

LIPIDOGRAMA COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DO METABOLISMO ENERGÉTICO EM RUMINANTES

SERUM LIPID PROFILE IN THE ASSESSMENT OF ENERGY METABOLISM IN RUMINANTS

Sergio Rodrigo Fernandes^{1*}; José Antônio de Freitas²; Damaris Ferreira de Souza³; Luciana Helena Kowalski⁴; Rosângela Locatelli Dittrich⁵; Paulo Rossi Junior⁶; Cláudio José Araújo da Silva⁷.

RESUMO

O objetivo desta revisão foi demonstrar a importância e a aplicabilidade do uso do lipidograma na avaliação do metabolismo energético de ruminantes, considerando o potencial desta ferramenta em estudos relacionados a bioquímica, fisiologia e nutrição animal. O lipidograma é caracterizado pelos níveis séricos/plasmáticos de colesterol, triglicerídeos, β -hidroxibutirato (BHB) e ácidos graxos não esterificados (AGNE). Em geral, elevados níveis séricos/plasmáticos de colesterol e triglicerídeos indicam quadro de balanço energético positivo (BEP), onde a via metabólica da lipogênese é ativada; já o aumento dos níveis séricos/plasmáticos de BHB e AGNE indica quadro de balanço energético negativo (BEN), resultante da maior atividade lipolítica. Assim, o metabolismo energético de ruminantes pode ser avaliado com maior acurácia pelo lipidograma. Mudanças no manejo alimentar ou na condição nutricional, como a substituição ou a inclusão de ingredientes com alto teor de lipídios na dieta; práticas de

manejo integradas aos sistemas de produção, como o desmame; e alterações na condição fisiológica, como a gestação e a lactação são fatores que afetam o metabolismo energético nos animais, o que tem sido demonstrado por meio do lipidograma.

Palavras-chave: ácidos graxos não esterificados; colesterol; corpos cetônicos; triglicerídeos

ABSTRACT

The aim of this review was demonstrate the importance and applicability of the use of serum lipid profile in the evaluation of energy metabolism in ruminants, considering the potential of this tool in studies related to biochemistry, physiology and animal nutrition. The serum lipid profile is composed by serum / plasma cholesterol, triglycerides, β -hydroxybutyrate (BHB) and non esterified fatty acids (NEFA). In general, high serum / plasma cholesterol and triglycerides indicates a positive energy balance (PEB), where the metabolic pathway of lipogenesis is activated. On the other hand, the increase of serum /

^{1*}Zootecnista, doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias da UFPR/Curitiba-PR. Bolsista CAPES/REUNI. * Endereço para correspondência: Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Rua dos Funcionários, 1540, Bairro Juvevê, 80.035-050, Curitiba-PR. e-mail: srfernandes83@gmail.com

²Professor do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da UFPR/Palotina-PR;

³Médica Veterinária, mestre em Ciências Veterinárias pela UFPR/Curitiba-PR.

⁴Médica Veterinária, mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da UFPR/Palotina-PR. Bolsista CAPES;

⁵Professora Associada I do Departamento de Medicina Veterinária da UFPR/Curitiba-PR;

⁶Professor Associado I do Departamento de Zootecnia da UFPR/Curitiba-PR;

⁷Agrônomo, pós-doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias da UFPR/Curitiba-PR. Bolsista PNPd/CAPES.

plasma BHB and NEFA indicates negative energy balance (NEB), resulting in highest lipolytic activity. Thus, the energy metabolism of ruminants can be assessed accurately by serum lipid profile. Changes in feed management or nutritional status such as replacing or adding ingredients with higher fat content to the diet; practices integrated to the production systems such as weaning; changes in physiological status such as gestation and lactation are known factors which affect energy metabolism of the animals and has been demonstrated by the serum lipid profile.

Key words: cholesterol; ketone bodies; non esterified fatty acids; triglycerides

INTRODUÇÃO

Variações nas respostas de desempenho produtivo e mudanças na condição fisiológica de ruminantes são interpretadas com maior acurácia por meio da avaliação da condição metabólica dos animais. Segundo PEIXOTO & OSÓRIO (2007), o monitoramento do status nutricional e sanitário dos animais é um dos objetivos da avaliação do perfil metabólico de rebanhos. Para a determinação deste perfil, os parâmetros sanguíneos indicadores do metabolismo protéico, energético, mineral e enzimático são mensurados. A avaliação do balanço energético é realizada com base em parâmetros que indicam o grau de deposição e de mobilização das reservas de energia na forma de gordura, ou seja, aqueles relacionados ao metabolismo lipídico.

O lipidograma é caracterizado pelos níveis séricos/plasmáticos de colesterol, triglicerídeos, β -hidroxibutirato e ácidos graxos não esterificados. Em ruminantes, o balanço energético é avaliado com maior acurácia pelo lipidograma associado a glicemia. Essa ferramenta tem sido utilizada em estudos sobre metabolismo energético de bovinos, ovinos e caprinos em diferentes condições fisiológicas (gestação e lactação,

por exemplo) ou submetidos a condições nutricionais distintas.

O objetivo destes estudos é caracterizar o balanço energético pela intensidade dos processos de lipogênese e de lipólise que ocorrem em resposta a alterações fisiológicas ou a mudanças na condição nutricional dos animais. As informações obtidas nestes estudos constituem a base para decisões que devem ser tomadas a campo, principalmente aquelas que afetam o status nutricional do rebanho. A opção por realizar o desmame a curto ou longo prazo, a decisão de suplementar animais em pastejo nos períodos de seca e a inclusão de ingredientes com alto teor energético na dieta são práticas que devem considerar aspectos relacionados ao metabolismo animal.

O objetivo desta revisão foi demonstrar a importância e a aplicabilidade do lipidograma de ruminantes em estudos relacionados as áreas de bioquímica, fisiologia e nutrição animal.

CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DO LIPIDOGRAMA DE RUMINANTES

Na maioria dos estudos que envolvem a avaliação do metabolismo energético de ruminantes por meio do lipidograma, os parâmetros avaliados são as concentrações séricas/plasmáticas de colesterol, triglicerídeos, β -hidroxibutirato (BHB) e ácidos graxos não esterificados (AGNE). Estes parâmetros têm relação direta com os processos de deposição e mobilização de gordura no tecido adiposo, e suas concentrações séricas/plasmáticas refletem o balanço energético do animal.

Colesterol

O colesterol é precursor da síntese de hormônios esteróides, vitamina D e sais biliares, e participa da formação das membranas celulares. Além disso, é constituinte das lipoproteínas que são sintetizadas no fígado e no intestino delgado,

e atuam no transporte de lipídios no organismo (BRUSS, 2008).

No período absorptivo, no qual ocorre a absorção dos nutrientes após a alimentação, cerca de 95% dos lipídios plasmáticos totais estão associados a lipoproteínas, enquanto 5% estão na forma de AGNE e circulam ligados a albumina. Cerca de 90% dos lipídios ligados a lipoproteínas são transportados aos tecidos periféricos na forma de fosfolipídios e colesterol. Nos ruminantes estes compostos estão ligados, principalmente, a lipoproteínas de densidade muito baixa – VLDL (KOZLOSKI, 2009).

Variações na concentração sérica/plasmática de colesterol estão relacionadas a condição nutricional dos animais. O colesterol é um indicador confiável do metabolismo energético no fígado, particularmente da exportação de lipídios na forma de VLDL (NDLOVU et al., 2007). Além disso, a concentração sérica/plasmática de colesterol constitui um indicador importante do status nutricional de animais lactentes, permitindo avaliar a contribuição do leite no aporte energético desses animais, conforme demonstrado em estudos realizados com bezerros (PICCIONE et al., 2010), cabritos (GREGORY et al., 2009) e cordeiros (FERNANDES et al., 2012).

WITWER (2000) recomenda a determinação dos níveis séricos/plasmáticos de colesterol para avaliar o balanço energético em vacas leiteiras. Nesse caso, a diminuição dos níveis séricos/plasmáticos de colesterol indica quadro de déficit energético, enquanto o aumento ocorre em resposta a ingestão de níveis elevados de energia na forma de lipídios.

Triglicerídeos

Os triglicerídeos são a principal forma de armazenamento de ácidos graxos no tecido adiposo, e são compostos por uma molécula de glicerol ligada a três moléculas de ácidos graxos de cadeia longa. Embora a maioria das células tenha capacidade de sintetizar

triglicerídeos, esta ocorre principalmente no fígado, tecido adiposo, glândula mamária e intestino delgado (BRUSS, 2008).

Nos não ruminantes, a síntese de ácidos graxos e triglicerídeos ocorre principalmente no fígado, que utiliza a glicose e, eventualmente, aminoácidos como precursores. Nos ruminantes, cerca de 90% da síntese de ácidos graxos e triglicerídeos ocorre no tecido adiposo, onde o principal precursor é o acetato. Em animais não lactantes e não gestantes, aproximadamente um terço do acetato absorvido é armazenado como triglicerídeo (KOZLOSKI, 2009).

Assim como ocorre com o colesterol, verifica-se aumento dos níveis séricos/plasmáticos de triglicerídeos no período absorptivo. Durante o processo de absorção dos lipídios nos enterócitos, parte dos ácidos graxos é reesterificada a triglicerídeos, que são incorporados nas lipoproteínas (principalmente VLDL). Estas são liberadas na circulação linfática e, posteriormente, atingem a circulação sanguínea e são direcionadas aos tecidos periféricos (KOZLOSKI, 2009).

Os níveis séricos/plasmáticos de triglicerídeos em ruminantes são baixos comparados aos não ruminantes, o que reflete a baixa capacidade de síntese hepática de triglicerídeos nos primeiros. Entretanto, após a ingestão de dietas com alta densidade energética (ricas em amido), ocorre aumento da síntese hepática de ácidos graxos a partir das elevadas quantidades de acetato e propionato que chegam ao fígado (BRUSS, 2008), resultando em aumento da exportação de triglicerídeos na forma de VLDL.

Normalmente, dietas consumidas por ruminantes apresentam baixo teor de lipídios, próximo de 4% ou 40 g/kg de matéria seca (MS) consumida; nesta fração lipídica, o teor de ácidos graxos pode variar de 40% nas forragens a 70% nos grãos, o que corresponde a 18 e 28 g/kg MS consumida (JENKINS, 1993). Portanto, sob condições normais ou próximas das naturais a síntese e

exportação hepática de triglicerídeos é baixa em ruminantes, uma vez que as forragens, que apresentam baixa densidade energética, compõem a maior parte da dieta destes animais.

β-hidroxibutirato (BHB)

Ao contrário dos não ruminantes, os níveis séricos/plasmáticos de corpos cetônicos são relativamente constantes nos ruminantes, dada sua origem a partir dos ácidos graxos voláteis (AGVs) produzidos na fermentação de carboidratos no rúmen. Enquanto o propionato é o principal precursor para gliconeogênese, o butirato é o principal precursor para a cetogênese, onde aproximadamente 50% da quantidade de butirato absorvida no rúmen é convertida a corpos cetônicos. Nessa condição, o butirato passa por uma série de reações de oxidação catalisadas por enzimas específicas nas células epiteliais do rúmen, onde é convertido a BHB e liberado no plasma (BRUSS, 2008). Este corpo cetônico não é captado pelo fígado, sendo direcionado para o tecido muscular e adiposo, onde é utilizado como fonte de energia (KOZLOSKI, 2009).

Apesar de o BHB ser o corpo cetônico produzido em maiores quantidades, o acetoacetato e a acetona também são produtos da cetogênese. No entanto, estes últimos são sintetizados em maiores quantidades em animais acometidos por cetose. Nesse caso, o acetoacetato é o principal corpo cetônico liberado pelo fígado, o que determina o aumento da relação acetoacetato:BHB no plasma. Além disso, o acetoacetato pode ser descarboxilado em acetona + CO₂, sendo que a expiração de acetona por meio dos pulmões confere o odor característico aos animais cetóticos (PALMQUIST & MATTOS, 2011).

Entre os corpos cetônicos, o BHB é o que apresenta maior estabilidade no soro/plasma, sendo o mais utilizado como indicador do metabolismo energético. Níveis séricos/plasmáticos de BHB indicam a

magnitude do balanço energético negativo (BEN) de animais em situações de alta demanda por glicose, e a eficiência de utilização dos ácidos graxos mobilizados no processo de lipólise (CALDEIRA, 2005). Assim, para avaliar a intensidade do BEN, recomenda-se que os níveis séricos/plasmáticos de BHB sejam determinados em conjunto com os níveis séricos/plasmáticos de glicose e com a avaliação do escore de condição corporal (ECC) dos animais.

A diminuição da glicemia tem papel fundamental na cetogênese, onde estudos mostram existência de correlação negativa entre glicemia e cetonemia. Em condição de BEN, a baixa disponibilidade de glicose, de oxaloacetato ou de seus precursores leva a diminuição da glicemia e, também, limita a oxidação de acetil-CoA proveniente dos AGNE mobilizados. A acetil-CoA não oxidada é desviada para a cetogênese, o que leva ao aumento da cetonemia (CALDEIRA, 2005).

O ECC é uma medida subjetiva e prática que permite avaliar o grau de deposição ou de mobilização de gordura em ruminantes. O ECC é avaliado visualmente e por palpação da região lombar, buscando-se aferir a cobertura muscular e, principalmente, adiposa dos animais. Além da região lombar, realiza-se a palpação da base da cauda em ovinos e da região esternal em caprinos, pois são regiões em que há deposição de gordura nessas espécies. Em geral, na avaliação do ECC em ruminantes utiliza-se uma escala de 5 pontos, que pode ser fracionada em 0,5 ou 0,25 pontos dependendo do grau de detalhamento desejado e da acurácia dos avaliadores. Os animais são classificados como muito magros – ECC = 1, magros – ECC = 2, normais – ECC = 3, gordos – ECC = 4 e muito gordos – ECC = 5 (CEZAR & SOUZA, 2006; MORAES et al., 2007).

Variações nos níveis séricos/plasmáticos de BHB são interpretadas com maior acurácia ao relacionar os níveis deste metabólito com o ECC dos animais. Estudos mostram que os níveis séricos/plasmáticos de BHB têm

correlação negativa com o ECC, onde a diminuição do ECC está associada ao aumento dos níveis de BHB no sangue (RIBEIRO et al., 2004; BRITO et al., 2006).

Ácidos Graxos Não Esterificados (AGNE)

Os níveis séricos/plasmáticos de AGNE têm relação direta com o processo de lipólise que ocorre no tecido adiposo. Os AGNE são produto da hidrólise dos triglicerídeos depositados nos adipócitos, sendo liberados na circulação e transportados pela albumina. Dessa forma, o transporte de AGNE é dependente de moléculas de albumina não saturadas no plasma, onde a carência desta proteína ou a sua saturação por AGNE leva a reesterificação ou acumulação de ácidos graxos nos adipócitos (CALDEIRA, 2005).

O metabolismo de AGNE no plasma é dinâmico, uma vez que estes compostos são fontes prontamente disponíveis de combustível metabólico (PALMQUIST & MATTOS, 2011). Os AGNE são direcionados a produção de energia pela via da β -oxidação no fígado, no tecido muscular esquelético e no coração (BRUSS, 2008). No período absorptivo, os ácidos graxos que chegam ao fígado podem ser incorporados as VLDL e liberados na circulação. Estes podem ser direcionados para duas rotas metabólicas: quando a demanda energética do animal encontra-se atendida, os ácidos graxos são transportados ao tecido adiposo e armazenados na forma de triglicerídeos; por outro lado, se a demanda energética não foi suprida, os ácidos graxos são transportados aos tecidos periféricos e oxidados para produzir energia (PALMQUIST & MATTOS, 2011).

Dessa forma, variações nos níveis séricos/plasmáticos de AGNE ocorrem em resposta a mudanças no balanço energético do animal. O aumento dos níveis séricos/plasmáticos de AGNE tem sido verificado em situações de BEN, condição que é apresentada em diversos estudos para

demonstrar a intensidade deste balanço negativo (CALDEIRA, 2005).

Assim como o BHB, recomenda-se que a determinação dos níveis séricos/plasmáticos de AGNE seja realizada em conjunto com a avaliação do ECC, o que permite maior acurácia na interpretação do balanço energético do animal. Destaca-se que os níveis séricos/plasmáticos de AGNE apresentam alta sensibilidade e responsividade ao estresse e a condição nutricional do animal. Variações nas concentrações deste metabólito são observadas durante o dia em resposta a ingestão de alimentos e, em situações de BEN, ao estresse ocasionado pelas condições ambientais – tipo de sistema de produção, intensidade de atividade física, temperatura e umidade no ambiente de produção (WITTEWER, 2000). Portanto, além da avaliação do ECC, recomenda-se que a determinação dos níveis séricos/plasmáticos de AGNE, BHB e colesterol sejam realizados em conjunto, pois os dois últimos metabólitos apresentam menor sensibilidade ao estresse e maior responsividade a ingestão de energia.

A relação AGNE:colesterol indica a intensidade de lipogênese ou de lipólise em relação ao atendimento da demanda energética do animal. As variações dos níveis séricos/plasmáticos de AGNE são menos sensíveis que os de colesterol no período absorptivo, sendo o último altamente responsivo a ingestão de energia. Dessa forma, a relação AGNE:colesterol sérico/plasmático permite a interpretação mais acurada do balanço energético em resposta a ingestão de energia da dieta (NDLOVU et al., 2007).

Valores de Referência

Na interpretação do lipidograma, realiza-se a análise comparativa entre os valores obtidos a campo e os estabelecidos como referência para a espécie em estudo. Além disso, os parâmetros do lipidograma devem

ser comparados aos valores de glicemia dos animais, uma vez que os processos de lipogênese e de lipólise são regulados pelos níveis séricos/plasmáticos de glicose.

A glicemia regula a atividade da insulina e do glucagon, hormônios que atuam nos processos de deposição e de mobilização das reservas energéticas do organismo. A insulina é o principal hormônio regulador do metabolismo energético no tecido adiposo, onde: em condição de balanço energético positivo (BEP) e/ou no período absorptivo a hiperglicemia determina o aumento dos níveis de insulina no sangue (hiperinsulinemia), o que ativa os processos de lipogênese; por outro lado, em quadro de BEN e/ou no

período pós-absortivo a hipoglicemia leva a diminuição dos níveis de insulina (hipoinsulinemia) e ao aumento dos níveis de adrenalina no sangue, o que ativa os processos de lipólise no tecido adiposo (KOZLOSKI, 2009).

Os valores de referência dos parâmetros de lipidograma e bioquímicos em geral encontram-se bem definidos para bovinos, porém, são escassos para ovinos e caprinos (Tabela 1). Esses valores foram estabelecidos em países que apresentam características climáticas e modelos de sistemas de produção bastante distintos do Brasil.

Tabela 1 – Valores de referência para concentrações séricas/plasmáticas de glicose e dos parâmetros do lipidograma em bovinos, ovinos e caprinos.

Parâmetros	Espécie		
	Bovinos	Ovinos	Caprinos
Glicose (mg/dL)	45,0 - 75,0	50,0 - 80,0	50,0 - 75,0
Colesterol (mg/dL)	80,0 - 120,0	52,0 - 76,0	80,0 - 130,0
Triglicerídeos (mg/dL)	0,0 - 14,0	-	-
β-hidroxibutirato (mg/dL)	8,0 - 11,8	5,3 - 6,2	-
Ácidos Graxos Não Esterificados (mg/dL)	3,0 - 10,0	-	-

Fonte: KANEKO et al. (2008)

Os parâmetros bioquímicos são influenciados pela origem, genótipo, idade, condição fisiológica e sanitária dos animais, bem como pela época do ano, pelo sistema de produção e, principalmente, pelo manejo alimentar aplicado ao rebanho (PEIXOTO & OSÓRIO, 2007). Diante disso, pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de estabelecer valores de referência para os parâmetros bioquímicos de bovinos, ovinos e caprinos produzidos no Brasil, nas quais o lipidograma tem sido foco de estudo (RIBEIRO et al., 2004; BRITO et al., 2006; POGLIANI & BIRGEL JUNIOR, 2007; ARAÚJO & SILVA, 2008; SOUZA & BIRGEL JUNIOR, 2009; GREGORY et al., 2009).

LIPIDOGRAMA NA AVALIAÇÃO DO METABOLISMO ENERGÉTICO DE RUMINANTES

Os parâmetros utilizados para avaliar o metabolismo energético dependem do objetivo de cada estudo. Em ruminantes jovens, os níveis séricos/plasmáticos de colesterol e de triglicerídeos, associados a glicemia, podem ser suficientes para avaliar o metabolismo energético de animais mantidos sob diferentes condições nutricionais (NUNES et al.; 2010; FERNANDES et al., 2012). Em ruminantes adultos, principalmente em animais leiteiros, a caracterização completa do lipidograma, a determinação da

glicemia e o monitoramento da ECC são recomendados para avaliar o metabolismo energético sob diferentes condições fisiológicas, como gestação e lactação. O metabolismo lipídico é bastante dinâmico em animais gestantes e lactantes, nos quais os processos de lipogênese e de lipólise são altamente responsivos a glicemia e dependentes das reservas energéticas na forma de gordura (RIBEIRO et al., 2004; CALDEIRA et al., 2007).

FERNANDES et al. (2012) avaliaram a influência de sistemas de produção com e sem desmame precoce no perfil metabólico de cordeiros, utilizando o colesterol sérico como indicador do metabolismo lipídico. Os cordeiros foram desmamados aos 45 dias de idade nos sistemas com desmame precoce, momento em que teve início o estudo comparativo entre sistemas com e sem desmame. A supressão do leite levou a diminuição dos níveis séricos de colesterol em cordeiros desmamados. Por meio do colesterol sérico foi possível identificar diferenças no metabolismo energético de cordeiros desmamados e não desmamados, onde elevados níveis séricos de colesterol estiveram associados a ingestão de energia na forma de lipídios provida pelo leite.

GREGORY et al. (2009) avaliaram a dinâmica do lipidograma em cabritos lactentes até os 70 dias de idade, com o objetivo de estabelecer valores de referência para esta categoria. Registrou-se: aumento do colesterol sérico até 28 dias de idade, que permaneceu estável entre 28 e 70 dias de idade; níveis séricos de triglicerídeos estáveis até 70 dias de idade; oscilação do AGNE sérico em níveis elevados até os 70 dias de idade; e aumento dos níveis séricos de BHB a partir de 56 dias de idade. Nos primeiros 70 dias de vida, a elevação do colesterol sérico em cabritos lactentes ocorreu pela ingestão de lipídios presentes no leite, semelhante ao observado por PICCIONE et al. (2010) em bezerras e FERNANDES et al. (2012) em cordeiros lactentes; a oscilação do AGNE sérico em níveis elevados ocorreu pela

ingestão de leite e pela maior atividade lipolítica nas primeiras 72 horas de vida, que é necessária para a manutenção dos níveis glicêmicos normais; o aumento do BHB sérico a partir de 56 dias de idade é resultante da maior atividade fermentativa do rúmen e de um provável quadro de BEN, determinado pela aceleração do crescimento.

A inclusão de ingredientes com alto teor de lipídios na dieta e sua influência no metabolismo energético de ruminantes tem sido avaliada pelo lipidograma. NUNES et al. (2010) avaliaram o metabolismo energético de cordeiros alimentados em confinamento com dietas contendo níveis crescentes de torta de dendê, que apresenta alto teor de gordura (cerca de 7,8% MS em extrato etéreo). Os níveis séricos de colesterol e de triglicerídeos foram utilizados como indicadores do metabolismo lipídico nos cordeiros. O aumento da inclusão de torta de dendê na dieta não afetou os níveis séricos de triglicerídeos, mas determinou aumento linear nos níveis séricos de colesterol. Níveis crescentes de inclusão da torta de dendê resultaram em maiores teores de extrato etéreo na dieta, que variou 1,7% a 2,7% MS na dieta controle e na dieta com nível máximo de inclusão de torta de dendê (19,5% MS), determinando aumento dos níveis séricos de colesterol nos cordeiros.

Alterações no metabolismo energético de bovinos leiteiros em resposta a inclusão de fontes de gordura na dieta foram relatadas por LÓPEZ et al. (2004) e FREITAS JÚNIOR et al. (2010). LÓPEZ et al. (2004) avaliaram a inclusão de sebo bovino, gordura protegida e grãos de soja como fontes de gordura na dieta para vacas leiteiras em início de lactação. Os níveis séricos de colesterol, triglicerídeos e AGNE foram superiores em vacas alimentadas com gordura protegida e inferiores naquelas alimentadas com sebo bovino ou que receberam a dieta controle (sem adição de gordura). FREITAS JÚNIOR et al. (2010) avaliaram a inclusão de óleo de soja, grãos de soja e gordura protegida como fontes de gordura na dieta para vacas

leiteiras de alta produção entre 4 e 5 meses de lactação. Os níveis séricos de triglicerídeos não foram alterados pelo tipo de gordura utilizada, porém os níveis séricos de colesterol foram superiores nos animais alimentados com gordura protegida.

Em estudo sobre a influência do ECC no perfil metabólico de ovinos, CALDEIRA et al. (2007) avaliaram o metabolismo energético de ovelhas em manutenção com diferentes ECC por meio das concentrações séricas de triglicerídeos, AGNE e BHB (Tabela 2).

CALDEIRA et al. (2007) relataram que ovelhas com ECC = 4 mantiveram a atividade lipolítica em níveis basais, que estiveram associadas ao *turnover* do tecido adiposo;

ovelhas com ECC = 1,25 e ECC = 2 aumentaram a atividade lipolítica em resposta a baixa ingestão de energia. Maiores níveis séricos de triglicerídeos foram observados em ovelhas com ECC = 4, o que é explicado pelo aumento da síntese de triglicerídeos na mucosa intestinal devido a maior disponibilidade de substratos. Os níveis séricos de BHB não foram influenciados pelo ECC, o que foi atribuído a redução da produção de butirato e oxaloacetato e ao aumento da oxidação parcial de AGNE no fígado. Isso ocorreu em resposta a diminuição da ingestão de alimento pelos animais a medida que houve diminuição da ECC entre os grupos avaliados.

Tabela 2 – Médias e erro padrão de parâmetros do lipidograma de ovelhas com diferentes escores de condição corporal.

Parâmetros	Escore de Condição Corporal			
	1,25	2,00	3,00	4,00
Glicose (mg/dL)	53,2 ± 0,9 b	54,4 ± 1,8 b	59,1 ± 3,2 a	59,3 ± 2,0 a
TG (mg/dL)	12,8 ± 1,7 b	10,2 ± 1,1 b	12,2 ± 1,0 b	17,6 ± 1,3 a
AGNE (mg/dL)	18,8 ± 1,5 a	22,3 ± 1,8 a	19,4 ± 2,3 a	9,2 ± 0,8 b
BHB (mg/dL)	4,6 ± 0,3 a	4,7 ± 0,2 a	4,3 ± 0,2 a	5,3 ± 0,4 a

TG = triglicerídeos; AGNE = ácidos graxos não esterificados; BHB = β -hidroxibutirato.

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem ($P < 0,05$) pelo teste dos quadrados mínimos.

Fonte: adaptado de CALDEIRA et al. (2007)

Embora CALDEIRA et al. (2007) não tenham observado variações nos níveis séricos de BHB em ovelhas em manutenção com diferentes ECC, este parâmetro é bastante sensível a mudanças de ECC em ovelhas gestantes e lactantes. Em ovinos leiteiros da raça Lacaune, BRITO et al. (2006) monitoraram o ECC e utilizaram os níveis séricos de colesterol, triglicerídeos e BHB como indicadores do metabolismo lipídico na gestação e na lactação. Apenas o BHB sérico apresentou variação entre estas fases, com aumento de sua concentração diante da sensível redução de ECC (3,03 para 2,82

pontos) do final da gestação para o início da lactação. Resposta semelhante foi relatada por RIBEIRO et al. (2004) em ovelhas mestiças Border Leicester x Texel criadas em sistema extensivo no Rio Grande do Sul. Neste estudo, a redução de ECC foi mais expressiva entre a gestação e a lactação (2,11 para 1,20 pontos), resultando em aumento dos níveis de BHB sérico. Dessa forma, o BHB sérico é um indicador confiável da atividade lipolítica em ovinos gestantes e lactantes, apresentando alta sensibilidade a variações de ECC nos animais.

Mudanças no lipidograma em vacas leiteiras nas fases de manutenção, gestação e início de lactação foram relatadas por POGLIANI et al. (2010) (Tabela 3). Foram observados maiores níveis séricos de BHB no terço inicial, e maiores níveis séricos de AGNE no terço final de gestação. O aumento do BHB sérico no terço inicial de gestação é explicado pela cetogênese alimentar. Já no

terço final de gestação, o aumento de AGNE é atribuído a redução da capacidade de ingestão de alimento e a ação de hormônios lipolíticos que é expressiva nesta fase. Houve aumento dos níveis séricos de AGNE e BHB, e diminuição dos níveis séricos de triglicérides no início da lactação, o que caracteriza a condição de BEN nessa fase.

Tabela 3 – Médias e desvio padrão dos parâmetros do lipidograma de vacas leiteiras da raça Holandesa nas fases de manutenção, gestação e início de lactação.

Parâmetros	Manutenção	Gestação			Lactação
		≤ 3 meses	3-6 meses	6-9 meses	≤ 30 dias
Glicose (mg/dL)	72,3 ± 8,6 a	66,4 ± 4,6 b	66,0 ± 8,4 b	63,3 ± 5,9 b	66,7 ± 6,0 b
Colesterol (mg/dL)	92,4 ± 19,7 a	111,7 ± 37,3 a	130,0 ± 63,1 a	128,7 ± 63,3 a	104,6 ± 39,4 a
TG (mg/dL)	29,6 ± 16,3 a	38,5 ± 21,7 a	31,3 ± 14,1 a	29,4 ± 9,6 a	12,4 ± 5,7 b
AGNE (mg/dL)	5,4 ± 3,7 b	5,6 ± 3,7 b	6,2 ± 2,4 b	7,7 ± 4,1 b	11,1 ± 6,7 b
BHB (mg/dL)	3,0 ± 0,9 b	4,6 ± 1,8 a	3,5 ± 1,0 b	3,4 ± 1,0 b	4,8 ± 2,1 a

TG = triglicérides; AGNE = ácidos graxos não esterificados; BHB = β-hidroxibutirato.

Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa (P<0,05) pelo método de Calinski & Corsten para glicose, AGNE e BHB, e pelo método de Bonferroni para colesterol e TG.

Fonte: adaptado de POGLIANI et al. (2010).

A dinâmica do lipidograma no início da lactação em vacas Holandesas de média produção leiteira (15 a 25 L/dia) foi avaliada por SOUZA & BIRGEL JUNIOR (2009) (Tabela 4). Para fins de estudo, foram comparados quatro períodos no início da lactação, que corresponderam a 0-10, 30-45, 45-60 e mais de 60 dias pós-parto. Registrou-se aumento dos níveis séricos de colesterol e diminuição dos níveis séricos de AGNE com o avanço da lactação. Os níveis séricos de ambos os metabólitos se estabilizaram a partir dos 45 dias pós-parto, mostrando o

equilíbrio do balanço energético dos animais a partir deste período.

Além do monitoramento do peso, do ECC e da condição nutricional, o lipidograma reflete com maior acurácia o quadro de balanço energético de ruminantes durante a lactação. A determinação dos níveis séricos de AGNE e BHB deve ser considerada na avaliação do balanço energético nesta fase, pois constituem bons indicadores do BEN, conforme demonstrado por CAMPOS et al. (2007) e SOUZA & BIRGEL JUNIOR (2009).

Tabela 4 – Médias e desvio padrão dos parâmetros do lipidograma de vacas leiteiras da raça Holandesa no início da lactação.

Parâmetros	Início da Lactação			
	0 a 10 dias	30 a 45 dias	45 a 60 dias	> 60 dias
Glicose (mg/dL)	53,2 ± 9,4 a	58,8 ± 9,9 a	54,4 ± 5,3 a	54,9 ± 5,8 a
Colesterol (mg/dL)	67,7 ± 17,8 c	133,9 ± 34,4 b	180,2 ± 45,0 a	179,7 ± 54,4 a
TG (mg/dL)	17,8 ± 5,4 a	22,3 ± 15,7 a	10,6 ± 7,9 b	17,1 ± 5,9 a
AGNE (mg/dL)	20,4 ± 11,6 a	13,4 ± 8,5 ab	8,9 ± 8,9 b	8,1 ± 10,1 b
BHB (mg/dL)	5,8 ± 2,4 a	5,1 ± 2,2 a	4,8 ± 1,5 a	5,6 ± 1,3 a

TG = triglicerídeos; AGNE = ácidos graxos não esterificados; BHB = β -hidroxibutirato.

Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($P < 0,05$) pelo método de Bonferroni.

Fonte: adaptado de SOUZA & BIRGEL JUNIOR et al. (2009).

Relações estabelecidas entre níveis séricos de AGNE e de BHB (relação AGNE:BHB), e entre níveis séricos de AGNE e de colesterol (relação AGNE:colesterol) podem ser utilizadas como indicadores para avaliar a evolução do quadro de BEN para BEP com o avanço da lactação. A relação AGNE:BHB está associada aos processos de mobilização e deposição de gordura no tecido adiposo (SATO et al., 1999), enquanto a relação AGNE:colesterol indica o balanço energético com base na ingestão de energia (NDLOVU et al., 2007). Considerando a dinâmica do lipidograma na lactação, estudos com ovinos e caprinos leiteiros (BRITO et al., 2006; BARBOSA et al., 2009) mostram perfis de metabolismo lipídico semelhantes aos de bovinos leiteiros em lactação (CAMPOS et al., 2007; SOUZA & BIRGEL JUNIOR, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O metabolismo energético de ruminantes pode ser avaliado de forma acurada e confiável pelo lipidograma, onde os níveis séricos/plasmáticos de colesterol, triglicerídeos, β -hidroxibutirato e ácidos

graxos não esterificados têm relação direta com o balanço energético do animal.

Mudanças no manejo alimentar ou na condição nutricional, como a substituição ou a inclusão de ingredientes com alto teor de lipídios na dieta; práticas de manejo integradas aos sistemas de produção, como o desmame; e alterações na condição fisiológica, como a gestação e a lactação são fatores que afetam o metabolismo energético dos animais, o que tem sido demonstrado por meio do lipidograma.

Pesquisas com foco na avaliação do lipidograma e demais parâmetros bioquímicos em bovinos, ovinos e caprinos devem ter continuidade no Brasil, pois as informações disponíveis na literatura nacional ainda são insuficientes para serem utilizadas como base de referência para estes animais. Os valores de referência estabelecidos para animais criados no Brasil permitirão a interpretação mais acurada dos parâmetros bioquímicos de ruminantes submetidos aos sistemas de produção vigentes no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, D.F.; SILVA, I.P. Valores de amilase, glicose, colesterol e triglicérides em soro de cabras de Mossoró, RN. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.2, n.3, p.97-100, 2008.

BARBOSA, L.P.; RODRIGUES, M.T.; GUIMARÃES, J.D. et al. Condição corporal ao parto e perfil metabólico de cabras alpinas no início da lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.10, p.2007-2014, 2009.

BRITO, M.A.; GONZÁLEZ, F.D.; RIBEIRO, L.A. et al. Composição do sangue e do leite em ovinos leiteiros do sul do Brasil: variações na gestação e na lactação. **Ciência Rural**, v.36, n.3, p.942-948, 2006.

BRUSS, M.L. Lipids and ketones. In: KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. (Eds.) **Clinical biochemistry of domestic animals**. 6.ed. San Diego: Academic Press, 2008. p.81-115.

CALDEIRA, R.M. Monitorização da adequação do plano alimentar e do estado nutricional em ovelhas. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.100, p.125-139, 2005.

CALDEIRA, R.M.; BELO, A.T.; SANTOS, C.C. et al. The effect of body condition score on blood metabolites and hormonal profiles in ewes. **Small Ruminant Research**, v.68, p.233-241, 2007.

CAMPOS, R.; GONZÁLEZ, F.; COLDEBELLA, A. et al. Indicadores do metabolismo energético no pós-parto de vacas leiteiras de alta produção e sua relação com a composição do leite. **Ciência Animal Brasileira**, v.8, n.2, p.241-249, 2007.

CEZAR, M.F.; SOUSA, W.H. Avaliação e utilização da condição corporal como ferramenta de melhoria da reprodução e

produção de ovinos e caprinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, supl. especial, p.649-678, 2006.

FERNANDES, S.R.; MONTEIRO, A.L.G.; DITTRICH, R.L. et al. Early weaning and concentrate supplementation on the performance and metabolic profile of grazing lambs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.5, p.1292-1300, 2012.

FREITAS JÚNIOR, J.E.; RENNÓ, F.P.; SILVA, L.F.P. et al. Parâmetros sanguíneos de vacas leiteiras suplementadas com diferentes fontes de gordura. **Ciência Rural**, v.40, n.4, p.950-956, 2010.

GREGORY, I.; BARDESE, C.B.; BIRGEL JR, E.H. et al. Lipidograma e glicemia de caprinos da raça Saanen, durante os primeiros dias de vida. **ARS Veterinária**, v.25, n.3, p.109-115, 2009.

JENKINS, T.C. Lipid metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.3851-3863, 1993.

KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. **Clinical biochemistry of domestic animals**. 6.ed. San Diego: Academic Press, 2008. 916p.

KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. 2.ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2009. 216p.

LÓPEZ, S.E.; LÓPEZ, J.; STUMPF JUNIOR W. Parâmetros séricos de vacas leiteiras na fase inicial de lactação suplementadas com diferentes fontes de gordura. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v.12, n.3, p.96-102, 2004.

MORAES, J.C.F.; JAUME, C.M.; SOUZA, C.J.H. Manejo reprodutivo da vaca de corte. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.31, n.2, p.160-166, 2007.

NDLOVU, T.; CHIMONYO, M.; OKOH, A.I. et al. Assessing the nutritional status of beef cattle: current practices and future prospects. **African Journal of Biotechnology**, v.6, p.2727-2734, 2007.

NUNES, A.S.; OLIVEIRA, R.L.; AYRES, M.C.C. et al. Condição hepática de cordeiros mantidos com dietas contendo torta de dendê proveniente da produção de biodiesel. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1825-1831, 2010.

PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W.R.S. Metabolismo de lipídios. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds.) **Nutrição de Ruminantes**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011. cap.10. p.299-322.

PEIXOTO, L.A.O.; OSÓRIO, M.T.M. Perfil metabólico proteico e energético na avaliação do desempenho reprodutivo em ruminantes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.3, p.299-304, 2007.

PICCIONE, G.; CASELLA, S.; PENNISI, P. et al. Monitoring of physiological and blood parameters during perinatal and neonatal period in calves. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.1, p.1-12, 2010.

POGLIANI, F.C.; BIRGEL JUNIOR, E. Valores de referência do lipidograma de bovinos da raça holandesa, criados no Estado de São Paulo. **Brazilian Journal of**

Veterinary Research and Animal Science, v.44, n.5, p.373-383, 2007.

POGLIANI, F.C.; AZEDO, M.R.; SOUZA, R.M. et al. Influência da gestação e do puerpério no lipidograma de bovinos da raça Holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.2, p.273-280, 2010.

RIBEIRO, L.A.O.; MATTOS, R.C.; GONZÁLEZ, F.H.D. et al. Perfil metabólico de ovelhas Border Leicester x Texel durante a gestação e a lactação. **Revista Brasileira de Ciências Veterinárias**, v.99, p.155-159, 2004.

SATO, H.; MATSUMOTO, M.; HANASAKA, S. Relations between plasma acetate, 3-hydroxybutyrate, FFA, glucose levels and energy nutrition in lactating dairy cows. **Journal of Veterinary Medical Science**, v.61, n.5, p.447-451, 1999.

SOUZA, R.M.; BIRGEL JUNIOR, E.H. Influência do puerpério e da fase pós-puerperal no lipidograma de vacas da raça Holandesa criadas no Estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.46, n.1, p.5-10, 2009.

WITTEWER, F. Diagnóstico dos desequilíbrios metabólicos de energia em rebanhos bovinos. In: GONZÁLEZ, F.H.D.; BARCELLOS, J.O.; OSPINA, H. et al. (Eds.) **Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. p.9-22.