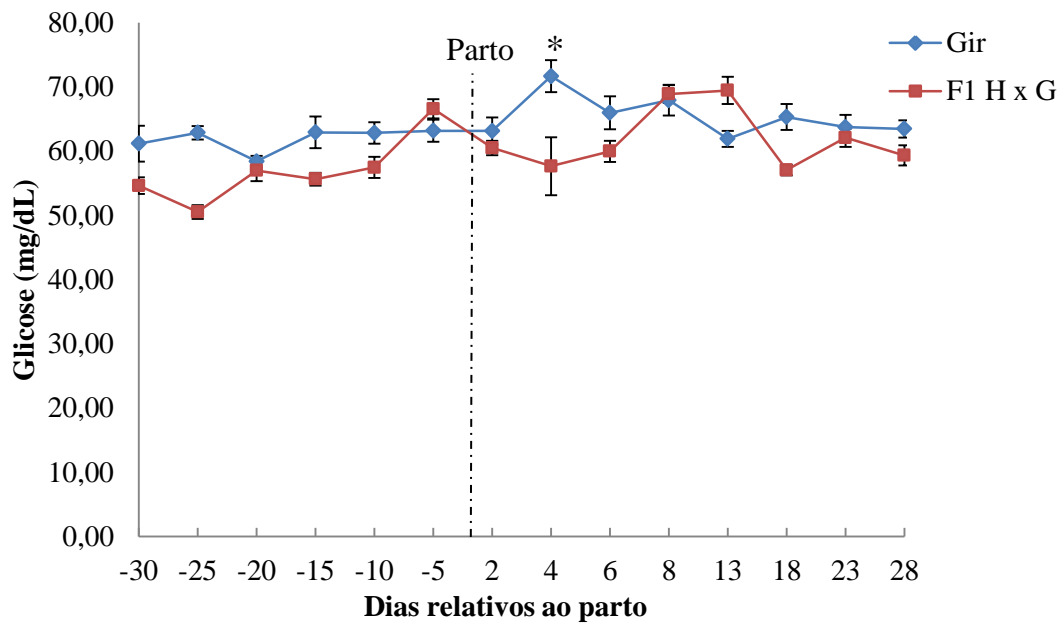
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Colesterol		$Y=105,10 + 1,08X$	0,52			
	F1	$Y= 92,39 + 1,19X + 0,04X^2$	0,74	<0,01	0,0001	0,0121
		$Y= 91,97+ 2,17X+0,03X^2 - 0,001X^3$	0,82			
	GIR	$Y=99,31+ 0,46X$	0,22	0,0045	0,0002	0,2707
		$Y= 88,03 + 0,56X +0,03X^2$	0,62			

6.8. GLICOSE

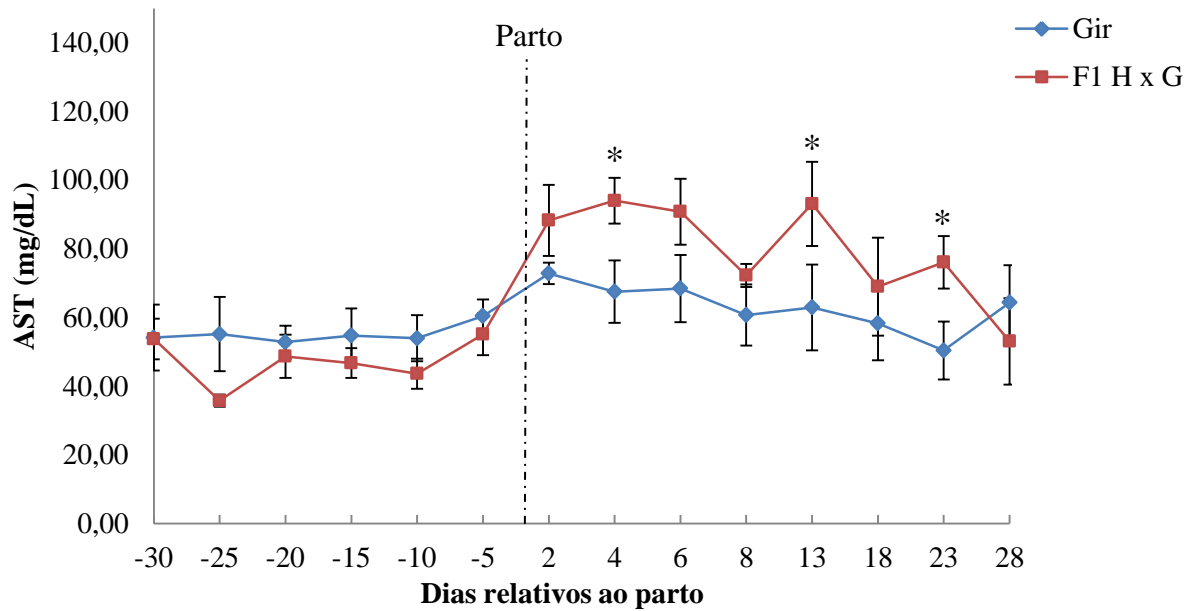
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Glicose	F1	Y= 59,81+ 0,16X	0,28	0,0149	0,0653	0,3911
	GIR	NS	-	0,2464	0,2879	0,4374

6.9. ASPARTATO AMINOTRANSFERASE (AST)

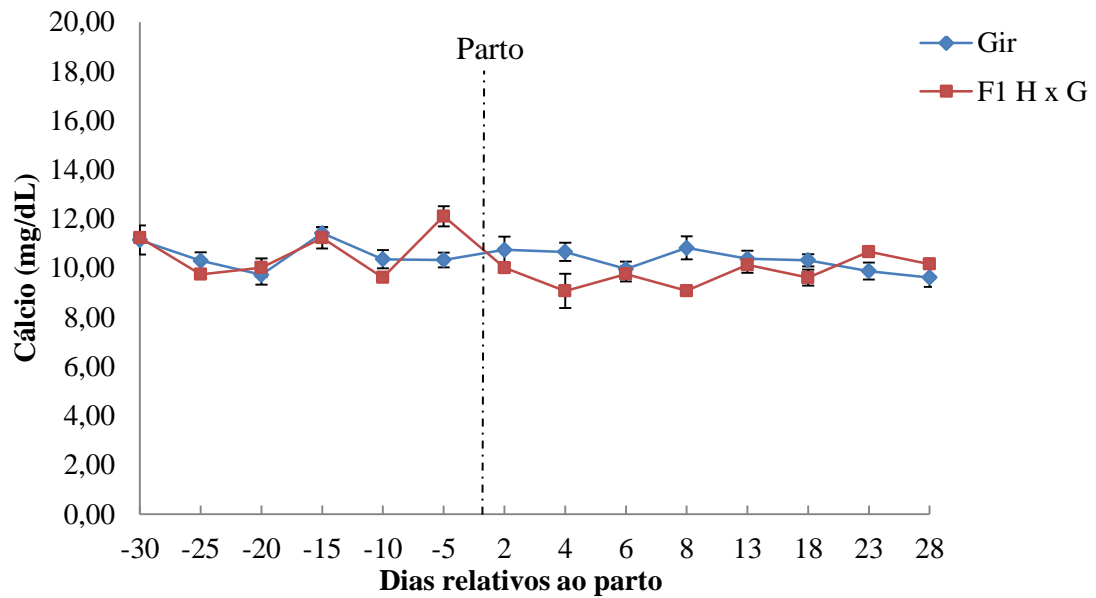
- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
AST	GIR	NS	-	0,1156	0,2487	0,2066
		$Y = 65,47 + 0,63X$	0,33			
	F1	$Y = 73,49 + 0,55X - 0,02X^2$	0,49	<0,01	0,0022	<0,01
		$Y = 72,90 + 1,94X - 0,03X^2 + 0,002X^3$	0,80			
	GIR	NS	-	0,2979	0,2262	0,5917

6.10. CÁLCIO

- A presença do asterisco (*) indica diferença estatística entre os grupos genéticos avaliados ($P < 0,05$)



Variável	Raça	Equação	R ²	Valor de P		
				L	Q	C
Cálcio	F1	NS	-	0,2623	0,4278	0,4172
	GIR	NS	-	0,2348	0,5068	0,4109