

UTILIZAÇÃO DE PARÂMETROS BIOQUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DO STATUS METABÓLICO EM ANIMAIS COM RESTRIÇÃO NUTRICIONAL

(Use of biochemical parameters for the evaluation of the metabolic state in animals with feed restriction)

Nhayandra Christina Dias e Silva^{1*}; Carla Joice Harter¹;
Kléber Tomás de Resende¹

¹Universidade Estadual Paulista, Campus Universitário Jaboticabal (UNESP), Rodovia Prof. Paulo Donato Castellane s/n, Jaboticabal-SP, CEP: 14.884-900.

RESUMO

Os caprinos passam por diferentes fases fisiológicas, ao longo da vida, de forma que sua composição corporal, suas exigências nutricionais e seus mecanismos metabólicos são alterados, conforme suas necessidades. O uso de parâmetros bioquímicos sanguíneos como ferramentas para avaliar o grau de adequação fisiológica dos animais às principais vias metabólicas relacionadas à energia, proteína e minerais tem auxiliado bastante a evidenciar problemas metabólicos e surge como uma alternativa para diagnosticar desequilíbrios metabólicos, que podem desencadear queda na produção, baixa fertilidade e mal funcionamento dos órgãos. Entretanto, a interpretação do perfil bioquímico sanguíneo, dentro de uma mesma espécie é algo complexo, devido à sua grande variação, uma vez que as concentrações de cada metabólito podem ser influenciadas por diversos fatores, como gênero, idade e variedade genética. Sendo assim, o objetivo deste estudo é abordar a utilização de parâmetros bioquímicos para avaliação do *status* metabólico de caprinos em diversas fases fisiológicas, ao longo de restrição nutricional. As informações contidas neste estudo são importantes para fomentar a avaliação e utilização de animais mais eficientes para a produção animal e gerar dados que possam explicar as modificações ocorridas durante uma restrição nutricional, bem como auxiliar na monitorização das condições corporais e nutricionais, visando maior ganho econômico e ambiental.

Palavras-chave: Crescimento, metabolismo, perfil metabólico, ruminantes.

ABSTRACT

Goats go through different physiological phases throughout life, so that their body composition, their nutritional requirements and their metabolic mechanisms are changed according to their needs. The use of blood biochemical parameters as a alternative to

*Endereço para correspondência:
nhayandra_dias@yahoo.com.br

evaluate the degree of physiological suitability of the animals to the main metabolic pathways related to energy, protein and minerals, has greatly aided in evidencing metabolic problems and appears as an alternative to diagnose metabolic imbalances that may result in decreased production, low fertility and malfunction of the organs.

However, the interpretation of the blood biochemical profile within the same species is somewhat complex due to the great variation, since the concentrations of each metabolite can be influenced by several factors, such as gender, age and genetic variety. Thus, the objective of this study is to address the use of biochemical parameters to evaluate the metabolic status of goats at various physiological stages along the feed restriction. The information contained in this study is important to promote the evaluation and use of more efficient animals for animal production and generate data that may explain the changes that occurred during feed restriction, as well as assist in the monitoring of body and nutritional conditions, aiming at greater economic gain and environmental.

Keywords: Growth, metabolism, metabolic profile, ruminants.

INTRODUÇÃO

O rebanho mundial de caprinos é estimado em 975 milhões de cabeças, segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2013), sendo que, aproximadamente, 8,8 milhões de cabeças estão no Brasil, sendo que 88% desse plantel encontra-se na região Nordeste do país (IBGE, 2014).

O crescimento na produção de caprinos, ao longo dos anos, se deve, principalmente, à adaptabilidade dessa espécie, diante das condições adversas impostas a esses animais, sejam elas de cunho ambiental ou nutricional. Diante desse contexto, uma restrição nutricional, que, por sua vez, pode ser quantitativa ou qualitativa, dependendo do nível alimentar imposto, pode ser um desafio a essa espécie, por consequência da variação sazonal; como, também, pode ser uma estratégia de manejo nutricional alimentar e que, se conhecido o seu efeito fisiológico ao animal, pode gerar grandes contribuições, capazes de reduzir gastos desnecessários num sistema de produção (GOMES, 2008).

Os efeitos de uma restrição nutricional sobre o metabolismo dos animais ainda não são totalmente conhecidos; no entanto, sabe-se que a utilização digestiva e metabólica dos nutrientes em animais, frente à restrição, tem variações intensas, de acordo com o nível de restrição imposto (MERSMANN *et al.*, 1987), podendo ainda variar de acordo com o sexo do animal e fase fisiológica, resultando em formas distintas no aproveitamento de nutrientes (BERESKIN *et al.*, 1990), o que pode sugerir respostas diferenciadas para deposição de nutrientes e energia.

Segundo Berg e Butterfield (1976), um dos fatores que tem se mostrado determinante nas diferenças de crescimento e nas taxas de deposição de distintos tecidos corporais é o efeito do sexo do animal, o que afeta diretamente à composição corporal e, conseqüentemente, a exigência nutricional. Além disso, de acordo com Payne e Payne (1987), é possível que animais em diferentes períodos fisiológicos, condições sexuais e níveis nutricionais apresentem diferentes comportamentos metabólicos.

A composição bioquímica do sangue reflete, de forma clara, a situação metabólica dos tecidos animais e, por isso, pode se tornar uma grande ferramenta para avaliar lesões teciduais, transtornos no funcionamento de órgãos, adaptação dos animais diante de desafios nutricionais, fisiológicos e desequilíbrios metabólicos ou de origem nutricional, podendo identificar problemas em potencial, antes que eles venham expressar queda na produção e desordens de fertilidade (KELLY, 1996).

Diante desse cenário, percebe-se que ainda existem algumas lacunas que precisam ser pesquisadas e esclarecidas, principalmente quanto às variações no perfil metabólico sanguíneo de caprinos, diante do manejo nutricional imposto. Sendo assim, este estudo tem como objetivo abordar a utilização de parâmetros bioquímicos para avaliação do perfil metabólico em diversas fases fisiológicas, ao longo de restrição nutricional.

DESENVOLVIMENTO

Importância da fase fisiológica

Segundo Owens (1993), o crescimento pode ser definido como a produção de novas células e, mesmo ele podendo ser mensurado como um aumento da massa corporal por unidade de tempo, isto não inclui somente a hiperplasia das células, mas, também, a hipertrofia, deposição de tecido adiposo e incorporação de componentes específicos do ambiente.

O processo de crescimento envolve, principalmente, adaptações nos órgãos e tecidos dos animais, segundo as necessidades fisiológicas do organismo. Animais, durante o crescimento, possuem, proporcionalmente, maior deposição de proteína e minerais quando mais jovens e maior deposição de gordura com o avanço da idade, até o momento em que atinjam a maturidade química (FERREIRA *et al.*, 1999). Sendo assim, a gordura corporal é

o componente que sofre maior variação no decorrer do processo de crescimento e o seu acúmulo no corpo pode afetar diretamente a eficiência e utilização de energia do animal. Contudo, é importante ressaltar que esse período, bem como o tamanho animal para entrar em reprodução, pode variar entre raças e sexo, dentro de uma mesma espécie.

Os tecidos corporais tendem a crescer e se desenvolver em sequência específica, sendo o tecido nervoso o primeiro a se desenvolver, seguido pelo tecido ósseo, tecido muscular e, por último, o tecido adiposo (OWENS *et al.*, 1993). Após o nascimento, até puberdade, a taxa de crescimento do tecido muscular é maior do que as taxas do tecido ósseo e do adiposo; enquanto que, após a puberdade, até a maturidade, passa a predominar o crescimento do tecido adiposo. Sendo assim, durante a maturidade, pode-se dizer que o crescimento muscular é zero, pois é o momento em que a massa muscular atinge o ponto máximo, onde o ganho de peso é composto apenas de gordura (OWENS *et al.*, 1993).

A variação no crescimento dos animais em relação ao sexo (machos e fêmeas) se dá por meio da ação e da concentração de determinados hormônios, que influenciam uma maior deposição de músculo ou de gordura (SAHLU *et al.*, 2004). Webster (1986) relatou que os hormônios são os que mais exercem influência, cujas taxas de liberação são mediadas pelo sexo, grau de maturidade e manipulações do ambiente, como temperatura ou ausência/presença de luz.

As concentrações dos hormônios andrógenos, mediados pelo sexo, influencia diretamente a partição, deposição e utilização de nutrientes e fazem com que machos apresentem maior crescimento, em relação às fêmeas (GOMES, 2008), o que resulta na diferenciação do perfil metabólico sanguíneo entre machos e fêmeas.

De acordo com Jacobs *et al.* (1972), o hormônio masculino testosterona promove crescimento muscular e esquelético, determinando carcaças mais magras e com maior teor de musculatura nos machos inteiros. Ainda, segundo Arthaud (1977), machos ganham peso mais rápido, convertem alimento em carne magra mais eficientemente e apresentam uma boa relação músculo:osso, com menores proporções de gordura, quando comparados às carcaças de fêmeas, o que afeta diretamente a composição corporal do animal e as concentrações dos metabólitos séricos e/ou plasmáticos. Entretanto, no geral, independente do sexo, os períodos de recria até a puberdade, normalmente são caracterizados por grande eficiência na utilização dos recursos nutricionais pelo animal, quando comparados a animais maduros (SILVA *et al.*, 2016).

Já, nas fêmeas gestantes, as mudanças metabólicas acontecem não somente no aparelho reprodutivo, mas em todo o seu organismo (COSTA *et al.*, 2005). Os mecanismos

fisiológicos envolvidos na adaptação da gestante frente a esta situação têm sido estudados nas últimas seis semanas da gestação, uma vez que é nesse período que ocorre cerca de 70% do crescimento fetal (RUSSEL, 1982). Mesma lógica apontada anteriormente... Nessa fase, ocorre o maior desenvolvimento dos tecidos placentários, glandular e mamário, os quais contribuem para aumento da demanda energética (LIMA, 2011).

Durante a gestação, devemos considerar que possam existir mudanças na metabolizabilidade, bem como na digestibilidade dos nutrientes e utilização de nutrientes, o que, provavelmente, está relacionado com diferenças das taxas de passagens do alimento pelo trato digestivo do animal, sendo que fêmeas gestantes apresentam maiores taxas de passagens, do que aquelas não gestantes (RESENDE, 2006).

Quando acontece uma condição de alta demanda de proteína e energia, como ocorre, tanto na gestação, quanto no início de lactação, a taxa de síntese proteica no músculo é menor que a degradação, sendo que aminoácidos passam a ser oxidados e liberados para a circulação sanguínea e depositados para formação de tecidos (KOZLOSKI, 2011). No tecido adiposo, o acúmulo de lipídeos durante os primeiros 2/3 da gestação e subsequente aumento na mobilização de gordura, durante o 1/3 final, são observados em espécies de mamíferos (CHILLIARD, 1987). Dessa forma, no tecido adiposo, a lipólise de triglicérides é estimulada, determinando a mobilização da gordura previamente armazenada e a liberação de ácidos graxos e glicerol na circulação sanguínea. Com isso, o metabolismo hepático passa a ser mais intenso do que em qualquer outra situação metabólica. A neoglicogênese ocorre, a partir de substratos provenientes, tanto do trato gastrointestinal (propionato, aminoácidos e lactato), como daqueles provenientes dos tecidos periféricos (aminoácidos e glicerol). A síntese de ATP, no fígado ocorre, principalmente, pela oxidação de ácidos graxos livres captados da circulação sanguínea (LEHNINGER *et al.*, 2000).

A alta concentração de ácidos graxos livres, colesterol e triglicérides no sangue é resultante da mobilização de gordura corporal, o que permite sugerir esses como ferramentas de manejo nutricional, no período final de gestação, para auxiliar a identificação de animais potencialmente sujeitos a desordens metabólicas (WITTEWER, 1993). Por outro lado, a via metabólica proteica é representada pela ureia, pois depende do aporte de proteínas degradáveis da ração. Entretanto, o valor energético da ração também tem efeito sobre a ureia, pois, se o consumo de energia é baixo, o metabolismo dos microrganismos ruminais é alterado, ocasionando aumento na concentração de ureia sanguínea (CONTRERAS *et al.*, 2000). Assim, as concentrações de metabólitos no soro e no plasma têm sido usadas para prever o balanço de energia e relacionadas com as respostas de produção de ruminantes,

nas várias condições fisiológicas (BAUMAN *et al.*, 1988). Os animais que apresentam níveis sanguíneos fora dos valores de referência podem estar em desequilíbrio nutricional, ou com alterações orgânicas que condicionam diminuição na capacidade de utilização ou biotransformação dos nutrientes (WITTWER, 1993).

Durante as diversas fases de vida dos ruminantes (nascimento, recria, gestação e lactação), o consumo de matéria seca pelo animal é muito variável e os requerimentos de energia e proteína do animal, na maioria das vezes, não são atendidos. Frente a essa dificuldade, os ruminantes desenvolveram a capacidade de adaptar seu metabolismo, pelo menos até certos limites, no sentido de resolver o problema do excesso ou escassez de substratos, que ocorrem durante a ingestão de um alimento, jejum ou em função de suas necessidades nutricionais. Numa condição em que os requerimentos nutricionais não sejam satisfeitos pela ingestão de nutrientes, ocorre a mobilização de gordura e proteína do tecido (KOZLOSKI, 2011).

Consequências fisiológicas da restrição nutricional

Uma restrição nutricional pode ser definida como qualquer limitação, tanto quantitativa como qualitativa, capaz de causar crescimento inferior ao normal (BOIN e TEDESCHI, 1997). Dessa forma, quando a quantidade de nutrientes oferecida aos animais é restrita, a taxa de crescimento é abaixo do normal e todas as fases durante o crescimento do animal podem ser comprometidas (OWENS, *et al.*, 1993). Entretanto, ao mesmo tempo que a restrição nutricional pode refletir negativamente sobre o desenvolvimento do animal, também pode ser uma ferramenta capaz de melhorar as eficiências digestiva e metabólica dos nutrientes, quando empregada corretamente (CHIBA *et al.*, 2002), uma vez que quando utilizada de forma adequada, é capaz de servir como estratégia de manejo, sem prejudicar o desenvolvimento do animal.

Quando os animais estão sem alimento ou submetidos a algum manejo nutricional incapaz de suprir suas necessidades, os mesmos usam de mecanismos fisiológicos, na tentativa de minimizar o dano causado (FORBES, 1995). De acordo com Diskin *et al.* (2003), a restrição nutricional prolongada em ruminantes pode inferir em diversas mudanças metabólicas e hormonais no organismo, alterando os níveis circulantes de metabólitos e hormônios no plasma sanguíneo, refletindo no seu crescimento, desempenho e na vida reprodutiva, principalmente quando se trata de fêmeas.

Durante a restrição alimentar, o sistema digestório ajusta sua massa à disponibilidade de nutrientes e isso faz com que a digestão dos alimentos e a absorção dos nutrientes possam ser afetadas, alterando a secreção enzimática e aumentando a área absorptiva do intestino delgado (POND *et al.*, 1988), o que causa uma redução da oxidação de aminoácidos, aumentando a eficiência de retenção (SCHEUS *et al.*, 1985).

Ainda, durante uma restrição nutricional, a exigência de manutenção do animal diminui. Tal fato é explicado pela diferença no tamanho dos órgãos, uma vez que a energia gasta pelas vísceras corresponde, aproximadamente, a 50% do total de energia para manutenção. Isso ocorre, porque os tecidos viscerais, como o trato gastrointestinal e fígado apresentam alto *turnover* proteico (SILVA, 2002).

Estudos com animais mantidos sob restrição nutricional evidenciaram melhoras nas taxas absorptivas, principalmente pela redução nas exigências, ocasionadas pela restrição nutricional (JORGE *et al.*, 1999). Por outro lado, DOREAU *et al.* (2003) verificaram que ovinos mantidos restritos nutricionalmente não apresentaram adaptações fisiológicas e estruturais capazes de reduzir os efeitos da restrição, sendo observado, em alguns casos, redução na eficiência de utilização da dieta durante o período de restrição e após esse período. Os autores verificaram que a capacidade de absorção de energia no sistema porta-hepático não foi alterada; contudo, a natureza da absorção dos nutrientes foi modificada.

Indicadores do metabolismo energético, proteico e mineral

Diante do exposto, estudos metabólico-nutricionais têm sido empregados para estabelecer, por meio de dosagens sanguíneas, o grau de adequação fisiológica dos animais às principais vias metabólicas relacionadas com energia, proteína e minerais (GONZÁLEZ e SCHEFFER, 2003). Até o momento, indicadores metabólicos têm sido amplamente empregados na avaliação da condição nutricional dos rebanhos e, com o uso rotineiro dos parâmetros sanguíneos, a tendência, nos próximos anos, é expandir o uso desses indicadores bioquímicos para determinação dos níveis ideais de nutrientes e para estudos da capacidade fisiológica adaptativa dos animais, identificando as diferentes rotas metabólicas e taxas de utilização de cada nutriente (proteico, energético e mineral), específicas para a condição sexual, fase de vida e nível nutricional (GONZÁLEZ *et al.*, 2000).

Contudo, é importante ressaltar que as limitações principais para a determinação de parâmetros sanguíneos e hormonais são a falta de kits comerciais específicos no mercado, para dosagem de determinados metabólitos nas diversas espécies, devendo ser, então,

utilizados kits para humanos, após a validação para a espécie em questão e a escassez de dados de valores-referência para comparação dos parâmetros sanguíneos, dentre as fases fisiológicas do animal e espécie.

Em caprinos, as características metabólicas diferem das observadas em outros ruminantes, devido à capacidade de adaptação fisiológica às várias condições (MORAND-FHER, 2005), justificando, assim, a realização de estudos com a referida espécie para o aperfeiçoamento dos programas de alimentação e, conseqüentemente, o aumento da eficiência produtiva dos rebanhos.

Dentre os metabólitos sanguíneos mais usados para avaliar o status energético estão o beta-hidroxibutirato (β -HB) e os ácidos graxos livres (AGL), que estão diretamente relacionados com a taxa de mobilização de reservas lipídicas em momentos de déficit energético (DE CAXIAS-NORTE, 2004). O β -HB mostra aumento considerável, quando o balanço negativo torna-se severo, enquanto que, para situações moderadas de déficit, os AGL constituem os metabólitos mais significativo para estimar esse desequilíbrio, respondendo rapidamente a mudanças no consumo de alimento (RUSSEL e WRIGHT, 1983).

Dentre os corpos cetônicos formados durante a mobilização de reservas corporais (acetoacetato, beta-hidroxibutirato e acetona), segundo González e Scheffer (2003), o BHB têm por norma concentrações plasmáticas ou séricas mais elevadas que acetona e acetoacetato, além de ser o predominante na circulação. As concentrações plasmáticas de BHB têm correlação significativa com concentrações plasmáticas de acetoacetato, mas esse é instável em amostras, enquanto o BHB é relativamente estável, o que justifica a sua dosagem em amostras sanguíneas.

A avaliação do status proteico pode ser realizada, mediante a determinação das concentrações de proteína total, albumina, ureia e creatinina no sangue dos animais (PAYNE e PAYNE, 1987), pois a redução dos níveis desses elementos no plasma está fortemente relacionada com deficiências dos níveis de proteína na alimentação (KANEKO *et al.*, 1997). Alterações sazonais ou mesmo diárias na relação energia:proteína na dieta influenciam os níveis de ureia no sangue e o seu aproveitamento pelo animal, demonstrando o status proteico do animal em curto prazo; enquanto que a albumina o demonstra em longo prazo e a creatinina em caráter crônico, para detecção de grave desequilíbrio proteico (WITWER *et al.*, 1993).

Além dos metabólitos, o estudo das enzimas é de grande importância para compreensão dos processos fisiológicos, pois se encontram direta e indiretamente

relacionadas às principais rotas metabólico-nutricionais, tendo por função catalisar (acelerar) as reações bioquímicas (GONZÁLEZ e SCHEFFER, 2003).

A aspartato aminotransferase (AST) age como catalisadora em processos metabólicos, que ocorrem em abundância nos tecidos hepático e musculares, onde altos valores de AST, associados a baixos valores de colesterol e de albumina revelam transtornos na função hepática, sugerindo presença de desequilíbrio no metabolismo proteico e/ou energético (GONZÁLEZ e SILVA, 2006).

A gama glutamiltransferase (GGT) encontra-se associada às membranas, especialmente nos epitélios dos dutos biliares e renais, servindo como indicador de metabolismo hepático e função renal (GONZÁLEZ e SILVA, 2006), enquanto que a creatina quinase (CK) tem como principal local de atividade o tecido muscular (esquelético e cardíaco), atuando na fosforilação da creatina, como uma forma adicional de armazenamento de energia em ligações fosfatadas; seu nível está aumentado em danos musculares de origem nutricional, comuns em casos de desnutrição profunda e crônica, observados em casos de caquexia.

Outro sistema que desempenha papel essencial no metabolismo é o endócrino, pois atua na manutenção do meio interno, na produção, no desenvolvimento e no armazenamento e utilização dos substratos, regendo processos fisiológicos e fornecendo respostas em determinados mecanismos metabólicos (KANEKO *et al.*, 1997), tomando possível traçar perfis que permitam identificar desequilíbrios metabólicos de animais, principalmente em fases de elevada exigência nutricional (MORRISON *et al.*, 2002). Dentre os hormônios mais relacionados aos principais mecanismos metabólicos da nutrição e do crescimento animal, encontram-se: o IGF-1, que é um importante fator de crescimento e seus níveis se encontram elevados em períodos de intenso desenvolvimento tecidual (KANEKO *et al.*, 1997). A triiodotironina (T3) e a tiroxina (T4) estão relacionadas com o metabolismo basal, sendo a T3 o principal indicador hormonal do metabolismo tireoidiano.

A concentração dos metabólitos e hormônios supracitados pode variar de espécie para espécie, estágio fisiológico, condições ambientais e sexo (GONZÁLEZ e SILVA, 2006). A espécie caprina, possui menores concentrações sanguíneas de ureia, glicose e creatina quinase e maior atividade enzimática de aspartato aminotransferase e gama glutamiltransferase, quando comparada às espécies bovina e ovina (KANEKO *et al.*, 1997). Além disso, é esperado que machos apresentem maiores concentrações de IGFs, resultante da ação da testosterona, quando comparados aos machos castrados e fêmeas, em condições normais de alimentação (MAHGOUB *et al.*, 2004).

Em situações de restrição nutricional severa, o que normalmente acontece é que como o aporte de energia fornecido pela alimentação não é suficiente para suprir a demanda energética que o animal necessita. Sendo assim, é desencadeada a intensificação da mobilização de reservas corporais. Nessas circunstâncias, os lipídeos componentes da reserva corporal são mobilizados e os ácidos graxos não esterificados (NEFA) produzidos, são levados ao fígado, para serem oxidados e, então, produzir energia. Essa rota é dependente do constante suprimento de oxalacetato oriundo do propionato, que, em razão da diminuição da ingestão, todo o acetilCoA produzido, que deveria condensar-se com oxalacetato no ciclo de Krebs, terá que ser convertido a corpos cetônicos, sendo eles o acetoacetato, beta hidróxido butirato (BHB) e acetona, que são solúveis no sangue e podem ser excretados na urina (GONZÁLEZ e SILVA, 2006).

Os minerais também têm grande importância nas atividades metabólicas, podendo acarretar em redução nos índices produtivos, mesmo em níveis subclínicos (SPEARS, 2003). Dentre as deficiências minerais mais comuns na nutrição de ruminantes estão, principalmente, as de cálcio, fósforo e magnésio, particularmente durante a gestação e quando se trata de primíparas (por ainda estarem em fase de crescimento), que são os que exercem maior demanda no desenvolvimento do tecido ósseo; sendo, portanto, os indicadores para avaliar o metabolismo mineral, tornando possível a detecção de possíveis desequilíbrios na dieta (MORAES *et al.*, 1999).

O cálcio e o fósforo são dois macroelementos com funções altamente correlacionadas e ambos são constituintes dos ossos e dos dentes, na forma de hidroxiapatita. O cálcio é responsável por atuar como mensageiro intracelular para transmissão de impulsos nervosos, contração muscular, constrição e relaxamento dos vasos sanguíneos; enquanto o fósforo está envolvido nos processos de utilização e transferência de energia, uma vez que participa na produção de adenosina trifosfato (ATP) e adenosina difosfato (ADP), além de compor os ácidos nucleicos e fosfolípidos, sendo, ainda, responsável por manter o equilíbrio ácido-básico (ROSA, 1994).

Uma das consequências de uma dieta deficiente em cálcio e fósforo são as alterações no desenvolvimento ósseo, raquitismo e crescimento retardado, principalmente em animais jovens, no auge do crescimento (CONRAD *et al.*, 1985).

A deficiência de P é um estado predominante em animais alimentados em pastagens (TOKARNIA, 1988). Nos pastos nativos ou cultivados da região de cerrado do Brasil, as concentrações de fósforo são quase insuficientes, para suprir as exigências das diferentes categorias e manter o bom nível de produção, em especial no período das águas (ROSA,

1994). Os sintomas da carência de P podem manifestar-se, no início, por redução da ingestão do alimento, seguindo-se perda de peso, apatia geral, redução da fertilidade, alterações ósseas (deformidades e fraturas), endurecimento das articulações, claudicação, apetite alterado (alotriofagia), caracterizado por mastigar materiais estranhos à dieta, como ossos, couro, madeira e pedras.

O magnésio é um cátion extremamente distribuído no corpo do animal. Por exemplo, o corpo de uma cabra de 55kg contém aproximadamente 18 g de Mg. A maior parte do Mg no corpo (70%) está presente no esqueleto, 25% na massa muscular e apenas 1% está no espaço extracelular (GRACE, 1983). Apesar de necessário para todas as espécies, a incidência de hipomagneseemia, especialmente, em certas regiões, estimulou a estudo do magnésio para ruminantes. Considera-se que o metabolismo desse mineral não está sob controle hormonal e a sua reposição para os fluidos extracelulares é dependente dos *pools* de estoque nos ossos e tecidos. A carência em magnésio no organismo animal leva à hipomagneseemia, principalmente em animais jovens a pasto, com rápidas taxas de crescimento, ingerindo pastagens com teores reduzidos do mineral (BROZOS *et al.*, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na qualificação do assunto abordado nesta revisão, foi mostrada a importância da utilização de parâmetros bioquímicos como ferramenta para avaliação do *status* metabólico de caprinos ao longo da restrição nutricional. As informações disponibilizadas neste estudo são essenciais para o fomento da eficiência produtiva da caprinocultura no Brasil e fundamental para entender as modificações ocorridas no perfil metabólico-hormonal, no intuito de auxiliar na monitorização das condições corporais e nutricionais do rebanho.

Pesquisas que abordem a nutrição animal mais a fundo são fundamentais, uma vez que, no passado, pouca atenção foi dada ao estudo de outras vertentes, dentro dessa linha de pesquisa, como, por exemplo, os desafios nutricionais que são impostos aos caprinos, seja pela escassez de alimentos em regiões com baixo índice pluviométrico, pela variação sazonal ou até mesmo devido às estratégias de gestão.

Gerar conhecimento sobre os ruminantes objetivando conhecer o metabolismo profundamente e os meios de minimizar os impactos causados no desempenho do animal pelo menor consumo de alimento, devido às condições atuais do país e do mundo (questões financeiras e ambientais) é um processo lento, porém definitivo. Os resultados deste estudo

aumentarão o conhecimento sobre a eficiência da utilização de alimentos e sobre o metabolismo dos ruminantes, os quais terão enorme impacto na abertura de novas fronteiras para a pecuária e também na redução das emissões de gases de efeito estufa, o que refletirá diretamente no aumento do uso sustentável dos recursos.

REFERÊNCIAS

- ARTHAUD, V.H.; MANDIGO, R.W.; KOCH, R.M.; KOTULA, A.W. Carcass composition, quality and palatability attributes of bulls and steers fed different energy levels and killed at four ages. *Journal Animal Science*, v.44, n.1, p.53-64, 1977.
- BAUMAN, D.E.; PEEL, C.J.; STEINHOOR, W.D.; REYNOLDS, P.J.; TYRRELL, H.F.; BROWN, A.C.; HAALAND, G.L. Effect of bovine somatotropin on metabolism of lactating dairy cows: Influence on rates of irreversible loss and oxidation of glucose and non esterified fatty acids. *The Journal of Nutrition*, v.118, n.8, p.1031-1047, 1988.
- BERESKIN, B.; STEELE, N.C.; MITCHELL, A.D. Selection line x diet interaction for two lines of pigs fed 12 or 14% protein diets. *Journal of Animal Science*, v.68, p.193-201 1990.
- BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R.M. *New concepts of cattle growth*. Sydney: Sydney University Press, 240p., 1976.
- BOIN, C.; TEDESCHI, L.O. Sistemas intensivos de produção de carne bovina: II. Crescimento e acabamento. In: *Simpósio sobre pecuária de corte*, 4. Piracicaba. Anais FEALQ, p.205-228, 1997.
- BROZOS, C.; MAVROGIANNI, V.S.; FTHENAKIS, G.C. Treatment and control of periparturient metabolic diseases: pregnancy toxemia, hypocalcemia, hypomagnesemia. *Veterinary Clinical Food Animal*. v.27, n.3, p.105-113, 2011.
- CHIBA, L.I.; KUHLEERS, D.L.; FROBISH, L.T.; JUNGST, S.B.; HUFF-LONERGAN, E.J.; LONERGAN, S.M.; CUMMINS, K.A. Effect of dietary restrictions on growth performance and carcass quality of pigs selected for lean growth efficiency. *Livestock Production Science*. v.74, n.1, p.93-102, 2002.
- CHILLIARD, Y. Revue bibliographique: variations quantitatives et metabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au corn du cycle gestation-lactation. *Reproduction Nutrition Development*, v.27, n. 1, p.327-398, 1987.
- CONRAD, J.H.; MCDOWELL, L.R.; ELLIS, G.L.; LOOSLI, J.K. *Mineral para ruminantes em pastejo em regiões tropicais*. Gainesville: Department of Animal Science, University of

Florida, 90p., 1985.

CONTRERAS, P.A.; WITTWER, F.; BÖHMWALD, H. Uso dos perfis metabólicos no monitoramento nutricional dos ovinos. In: GONZÁLEZ, F.H.D.; BARCELLOS, J.O.; OSPINA, H. (Ed.) Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre: UFRGS, p.75-88, 2000.

COSTA, R.G.; RESENDE, K.T.D.; RODRIGUES, M.T.; ESPECHIT, C.B.; QUEIROZ, A.C.D. Retenção de minerais por cabras durante a gestação. *Agropecuária Técnica*, v.26, n.2, p.129-133, 2005.

DE CAXIAS-NORTE, R. D. Influência da diferença cátion aniônica da dieta sobre o balanço do fósforo e magnésio em ovinos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.56, n.3, p.363-369, 2004.

DISKIN, M.G.; MACKEY, D.R.; ROCHE, J.F.; SREENAN, J.M. Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science*, v.78, n.3, p.345-370, 2003.

DOREAU, M.; MICHALET-DOREAU, B.; GRIMAUD, P.; ATTI, N.; NOZIÈRE, P. Consequences of underfeeding on digestion and absorption in sheep. *Small Ruminant Research*, v.49, n.3, p.289-301, 2003.

FERREIRA, M.D.A.; VALADARES FILHO, S.D.C.; COELHO DA SILVA, J.F.; VALADARES, R.; PAULINO, M.; CECON, P.R. Composição corporal e exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de bovinos FI Simental x Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, v.2, p.352-360, 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso junho de 2017.

FORBES, J.M. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Wallington: CAB. 532p., 1995.

GOMES, H.F.B. Desempenho, características de carcaça e modelos de predição da composição tecidual em caprinos de diferentes grupos raciais. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 130p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, 2008.

GONZALEZ, F.H.; BARCELLOS, J.O.J.; OSPINA PATINO, H.; RIBEIRO, L.A.O. Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais. Porto Alegre: Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GONZÁLEZ, F.H.D.; SCHEFFER, J.F.S. Perfil sanguíneo: ferramenta de análise clínica,

metabólica e nutricional. In: González, F.H.D., Campos, R. (Org.). I Simpósio de Patologia Clínica da Região Sul do Brasil. Porto Alegre: Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.73-89, 2003.

GONZÁLEZ, F.H.D.; SILVA, S.C. Introdução à bioquímica clínica veterinária. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. v.1, 360p., 2006.

GRACE, N.D.; ULYATT, M.J.; MACRAE, J.C. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. III. The movement of Mg, Ca, P, K and Na in the digestive tract. *Journal Agriculture Science*, v.82, n.2, p.321-330, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <www.ibge.gov.br/ppm-2014>. Acesso junho de 2017.

JACOBS, J.A.; HURST, J.C.; MILLER, HOWES, A.D.O; GREGORY, T.L. Effects of testosterone inheritance on lamb carcass and composition and quality. *Journal Animal Science*, v.34, n.1, p.30, 1972.

JORGE, A.M.; FONTES, C.A.D.A.; PAULINO, M.F.; GOMES JÚNIOR, P. Tamanho relativo dos órgãos internos de zebuínos sob alimentação restrita e *ad libitum*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.2, p.374-380, 1999.

KANEKO, J.J.; HARVEY, J.W.; BRUSS, M.L. *Clinical biochemistry of domestic animals*. San Diego, Academic Press. 1997.

KELLY, J. M. The use of metabolic profiles in dairy cows. *Cattle Practice*, v.18, n.1, p.46-48, 1996.

KOZLOSKI, G. *Bioquímica de ruminantes*. 3ª Ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 280p., 2011.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. *Principles of biochemistry*, 2ª ed. New York: Worth Publishers, 1013p., 2000.

LIMA, L.D. Desenvolvimento e composição química do útero grávido, da glândula mamária e as mudanças corporais em cabras durante a gestação. Jaboticabal-SP/FCAV-Unesp (Tese de Doutorado em Zootecnia), 146p., 2011.

MAHGOUB, O.; KADIM, I.T.; AL-SAQRY, N.M.; AL-BUSAIDI, R.M. Effects of body weight and sex on carcass tissue distribution in goats. *Meat Science*, v.67, n.4, p.577-585, 2004.

MERSMANN, H.J.; MACNEIL, M.D.; SEIDEMAN, S.C.; POND, W.G. Compensatory growth in finishing pigs after feed restriction. *Journal of Animal Science*, v.64, n.4, p.752-764, 1987.

MORAES, S.S.; TOKARNIA, C.H.; DOBEREINER, J. Deficiências e desequilíbrios de microelementos em bovinos e ovinos em algumas regiões do Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.19, n.1, 1999.

MORAND-FEHR, P. Recent developments in goat nutrition and application: A review. *Small Ruminant Research*, v.60, n.2, p.25-43, 2005.

MORRISON, C.D.; WOOD, R.; MCFADIN, E.L.; WHITLEY, N.C.; KEISLER, D.H. Effect of intravenous infusion of recombinant ovine leptin on feed intake and serum concentrations of GH, LH, insulin, IGF-1, cortisol, and thyroxine in growing prepubertal ewe lambs. *Domestic Animal Endocrinology*, v.22, n.2, p.103-112, 2002.

OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; HANSON, C.F. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science*, v.71, n.3, p.3138-3150, 1993.

PAYNE, J.M.; PAYNE, S. *The Metabolic Profile Test*. Oxford, Oxford University Press.1987.

POND, W.G.; JUNG, H.G.; VAREL, V.H. Effect of dietary fiber on young adult genetically lean, obese and contemporary pigs: body weight, carcass measurements, organ weights and digesta content. *Journal of Animal Science*, v.66, n.3, p.699-706. 1988.

RESENDE, K.T. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G.; *Nutrição de Ruminantes*, p.287-310, 2006.

ROSA, I.V. Suplementação mineral de bovinos sob pastejo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1994, Campinas. Anais... [S.l.]: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.213-243, 1994.

RUSSEL, A.J., WRIGHT, F. The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows. *Animal Production*, v.37, n.2, p.335-343, 1983.

SAHLU, T.; GOETSCH, A. L.; LUO, J.; NSAHLAI, I.V.; MOORE, J.E.; GALYEAN, M.L.; JOHNSON, Z.B. Nutrient requirements of goats: Developed equations, other considerations and future research to improve them. *Small Ruminant Research*, v.53, n.2, p.191-219, 2004.

SCHEUS, V.V.A.M.; MENSINK, G.; BOEKHOLT, H.A.; KOOPMANSCHAP, R.E. Relation of protein synthesis and amino acid oxidation: effects of protein deprivation. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v.33, n.3, p.328-331, 1985.

SILVA, F.F.; FILHO, S.D.C.V.; ÍTAVO, L.C.V.; VELOSO, C.M.; PAULINO, M.F.; VALADARES, R.F.D.; GALVÃO, R.M. Consumo, desempenho, características de carcaça

e biometria do trato gastrintestinal e dos órgãos internos de novilhos nelore recebendo dietas com diferentes níveis de concentrado e proteína. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.4, p.1849-1864, 2002.

SILVA, N.C.; HÄRTER, C.J.; FIGUEIREDO, F.O.; LEITE, R.F.; NETO, J.M.S.; NEGRÃO, J.A.; RESENDE, K.T. Growing goats of different sexes have distinct metabolic responses to continuous feed restriction. *Animal Production Science*, v.56, n.5, p.754-767, 2016.

SPEARS, J.W. Trace mineral bioavailability in ruminants. *Journal of Nutrition*, v.133, n.4, p.1506-1509, 2003.

TOKARNIA, C.H. Situação atual e perspectiva da investigação sobre nutrição mineral em bovinos de corte no Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.8, n.1/2, p.1-16, 1988.

WEBSTER, A.J.F. Factors affecting the body composition of growing and adult animals. *Proceeding of Nutrition Society, London*, v.45, n.1, p.45-53, 1986.

WITTWER, F.; OPITZ, H.; REYES, J.; CONTRERAS, P.; BÖHMWALD, H. Diagnóstico de desbalance nutricional mediante la determinación de urea en muestras de leche de rebaños bovinos. *Archivos de Medicina Veterinaria*, v.25, p.165-172, 1993.