

MACROMINERAIS: DEFICIÊNCIAS E INTERAÇÕES COM A PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

Nhayandra Christina Dias e Silva¹, Tássia Ludmila Teles Martins², Iran Borges³

SAP 17665 Data envio: 25/08/2018 Data do aceite: 01/10/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, jul./set., p. 263-271, 2018

RESUMO - O objetivo deste estudo é explicitar a importância dos macrominerais cálcio, fósforo, sódio, potássio e magnésio na nutrição de ruminantes, suas funções e mecanismos fisiológicos em que estão envolvidos, bem como fornecer ao leitor vários resultados de trabalhos científicos que abordaram esses minerais. Os minerais constituem a fração inorgânica do corpo dos animais e são definidos como essenciais quando alguma função vital exercida pelo mineral no organismo é comprovada, sendo então divididos em macro e microminerais em função da quantidade exigida pelo organismo. Para que os programas de suplementação mineral dos animais sejam eficazes, é importante considerar não somente a composição mineral dos alimentos a serem fornecidos, mas também as necessidades diárias dos animais ao longo de todas as fases de sua vida para manter adequadamente seu crescimento, suas funções biológicas e sua produção. Entretanto, poucos avanços foram observados na última década sobre a suplementação mineral e a produção animal. Suprir essa carência é fundamental para produzir dados mais consistentes e voltados para suas reais necessidades. Nosso trabalho, além de levar ao leitor informações importantes sobre a nutrição mineral, também pode auxiliar diretamente pecuaristas na suplementação de macrominerais para ruminantes por meio dos conhecimentos expostos neste trabalho.

Palavras-chave: compostos inorgânicos, crescimento, metabolismo, produção.

MACROMINERALS: DEFICIENCIES AND INTERACTIONS WITH RUMINANT PRODUCTION AND NUTRITION

ABSTRACT - The objective of this study is to explain the importance of the macrominerals calcium, phosphorus, sodium, potassium and magnesium in ruminant nutrition, their functions and the physiological mechanisms they are involved, as well as to provide the reader with several results of scientific studies on these minerals. Minerals constitute the inorganic fraction of the body of animals and are defined as essential when some vital function exerted by the mineral in the organism is proven, being then classified into macro and microminerals according to the quantity required by the organism. For any mineral supplementation program to be effective, it is important to consider not only the mineral composition of the food to be supplied, but also the daily needs of the animals throughout all stages of life to properly maintain their growth, their physiological functions and their production. However, the focus of most animal nutrition studies is on matters related to energy and protein and little importance is given to minerals. Meeting this need is critical to producing more consistent data that addresses your real needs. Our work, in addition to providing the reader with important information about mineral nutrition, can also directly assist cattle ranchers in the supplementation of macrominerals for ruminants through the knowledge exposed in this work.

Keywords: inorganic components, growth, metabolism, production.

INTRODUÇÃO

Os minerais constituem a fração inorgânica do corpo dos animais e estão presentes em proporções e quantidades variáveis nos tecidos corporais. Constituem aproximadamente 4% do peso vivo do animal e têm especificidade de funções, podendo exercer funções estruturais, serem cofatores enzimáticos, atuarem na transmissão de impulsos nervosos e participarem do armazenamento de energia, do transporte de compostos para o interior celular, das contrações musculares e da

manutenção da osmolaridade celular (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

São definidos como essenciais quando alguma função vital exercida pelo mineral no organismo é comprovada, sendo então divididos em macro e microminerais em função da quantidade exigida pelo organismo. Segundo o NRC (2006), são considerados macrominerais o cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), cloro (Cl), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S).

¹Pós-Doutoranda em Ciência Animal, Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Campus Alfenas, Rodovia MG 179, Km 0, CEP 37132-440, Alfenas, Minas Gerais, Brasil. Email: nhayandra_dias@yahoo.com.br. *Autora para correspondência.

²Professora Dr.^a, Faculdade de Ciências e Tecnologias de Campos Gerais (FACICA), rua Santa Teresinha, n. 389, Centro, CEP 37160-000, Campos Gerais, Minas Gerais, Brasil. E-mail: talutema@yahoo.com.br.

³Professor Dr, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. E-mail: iran@vet.ufmg.br.

Para que os programas de suplementação mineral dos animais sejam eficazes, deve-se considerar não somente a composição mineral dos alimentos a serem fornecidos, mas as necessidades diárias dos animais ao longo de todas as fases de sua vida para manter adequadamente seu crescimento, suas funções biológicas e sua produção (SILVA, 2012).

Vários fatores interferem na composição corporal mineral do animal e consequentemente na quantidade e local de deposição dos tecidos, como o genótipo, sexo, idade, alimentação e categoria animal (AFRC, 1993). Por isso, o seu conhecimento se torna importante para a implantação de programas alimentares, a fim de melhorar aspectos relacionados à produção, reprodução e imunidade. Entretanto, poucos avanços foram observados na última década sobre a suplementação mineral e a produção animal.

Diante desse contexto, objetivou-se com este estudo, explicitar a importância dos macrominerais cálcio, fósforo, sódio, potássio e magnésio na nutrição de ruminantes, suas funções, deficiências e interações, bem como fornecer ao leitor vários resultados de trabalhos científicos que abordaram esses minerais como foco de estudo.

DESENVOLVIMENTO

Funções dos macrominerais

Os minerais são os constituintes inorgânicos do corpo animal e encontram-se em quantidades geralmente variadas em razão do tecido ou órgão, sendo que estão sempre em pequenas proporções nos tecidos corporais, exceto ósseo, quando comparados à gorduras e proteínas. Podem corresponder até 4% do peso vivo do animal e têm especificidade de funções muito distintas (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

De acordo com McDowell (1992), os elementos carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, são aqueles que compreendem cerca de 96% do corpo dos animais, apresentando-se sempre ligados a moléculas simples ou complexas, e que dos 4% restante, cerca de 3,5% são compreendidos pelos principais cátions e ânions do corpo animal (Ca, P, K, Na, Cl, S e Mg), sendo que o Ca representa cerca de 46% desse total e o P aproximadamente 29%, já os microminerais, contribuem com cerca de 0,3% desse total.

Segundo Underwood e Suttle (1999), o cálcio (Ca) e o fósforo (P) são dois macrominerais com funções altamente correlacionadas, ambos são constituintes dos ossos e dos dentes na forma de hidroxiapatita $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$. O Ca atua como mensageiro intracelular para transmissão de impulsos nervosos, contração muscular e constrição e relaxamento dos vasos sanguíneos, enquanto o P está envolvido nos processos de utilização e transferência de energia, pois participa na produção de adenosina trifosfato (ATP) e adenosina difosfato (ADP). Além disso, é um componente dos ácidos nucleicos, fosfolipídeos, sendo ainda responsável por manter o equilíbrio ácido-básico ($HPO_4^{2-} : H_2PO_4^1$).

Quando há uma situação de diminuição ou aumento na concentração plasmática de Ca ou de P, passam a atuar no organismo dois hormônios principais na homeostase destes elementos; a calcitonina (CT) e o hormônio da paratireoide (PTH) (FRANDSON et al., 2005). Segundo os mesmos autores, o PTH é o maior controlador dos níveis de Ca e P no sangue, pois estimula a liberação de Ca e P dos ossos, diminuindo a excreção de Ca e aumentando a excreção de P pelos rins, promovendo a formação de vitamina D ativa pelos rins. A ação do PTH sobre os osteócitos promove a liberação de Ca e P dos estoques associados com os fluidos extracelulares e estimula a degradação dos ossos pelos osteoclastos enquanto inibe a formação dos ossos pelos osteoblastos. O efeito final do PTH, portanto, é elevar a concentração de Ca sanguíneo e diminuir a do P pelo aumento da excreção urinária desse último.

O sódio (Na) e o potássio (K) atuam em conjunto em diversas funções no organismo animal como na manutenção da pressão osmótica, balanço ácido-base, balanço cátion-aniônico do fluido corporal, contração muscular e transmissão de impulsos nervosos. A bomba Na/K ATPase é responsável por manter uma concentração K intracelular de 150mM e extracelular de 5mM, regulando todas as funções supracitadas. Como a interação entre o Na e K ocorre entre os fluidos corporais, o fornecimento e a qualidade da água também irão interferir com o metabolismo destes elementos. O Na nos ossos representa 30 a 45% do Na total do corpo, no entanto, só aquele ligado à superfície do osso faz parte do *pool* trocável do Na e a disponibilidade de Na no osso diminui com a maturidade. O Na nos fluidos corporais representa o *pool* ativo de Na (MARTIN, 2005).

O magnésio (Mg), assim como o potássio (K) e o sódio (Na), é um cátion extremamente distribuído no corpo do animal. A maior parte do Mg no corpo (70%) está presente no esqueleto, 25% na massa muscular e apenas 1% está no espaço extracelular (GRACE, 1986). Apesar de necessário para todas as espécies, a incidência de hipomagnesemia, especialmente, em certas regiões, estimulou o estudo do Mg para ruminantes. Considera-se que o metabolismo do Mg não está sob controle hormonal, e a reposição de Mg para os fluidos extracelulares é dependente dos *pools* de estoque nos ossos e tecidos (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

O enxofre (S) é um mineral responsável por compor proteínas, vitaminas e inúmeros hormônios. Uma particularidade dos ruminantes em relação aos não ruminantes é que os microorganismos ruminais possuem a capacidade para converter o S inorgânico em compostos orgânicos sulfurosos, que consequentemente, podem ser utilizados pelo animal. Os sinais de deficiência de S em ruminantes englobam a redução do apetite, perda de peso, fraqueza, excessiva salivação, lacrimação, e tristeza, podendo resultar em morte. Diante da deficiência de S, a síntese de proteína microbiana é reduzida e o animal apresenta sinais de desnutrição proteica (SHIRLEY, 1976).

Deficiência dos macrominerais em ruminantes

A deficiência de Ca em pastagens é rara nas regiões tropicais. Um aspecto importante é a presença de oxalato em algumas forrageiras tropicais, que complexa o P, tornando-o indisponível para a utilização de alguns animais. Embora seja uma verdade com respeito a equinos, dificilmente poderia aplicar-se a bovinos, que têm uma capacidade muito maior de utilizar o cálcio sob a forma de oxalato (MORAES, 2001). Os oxalatos são degradados no rúmen, pois há uma bactéria gastrointestinal, *Oxalobacter formigenes*, que metaboliza o oxalato e transforma-o em ácido fórmico e CO₂, disponibilizando o Ca para o animal. A alta ingestão de oxalato pode levar a intoxicação, provocando deficiências nutricionais, lesões renais, lesões no sistema nervoso central e até causar a morte do animal. Os níveis considerados tóxicos para bovinos estão acima de 4% de oxalatos totais (OT), com base na matéria seca e valores mais elevados do que este podem estar presentes em certas gramíneas tropicais, como amostras de *Setaria anceps* cv. Kazungula que, aos 7 dias de rebrota, apresentou 5,33% OT na planta inteira. Também *Brachiaria humidicola* com 0,89% OT x *B. ruziziensis* com 0,18% OT, por exemplo (RIBEIRO E MEDEIROS, 2005). Mesmo assim, os bovinos têm uma capacidade de utilizar o Ca sob a forma de oxalato (BLANEY et al., 1982).

Assim, é muito difícil de estabelecer-se deficiência de Ca em áreas de pastagens brasileiras, a não ser em algumas regiões ou condições atípicas. Por exemplo, trabalhos realizados em diferentes regiões brasileiras têm demonstrado que apenas algumas regiões do Pantanal Sul-Matogrossense apresentam concentrações deficientes de cálcio na dieta (MORAES, 2001).

Uma dieta deficiente de Ca pode ocasionar, principalmente em animais jovens, alterações no desenvolvimento ósseo, raquitismo e crescimento retardado. Os sintomas são de articulações doloridas e inchadas, dorso arqueado, claudicações. Importante enfatizar que a dosagem plasmática de Ca não permite confirmar a deficiência, uma vez que o Ca circulante está sujeito a um rígido controle do mecanismo homeostático (CONRAD et al., 1985).

A deficiência de P é um estado predominante em animais alimentados em pastagens (TOKARNIA et al., 1988). Nos pastos nativos ou cultivados da região de cerrado do Brasil, as concentrações de fósforo, principalmente devido ao grau de degradação das pastagens dessa região, 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. Uma das doenças que pode ocorrer devido ao apetite depravado apresentado pelos animais deficientes

em P é o botulismo, causado pela intoxicação produzida pelas toxinas do *Clostridium botulinum*. Os animais se alimentam de cadáveres ou ossadas nas pastagens onde está presente este micro-organismo (ROSA, 1994).

Diferentemente dos estoques de Ca, P e Mg nos ossos, não há reservas de K e Na além daquele encontrado no músculo e células nervosas, por isso uma certa quantidade deste mineral deve ser fornecida, evitando assim, deficiências e consequentemente, disfunções celulares. Essa informação conflita com a reserva de Na nos ossos, o que pode estar ligado ao fato de ser um estoque não lábil. O K é excretado no intestino em fluidos digestivos, mas a maior parte deste é reabsorvida no próprio intestino. A absorção no intestino parece ocorrer por difusão simples e o excesso de K é eliminado via urina. Altas ingestões de Na podem elevar a excreção urinária de K. A aldosterona promove a secreção de K pelas células principais, levando a um aumento da perda de K pela urina. Ingestões excessivas de K que resultam em efeitos tóxicos não são comuns de ocorrer, pois o excesso de K é rapidamente excretado, reduzindo sua concentração plasmática e mantendo assim o balanço do K. Sinais clínicos de toxicose por K incluem insuficiência cardíaca, edema, fraqueza muscular e morte. Aumentando o Mg na dieta pode-se promover proteção da toxicidade por K (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

Sinais de deficiência de Na são evidentes quando os animais passam a lamber superfícies, apresentam fraqueza, perda de peso, diminuição da produção de leite e até morte (HAFEZ; DYER, 1969; UNDERWOOD; SUTTLE, 1999). O primeiro sinal da deficiência dietética de Na é um apetite exagerado para o NaCl, manifestando-se pelo hábito de roer, lamber ou chupar madeira, lamber ou ingerir solos e lamber o suor de outros animais. A avidez pelo NaCl estabelece-se após poucas semanas de uma dieta deficiente. Isto implica na suplementação de NaCl em uma base constante, principalmente, aos animais em pastejo.

A maioria das gramíneas das regiões tropicais é pobre em Na (MORRIS, 1980). Análises de várias pastagens de áreas extensas onde ruminantes são produzidos no Brasil mostraram que os teores de Na eram extremamente baixos (CAVALHEIRO; TRINDANDE, 1992). Como ilustração, em um estudo feito em *Brachiaria decumbens* na região central de Cerrados (SOUSA et al., 1986), o Na foi relatado na concentração de 76,9 e 28,6 mg kg⁻¹, nos períodos de chuva e seca, respectivamente.

Além da falta de suplementação de NaCl que pode acontecer nas fazendas, a deficiência em ovelhas pode advir de parasitismo gastrointestinal que leva a um aumento na excreção de Na pelas fezes (OOSTERHUIS, 1991). O mesmo autor diagnosticou deficiência de Na em cordeiros desmamados infectados com nematóides intestinais e abomasais e sugeriu que as infecções induziram a deficiência pelo aumento do efluxo de Na para dentro do abomaso, associado também com a inibição da absorção de Na no intestino de cordeiros com diarreia.

Diferente dos resultados relatados no trabalho anterior, Ortolani (2000) estudando os efeitos do

Haemonchus contortus (espécie de nemátodo parasita de ruminantes), sobre o *status* do Na concluiu que embora a infestação por *H. contortus* promovesse uma perda expressiva de Na no abomaso, existiu, em seguida, uma maior absorção intestinal compensatória para prevenir que ocorresse um estado de deficiência desse macroelemento nos animais. Denton e Sabine (1961) demonstraram que ovelhas com deficiência de Na eram capazes de corrigir suas carências selecionando soluções de bicarbonato de sódio ou de cloreto de sódio para beber. O bicarbonato de sódio foi tão efetivo na recuperação do animal carente quanto o cloreto de sódio, indicando que o elemento realmente carente era o Na. Também, Arnold (1964) observou que ovelhas com deficiência em Na selecionavam, preferencialmente, gramíneas com alto conteúdo de Na.

Diferentemente dos trabalhos citados acima, Wilson (1968) simulou em carneiros um excesso de Na no organismo, ou pela privação da ingestão de água ou pela oferta de água com NaCl. Este autor observou que, mesmo podendo escolher entre duas dietas, com alto e baixo conteúdo de Na, os carneiros pouco alteraram a proporção da ingestão de cada ração. Assim, o excesso de Na no organismo não provocou mudanças no comportamento dos animais como as deficiências provocam.

A deficiência de K pode ser causada por ingestões inadequadas de K, consumo alto de NaCl e condições estressantes. As mudanças nas concentrações de K no corpo associadas ao sexo e idade estão relacionadas com diferenças em massa muscular. Sinais de depleção de K incluem anorexia, crescimento retardado, irritabilidade, paralisia e tetania (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

A carência em Mg leva à hipomagnesemia, principalmente em animais jovens a pasto, com rápidas taxas de crescimento ingerindo pastagens com teores reduzidos de Mg. Esta doença é rara em ovelhas e, normalmente, acontece em sistemas mais intensivos, onde a dieta destes animais é baseada em concentrados (BROZOS et al., 2011). A etiologia da hipomagnesemia é complexa, com a interação de inúmeros fatores que podem influenciar a conteúdo de Mg na dieta, assim como sua disponibilidade e absorção. O aumento de K, redução no conteúdo de Na na dieta, juntamente com o aumento na produção de leite são os principais fatores de risco desta doença (DUA; CARE, 1995).

Os sinais clínicos são ativação espontânea dos neurônios no sistema nervoso central pela diminuição do Mg plasmático, levando à tetania (MARTENS; SCHWEIGEL, 2000). São raros os relatos de deficiência de magnésio em animais mantidos em pasto no Brasil. A susceptibilidade dos animais à deficiência de magnésio acentua-se à medida que os mesmos avançam em idade, devido a uma dificuldade progressiva em mobilizar o mineral do esqueleto, e a uma redução da capacidade de absorção intestinal do elemento (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999).

Mecanismos fisiológicos dos macrominerais em ruminantes

De acordo com os estudos que serão mencionados a seguir, será possível perceber que os macrominerais participam de vários mecanismos fisiológicos e que, o seu conhecimento torna-se essencial para pesquisas atuais e futuras.

No que tange as funções do Ca, Phillipson e Storry (1965) estudaram a absorção de Ca no rúmen e intestino delgado e demonstraram que o epitélio ruminal é relativamente impermeável ao Ca e não conseguiram demonstrar captação significativa deste elemento, mesmo quando as concentrações de Ca eram seis vezes maiores do que as encontradas normalmente no rúmen. Perdas de Ca não foram demonstradas, nem no duodeno, nem no íleo, e absorção de Ca nestes locais foi menor do que as quantidades de Ca que entraram no intestino.

No entanto, a partir de outros estudos *in vivo* e *in vitro* foi reconhecido que o rúmen representava um local onde ocorria significativa absorção de Ca em ovinos (GRACE et al., 1974; BEN-GHEDALIA et al., 1982; SCHRÖEDER et al., 1997). Schröder et al. (1999) pesquisaram o transporte ativo de Ca no rúmen e relataram que os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) estimularam o fluxo de Ca pela parede ruminal. Eliminando estes AGCC, o fluxo de Ca foi reduzido. A concentração diminuída de Ca na dieta elevou o calcitriol plasmático, mas não teve efeito na absorção ativa de Ca na parede ruminal (SCHRÖEDER et al. 1999). Outra observação ainda feita por Schröder et al. (1999) foi que a presença de um mecanismo de troca de Ca/H na membrana apical das células epiteliais do rúmen, que dependem da absorção desses ácidos graxos e pareceu não estar sob controle do calcitriol.

Wan Zahari et al. (1994) avaliaram os efeitos da alimentação de cordeiros em crescimento com dietas que supriam normalmente as necessidades de Ca, mas supriam em 3 vezes as necessidades de P. Os resultados mostraram que aumentando o conteúdo de P acima do normal não refletiu em efeito adverso sobre a absorção e retenção de Ca. A concentração plasmática de P aumentou e a de Ca foi pouco reduzida, mas essas mudanças não foram acompanhadas por quaisquer alterações plasmáticas nos teores do hormônio da paratireoide e ou da vitamina D (1,25 dihidroxivitamina D). Assim, nenhum efeito adverso na mineralização do esqueleto foi visto ao se alimentar cordeiros com dietas ricas em P, contanto que o mínimo das necessidades de Ca fosse fornecido. Tem sido mostrado que animais ruminantes toleram variações na relação Ca:P sem nenhuma interferência na utilização de ambos os macroelementos (LUEKER; LOFGREEN, 1961; YOUNG et al., 1966). Relações Ca:P maiores do que 7:1 e menores que 1:1 podem interferir com o metabolismo do Mg.

Braithwaite (1978) investigou as mudanças na concentração de Ca na dieta sobre o metabolismo do Ca em carneiros oferecendo aos animais dietas contendo baixa, normal e alta concentrações de Ca (27,4; 115,2 e 180,4mg/kg de peso vivo, respectivamente). Este pesquisador observou que quando os animais passaram da dieta com concentração normal de Ca para a dieta com alta

concentração deste mineral a excreção de Ca aumentou menos do que a ingestão deste, resultando em um aumento na retenção do Ca, que foi temporário, pois foi seguido de um rápido aumento na excreção de Ca, a fim de restabelecer o equilíbrio entre excreção e ingestão.

Além disso, Braithwaite (1978) relatou que uma mudança na ingestão correspondeu em mudança na taxa de absorção, distorcendo o balanço do Ca. A taxa de absorção pareceu ser determinada pelo conteúdo de Ca da nova dieta introduzida, mas a eficiência de absorção parecia depender da dieta fornecida anteriormente à nova. Esse pesquisador também verificou que oferecendo uma nova dieta que continha Ca suficiente, os animais rapidamente alteravam sua eficiência de absorção de Ca até que eles estivessem absorvendo apenas o necessário para a manutenção.

Fredeen (1990) relatou que dietas com altos conteúdos de Ca e K e baixo Mg reduziram o balanço de Mg em ovelhas, aparentemente por reduzir absorção do Mg. Isso foi associado com a baixa taxa de reabsorção óssea, mesmo durante casos repentinos de perda de Ca do *pool* trocável de Ca. Isto não resultou em hipocalcemia apesar da redução no tamanho do *pool* trocável, porque os animais responderam com aumentos na absorção de Ca. Ainda segundo este autor, as ovelhas que não estavam recebendo dieta pré-parto, que estimulam alta absorção de Ca, a hipomagnesemia poderia aumentar a susceptibilidade da parturiente à hipocalcemia, devido à combinação de efeitos das baixas reabsorção e absorção de Ca.

De acordo com Bravo et al. (2003), o P total excretado nas fezes possui duas frações: uma exógena composta pelo P da dieta que não foi absorvido e outra endógena, composta, principalmente, pela saliva, pelos sucos gástricos e restos celulares. Nos ruminantes, as fezes são a principal via de excreção do P, sendo que os valores médios de P excretado nas fezes correspondem a aproximadamente, 70% em relação ao P consumido (BRAITHWAITE, 1974). A maior fonte de fósforo endógeno é a saliva (cerca de 80%), estando correlacionado a fatores que influenciam a secreção salivar como consumo de MS, forma física e o conteúdo de P na dieta (BRAVO et al., 2003).

Borges et al. (2008) avaliaram a dinâmica do P no organismo de cordeiros Santa Inês alimentados com dietas com diversos níveis deste mineral, considerando as correlações entre os níveis de P consumido e de P no plasma, na saliva, no conteúdo ruminal, nas fezes, e urina.

Observaram-se correlações positivas entre o aumento do consumo de P e os teores desse mineral no plasma ($r = 0,64$), na saliva ($r = 0,86$), no conteúdo ruminal ($r = 0,82$), nas fezes ($r = 0,92$) e na urina ($r = 0,37$), comprovando que, quando absorvido, o P é distribuído no corpo pelo plasma. Após a saturação no organismo, o excesso é secretado via saliva, que segue para o rúmen, chegando ao intestino, é reabsorvido em menor quantidade e excretado via fezes. À medida que se elevaram os níveis de P na dieta, verificou-se aumento expressivo dos teores desse mineral na saliva, no plasma, no conteúdo ruminal e nas fezes.

Ovinos são tolerantes a concentrações de sal (NaCl) na água até 1,0%, mas são muito sensíveis quando essa concentração aumenta para 2,0%. Água fornecida contendo 1,3 a 1,5% de NaCl pode reduzir a ingestão de alimento, mas, quando a concentração é de 2,0%, pode causar severa redução na ingestão de alimento e, possivelmente, morte (PEIRCE, 1957). O diagnóstico de intoxicação por NaCl deve se basear no histórico de ingestão restrita de água e acesso irregular ao NaCl. A influência da ingestão de NaCl pela água sobre o balanço mineral de ovelhas foi estudado por Tomas et al. (1973). Foi oferecido às ovelhas água de chuva contendo 0,8 e 1,3% de NaCl como a única fonte de água. A excreção urinária de Ca, Mg, K, P, Na e Cl aumentaram com a ingestão da água salina. As excreções fecais de Ca, Mg e P não foram afetadas pela inclusão de NaCl na água, mas a excreção fecal de K foi diminuída enquanto as de Na e Cl aumentaram. A ingestão desta água salina pelas ovelhas resultou em queda nos balanços de Ca, P e K, e um aumento nos balanços de Na e Cl, não alterando o balanço de Mg. A ingestão de água salina também aumentou a taxa de filtração glomerular e o K plasmático.

Etschmann et al. (2009) estudando a adaptação do rúmen às mudanças de uma dieta, predominantemente, volumosa para uma concentrada, observaram que uma das adaptações funcionais do epitélio ruminal foi o aumento no fluxo de Na pelo aumento da atividade do transporte Na/H^+ , precedendo as mudanças morfológicas deste epitélio.

As necessidades de Na nos animais são suprimidas pelo fornecimento de NaCl. Os ruminantes podem ser mantidos por longos períodos, em dietas com baixos teores de NaCl devido a mecanismos eficientes de conservação. De acordo com Frandson et al. (2005), a maior parte do Na e K no filtrado glomerular nos rins é reabsorvido pelo túbulo proximal e alça de Henle.

A aldosterona, um hormônio mineralocorticoide, tem como função regular o transporte do Na e K no ducto coletor. Este hormônio age nas células principais dos ductos coletores promovendo a reabsorção de Na, quando o mesmo deve ser retido para se manter o balanço de Na. A regulação da secreção de aldosterona ocorre via sistema renina-angiotensina. Quando o Na deve ser retido, como em casos de dietas com baixo Na ou após perda de líquido extracelular, o sistema renina-angiotensina é ativado e a angiotensina II estimula as células do córtex da adrenal para secretar aldosterona.

Warner e Stacy (1972) mostraram que a salivacção foi mais importante que a absorção ruminal para restaurar as condições osmóticas normais a partir da introdução de água no rúmen devido a relação Na:K encontrada na saliva. De acordo com Morris (1980), a relação de Na e K na saliva pode ser considerada a maneira mais prática de avaliar o status de Na em ruminantes. Baixos teores de Na na dieta por um período curto de tempo induzem a produção de aldosterona. Beal et al. (1975) verificaram que em animais deficientes em Na, o fluxo salivar foi reduzido, assim como a concentração de Na na saliva.

Campbell e Roberts (1965) relataram que, cordeiros alimentados com dietas deficientes em K, tiveram menor retenção de N em relação aos animais que se alimentaram de dietas com médias e altas concentrações de K. O músculo esquelético dos cordeiros deficientes em K apresentou diminuição nas concentrações de K e aumento nas concentrações de Na, sugerindo que o K intracelular estava em depleção e o Na extracelular estava se movendo para o fluido intracelular, compensando então a deficiência catiônica.

Chester-Jones et al. (1989) trabalhando com cordeiros cruzados (Western x Suffolk e Suffolk x Finn) com teores crescentes de Mg na dieta observaram que com o aumentando da suplementação com Mg, elevou-se também a excreção deste elemento nas fezes e urina. Outra observação feita pelos autores foi a resposta linear do Mg no fígado, rins e fêmur aos crescentes níveis de Mg na dieta. Acompanhando esses resultados, o Mg no soro dos animais aumentou indicando a relação direta com a excreção fecal e urinária.

Os rins ajudam a manter a homeostase do Mg nos casos de hipomagnesemia (EBEL; GTINTHER, 1980). Allsop e Rook (1979) relataram que elevadas concentrações de Mg no plasma deprime a absorção e reabsorção de Mg no intestino. Em ovinos as convulsões decorrentes da tetania parecem acontecer quando as concentrações de Mg no líquido cérebro-espinhal forem reduzidas a 0,5mM (McCOY et al., 2001).

A absorção de Mg acontece, essencialmente, no rúmen e a secreção de Mg ocorre no intestino delgado. Durante a transição de pré-ruminante para ruminante a absorção de Mg como a sua percentagem ingerida diminui de 90% para 50% em cordeiros (SMITH, 1959); esse fato foi associado a uma mudança no local de absorção do Mg (DILLON; SCOTT, 1979). Em outras palavras, no processo em que o animal se torna um ruminante, ele parece perder parte de sua capacidade de absorver Mg no intestino. Estudos com epitélio ruminal e diferentes fontes de Mg demonstraram que o transporte de Mg para dentro da célula só ocorre quando este elemento se encontra livre ou na forma ionizada (LEONHARD et al., 1990).

Ben-Ghedalia et al. (1975) observaram que a solubilidade do Mg no intestino delgado foi máxima entre o piloro e 7 m a partir desse, dentro de uma faixa de pH que oscilava entre 2,6 a 7,02, e diminuía à medida que o pH aumentava. Isso indicou que o Mg, assim como outros minerais, apresenta solubilidade em soluções ácidas. Acidificação do conteúdo ruminal acontece com a fermentação e degradação de matéria orgânica, podendo potencializar a absorção de Mg (BEN-GHEDALIA et al., 1975). Porém, nem sempre o baixo pH favorece a absorção celular de Mg. Gabel et al. (1987) relataram que a redução do pH (<5,0) deprimiu a captação de Mg por reduzir a atividade Na/K ATPase, cuja atividade é responsável por fornecer energia à célula para a absorção de Mg.

Entre todos os fatores associados à deficiência por Mg em ruminantes, o potássio (K) da dieta é o fator que mais contribui na redução da absorção de Mg (GREENE et al., 1983; UNDERWOOD; SUTTLE, 1999). Uma

elevação da concentração de K na dieta (6, 24 e 48 g k⁻¹ de MS/dia) produziu redução na disponibilidade de Mg que foi calculada como:

$$\text{Ingestão de Mg} = \frac{\text{Mg}_{\text{fezes}} \times 100}{\text{Ingestão de Mg}}$$

Os valores obtidos foram 41,8, 32,6 e 25,9%, respectivamente, para ovinos (GREENE et al., 1983). O aumento na concentração de K dietético de 10 para 40 g kg⁻¹ de MS em ovinos foi associado com reduções na concentração plasmática, diminuição na excreção urinária e aumentos na excreção fecal de Mg (TOMAS; POTTER, 1976; GRACE, 1988). Reffet e Boling (1985) alimentaram cordeiros com quatro dietas (controle, 4% de Na, 4% de K e 2% de Na + 2% K) e observaram que os níveis plasmáticos, retenção e a absorção aparente de Mg foram menores na dieta de 4% de K. Além disso, a maior excreção fecal de Mg foi obtida pela dieta com 4% de K.

Também Fontenot et al. (1960) relataram que dietas com altos teores de K e altos de proteína levaram à maior excreção fecal de Mg e menores concentrações desse elemento no plasma, alterações estas, consistentes com baixa retenção de Mg, podendo levar à hipomagnesemia. Vários outros trabalhos documentaram a interferência do K sobre o metabolismo do Mg (GREENE et al. 1983; POE et al. 1985; GRINGS; MALES, 1987). Na prática a suplementação com Mg tem sido usado com o objetivo de superar os efeitos deletérios das altas ingestões de K.

Fora citado anteriormente o efeito da monensina sobre a disponibilidade de alguns minerais (SCOTT et al. 1984; HURST et al., 1974; DAMRON; HARMS, 1981). Kirk et al. (1985) trabalharam com suplementação de monensina (20 mg kg⁻¹) e relataram que a absorção de Mg não foi alterada pela suplementação. No entanto, a retenção de Mg pelos animais suplementados com o ionóforo foi maior do que o controle. A maior retenção de Mg, neste trabalho, foi explicada pela menor excreção de Mg na urina (10,9% de redução do total excretado na urina).

Wylie et al. (1985) encontraram um aumento de 32% na excreção fecal de Mg em cordeiros que receberam infusão de bicarbonato de potássio no rúmen, em relação ao controle. Animais que receberam a infusão tiveram menor absorção de Mg. Esse aumento na excreção fecal indica a atuação do K na diminuição da absorção do Mg, e como a infusão em outros locais do trato gastrointestinal não geraram o mesmo efeito em detrimento do K, indicou esta ocorrência somente no rúmen. A redução da absorção do Mg parece ter explicação pelo efeito direto do K na despolarização da membrana apical das células epiteliais da parede do rúmen, o que leva a uma redução na captação de Mg (LEONHARD-MAREK; MARTENS, 1996).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os macrominerais exercem uma grande importância na nutrição animal, uma vez que desempenham funções diversas no organismo animal.

Pesquisas sobre a importância dos macrominerais na nutrição de ruminantes devem ser estimuladas, conduzidas e difundidas no intuito de melhorar os índices zootécnicos do rebanho, visto que a mineralização inadequada sempre limita a produtividade podendo levar a déficits econômicos no país.

É importante ressaltar que a suplementação mineral do rebanho é crucial para uma produção satisfatória e esta deve ser realizada de forma objetiva, a fim de suprir toda a exigência do animal.

REFERÊNCIAS

- AFRC. AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureaux International. 1993. 159p.
- ALLSOP, T.F.; ROOK, J.A.F. The effect of diet and blood-plasma magnesium concentration on the endogenous faecal loss of magnesium in sheep. **Journal of Agricultural Science**, v.92, n.2, p.403-408, 1979.
- ARNOLD, G.W. Some principles in the investigation of selective grazing. **Society Animal Production**, v.73, n.5, p. 258-271, 1964.
- BEAL, A.M.; CLARK, R.C.; BUDTZ-OLSEN, E. The composition and flow of parotid saliva during acute hyperkalaemia in sodium-deficient sheep. **Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences**, v.60, n.4, p.315-323, 1975.
- BEN-GHEDALIA, D.; TAGARI, H.; GEVA, A. Absorption by sheep of calcium, phosphorus and magnesium from a poultry litter supplemented diet. **Journal Agriculture Science**, v.98, n.1, p.85-88, 1982.
- BLANEY, B.J.; GARTNER, R.J.W.; MEAD, T.A. The effects of oxalate in tropical grasses on calcium, phosphorus and magnesium availability to cattle. **Journal of Agricultural Science**, v.99, n.3, p.533-539, 1982.
- BORGES, E.E.S.; FILHO, J.C.S.; ROQUE, N.C.; PÉREZ, J.R.O.; VITTI, D.M.S.S.; PARDO, R.M.P. Dinâmica do fósforo em ovinos alimentados com dietas contendo diversos níveis deste mineral. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.37, n.9, p.312-325, 2008.
- BRAITHWAITE, G.D. The effect of changes of dietary calcium concentration on calcium metabolism in sheep. **British Journal Nutrition**, v.31, n.1, p.319-331, 1974.
- BRAITHWAITE, G.D. The effect of dietary protein intake on calcium metabolism of the pregnant ewes. **British Journal nutrition**, v.37, n.1, p.505-515, 1978.
- BRAVO, D.; SAUVANT, D.; BOGAERT, C.; MESCHY, F. Quantitative aspects of phosphorus absorption in ruminants. **Review Reproduction Nutrition**, v.43, n.3, p.285-300, 2003.
- BROZOS, C.; MAVROGIANNI, V.S.; FTHENAKIS, G.C. Treatment and control of peri-parturient metabolic diseases: pregnancy toxemia, hypocalcemia, hypomagnesemia. **Veterinary Clinical Food Animal**, v.27, n.1, p.105-113, 2011.
- CAMPBELL L.D.; ROBERTS, W.K. The requirements and role of potassium in ovine nutrition. **Can. Journal Animal Science**, v.45, n.3, p.147-156, 1965.
- CAVALHEIRO, A.C.L.; TRINDADE, D.S. **Os minerais para bovinos e ovinos criados em pastejo**. Porto Alegre: Fundação Banco do Brasil. 1992. 142p.
- CHESTER-JONES, H.; FONTENOT, J.P.; VEIT, H.P.; WEBB Jr., K.E. Physiological Effects of Feeding High Levels of Magnesium to Sheep. **Journal Animal Science**, v.67, n.2, p.1070-108, 1989.
- CHICCO, C.F.; AMMERMAN, C.B.; FEASTERI, P.; DUNAVANT, B.G. Nutritional interrelationships of dietary calcium, phosphorus and magnesium in sheep. **Journal of Animal Science**, v.36, n.5, p.418-432, 1973.
- CONRAD, J.H.; MCDOWELL, L.R.; ELLIS, G.L. **Mineral para ruminantes em pastejo em regiões tropicais**. Gainesville: Department of Animal Science, University of Florida. 1985. 90p.
- DAMRON, B.L.; HARMAS, R.H. Broiler performance as affected by sodium source, level and monensin. **Nutrition Reports International**, v.24, n.1, p.731, 1981.
- DENTON, D.A.; SABINE, J.R. The selective appetite for Na⁺ shown by Na⁺ deficient sheep. **Journal Physiology**, v.167, n.3, p.97-116, 1961.
- DILLON, J.; SCOTT, D. Digestive flow and mineral absorption in lambs before and after weaning. **Journal of Agricultural Science**, v.92, n.4, p.289-297, 1979.
- DUA, K.; CARE, A.D. Secretion of magnesium and calcium in the total saliva of sheep and its relevance to hypomagnesaemia. **Veterinary Journal**, v.156, n.1, p.217-221, 1995.
- EBEL H.; GTINTHER T. Magnesium metabolism: A review. **Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry**, v.18, n.1, p.257-270, 1980.
- ETSCHMANN, B.; SUPLIE, A.; MARTENS, H. Change of ruminal sodium transport in sheep during dietary adaptation. **Archives of Animal Nutrition**, v.63, n.1, p.26-38, 2009.
- FONTENOT, J.P.; MILLER, R. W.; WHITEHAIR, C.K. MACVICAR, R. Effect of a high-protein high-potassium ration on the mineral metabolism of lambs. **Journal of Animal Science**, v.19, n. 3, p.127-133, 1960.
- FRANDSON, R.D.; WILKE, W.L.; FAILS, A.D. **Anatomia e fisiologia dos animais de fazenda**. 6a. ed. Guanabara Koogan, 2005. 572p.
- FREDEEN, A.H. Effects of calcium loss and high dietary calcium and potassium on calcium kinetics and magnesium balance in sheep fed low magnesium diets. **Can. Journal Animal Science**, v.70, n.3, p.1109-1117, 1990.
- GABEL, G.; MARTENS, H.; SUENDENNANN, M. The effect of diet, intraruminal pH and osmolarity on sodium, chloride and magnesium absorption from the temporarily isolated and washed reticulo-rumen of sheep. **Journal of Experimental Physiology**, v.72, n.5, p.501-511, 1987.
- GRACE, N.D.; WATKINSON, J.H.; MARTINSON, P.L. Accumulation of minerals by the foetus(es) and conceptus of single and twin bearing ewes. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.29, n.2, p.207-222, 1986.

- GRACE, N.D.; CAPLE, I.W.; CARE, A.D. Studies in sheep on the absorption of magnesium from a low molecular weight fraction of the reticulo-rumen contents. **British Journal of Nutrition**, v.59, n.3, p.93-108, 1988.
- 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.1, p. 321-330, 1974.
- GREENE, L.W.; FONTENOT, J.P.; WEBB, J.R. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. **Journal of Animal Science**, v.57, n.2, p.503-510, 1983.
- GRINGS, E.E.; MALES, J.R. Effects of potassium on macromineral absorption in sheep fed wheat straw-based diets. **Journal Animal Science**, v.64, n.5, p.872-879, 1987.
- HAFEZ, E.S.E.; DYER, I.A. **Animal growth and nutrition**. Edited by Lea and Febiger. 1969. 214p.
- HURST, R.E.; DAY, E.J.; DILWORTH, B.C. The effects of monensin and sodium chloride on broiler performance. **Poul Science**, v.53, n.2, p.434, 974.
- KIRK, D.J.; GREENE, L.W.; SCHELLING, G.T.; BYERS, F.M. Effects of monensin on Mg, Ca, P and Zn metabolism and tissue concentrations in lambs. **Journal Animal Science**, v.60, n.4, p.1485-1490, 1985.
- LEONHARD, S.; SMITH, E.; MARTENS, H.; GÄBEL, G.; GANZONI, E. Transport of magnesium across an isolated preparation of sheep rumen: a comparison of MgCl₂, Mg aspartate, Mg pidolate, and Mg-EDTA. **Magnesium and Trace Elements**, v.9, n.5, p.265-271, 1990.
- LEONHARD-MAREK, S.; MARTENS, H. Effects of potassium on magnesium transport across rumen epithelium. **American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology**, v.271, n.8, p.1034-1038, 1996.
- LUEKER, G.E.; LOFGREEN, G.P. Effects of intake and calcium to phosphorus ratio on absorption of these elements by sheep. **Journal Nutrition**, v.74, p.233-238, 1961.
- MARTENS, H.; SCHWEIGEL, M. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. **The Veterinary Clinics of North America**, v.16, n.1, p.339-368, 2000.
- MARTIN, D.W. Structure-function relationships in the Na⁺, K⁺ pump. **Semiology Nephrology**, v.25, n.1, p.282-291, 2005.
- MCCOY, M.A.; BINGHAM, V.; HUDSON, A.J.; CANTLEY, L.; HUTCHINSON, T.; DAVISON, G.; KENNEDY, D.G. Postmortem biochemical markers of experimentally induced hypomagnesaemic tetany in sheep. **The Veterinary Record**, v.148, n.8, p.233-237, 2001.
- McDOWELL, L.R. **Contribution of Tropical Forages and soil toward meeting mineral requirements of grazing ruminants**. McDowell, L.R. Ed. Nutrition of grazing ruminants in warm climates. Florida: Academic Press. 1985. 284p.
- McDOWELL, L.R. Contribution of Tropical Forages and soil toward meeting mineral requirements of grazing ruminants. Ed.: McDOWELL, L.R. **Nutrition of grazing ruminants in warm climates**. Florida: Academic Press. 1985. 314p.
- MORAES, S.S. **Principais deficiências minerais em bovinos de corte**. EMBRAPA Campo Grande, 2001. 27p.
- MORRIS, J.G. Assessment of sodium requirements of beef cattle: a review. **Journal Animal Science**, v.50, n.1, p.142-152, 1980.
- NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirement of small ruminants**. 1a. ed. Washington: National Academy Press. 2006. 362p.
- OOSTERHUIS, C.W.K. **Electrolyte, plasma pepsinogen and total CO₂ changes in lambs with a natural, mixed abomasal and intestinal nematode infection**. Edinburgh, 1990, 59p. Thesis (Tropical Animal Production and Health) - University of Edinburgh, 1991.
- ORTOLANI, E.L. Effects of Haemonchus contortus infection on sodium status of sheep. **Ciência Rural**, v.30, n.3, p.315-328, 2000.
- PEIRCE, A.W. Studies on salt tolerance of sheep I. The tolerance of sheep for sodium chloride in the drinking water. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.8, n.1, p.711-722, 1957.
- PHILLIPSON, A.T.; STORRY, J.E. The absorption of calcium and magnesium from the rumen and small intestine of the sheep. **Journal Physiology**, v.181, n.1, p.130-150. 1965.
- POE, J.H.; GREENE, L.W.; SCHELLING, G.T.; BYERS, F.M.; ELLIS, W.C. Effects of dietary potassium and sodium on magnesium utilization in sheep. **Journal Animal Science**, v.60, n.5, p.578-582, 1985.
- REFFET, J.K.; BOLING, J.A. Nutrient utilization in lambs fed diets high in sodium or potassium. **Journal Animal Science**, v. 61, n.5, p.1004-1009, 1985.
- RIBEIRO, C.B.; MEDEIROS, S.R. Presença e quantificação de oxalatos em gramíneas tropicais. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA GADO DE CORTE, 1., 2005. **Anais...**Campo Grande, 2004.
- ROSA, I.V. Suplementação mineral de bovinos sob pastejo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1., 1994. **Anais...**Campinas, 1994. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. p.213-243.
- SCHRÖDER, B.; VÖSSING, S.; BREVES, G. *In vitro* studies on active calcium absorption from ovine rumen. **Journal of Comparative Physiology B**, v.169, n.3, p.487-494, 1999.
- SCHROEDER, B.; RITTMANN, I.; PFEFFER, E.; BREVES G. *In vitro* studies on calcium absorption from the gastrointestinal tract in small ruminants. **Journal of Comparative Physiology B**, v.167, n.1, p.43-51, 1997.
- SCOTT, R.; STARNES, S.R.; SPEARS, J.W.; FROETSCHER, M.A. Influence on monensin and lasolacid on mineral metabolism and ruminal urease activity in steers. **Journal of Nutrition**, v.114, v.6, p.518-525, 1984.

- SHIRLEY, R.L. Enxofre na nutrição de ruminantes. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE PESQUISAS EM NUTRIÇÃO MINERAL DE RUMINANTES EM PASTAGENS, 1., 1976. **Anais...**Belo Horizonte, 1976. 130p.
- SILVA, N.C.D. **Composição corporal de minerais em borregas da raça Santa Inês durante a gestação.** 2012. 124p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- SMITH, R.H. Calcium and magnesium metabolism in calves. 3. Endogenous faecal excretion and absorption of magnesium. **Biochemical Journal**, v.71, n.4, p.306-311, 1959.
- TOKARNIA, C.H.; DÖBEREINER, J.; MORAES, S.S. 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.
- TOMAS, F.M.; JONES, G.B.; POTTER, B.J. Influence of saline drinking water on mineral balances in sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.24, n.3, p.377-386, 1973.
- TOMAS, F.M.; POTTER, B.J. The effect and site of action of potassium upon magnesium absorption in sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.27, n.1, p.873-880, 1976.
- UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. **The mineral nutrition of livestock.** 3a. ed., CAB International. 1999. 614p.
- WAN ZAHARI, M.; SCOTT, D.; LOVERIDGE, N.; BUCHAN, W.; MILNE, J. The effect of high phosphorus intake on calcium and phosphorus retention and bone turnover in growing lambs. **Experimental Physiology**, v.79, n.1, p.175-181, 1994.
- WARNER, A.C.I.; STACY, B.D. Water, sodium and potassium movements across the rumen wall of sheep. **Journal Experimental Physiology**, v.57, n.1, p.103-119, 1972.
- WILSON, J.G. Bovine functional infertility in Devon and Cornwall: Response to manganese therapy. **Veterinary Record**, v.79, n.1, p.562-566, 1966.
- WYLIE, M.J.; FONTENOT, J.; GREENE, L.W. Absorption of Magnesium and Other Macrominerals in Sheep Infused with Potassium in Different Parts of the Digestive Tract. **Journal Animal Science**, v.61, n.5, p.1219-1229, 1985.
- YOUNG, V.R.; RICHARDS, W.P.C.; LOFGREEN, C. The effects of phosphorus depletion, and of calcium and phosphorus intake, on the endogenous excretion of these elements by sheep **British Journal Nutrition**, v.20, n.1, p.783-794, 1966.