



PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Minerais orgânicos em dietas para ruminantes

Evanilton Moura Alves^{1*}, Paulo José Presídio Almeida²; Pablo Teixeira Viana²,
Fabrício Bacelar Mendes¹, Hermógenes Almeida de Santana Júnior², Antídio
José de Araújo Neto², Gonçalo Mesquita da Silva³

¹ Doutorando em Zootecnia – PPG-UESB - Campus de Itapetinga-BA
*alveszootec@gmail.com

² Mestrando em Zootecnia – PPG-UESB – Campus de Itapetinga-BA.

³ Graduando em Zootecnia – DTRA-UESB – Campus de Itapetinga-BA.

Resumo

O manejo nutricional é ferramenta fundamental para obtenção de êxito no sistema de produção animal. Desta forma, é necessário, para que os animais expressem o seu máximo potencial produtivo, dietas nutricionalmente balanceadas que supram as suas exigências de produção. Dentre os diversos nutrientes, os minerais são elementos essenciais para composição das dietas uma vez que exercem várias funções no organismo animal. Entretanto, as pastagens brasileiras apresentam deficiências e desequilíbrios de elementos minerais essenciais aos ruminantes, limitando o desempenho produtivo tanto dos animais destinados à produção de carne como de leite. Embora, sabe-se que a suplementação mineral faz parte de uma pequena porção da dieta dos animais, sua presença na dieta é essencial para aumentar e melhorar o desempenho reprodutivo e produtivo. Atualmente, os minerais são apresentados em duas formas: inorgânica e orgânica, sendo comum encontrar

na composição dos suplementos as fontes inorgânicas. Contudo, tem se buscado o uso de fontes de elevada biodisponibilidade e livre de contaminantes. Para tanto, várias pesquisas vem sendo conduzidas com a finalidade de avaliar o uso de minerais orgânicos na composição de dietas para ruminantes. Desta forma, esta revisão tem como objetivos apresentar uma visão geral dos resultados obtidos com a utilização dos minerais orgânicos bem como compará-los às fontes inorgânicas.

Palavras-chave: nutrição, pastejo, produção, quelatos e reprodução.

Minerals organic in diets for ruminantes

Abstract

The nutritional management tool is essential for obtaining success in the animal production system. Thus, it is necessary, that the animals express their maximum productive potential, nutritionally balanced diets that supply the demands of production. Among the various nutrients, minerals are essential elements for composition of diets as performing various functions in the animal organism. Meanwhile, the Brazilian pastures have deficiencies and imbalances of mineral elements essential to ruminants, limiting the performance of both animals for the production of meat and milk. Although it is known that mineral supplementation is part of a small portion of the diet of the animals, their presence in the diet is essential to increase and improve the productive and reproductive performance. Today, minerals are presented in two forms: inorganic and organic, and find common supplements in the composition of the inorganic sources. However, it has sought the use of sources of high bioavailability and free of contaminants. Thus, many investigations have been conducted to evaluate the use of organic minerals in the composition of diets for ruminants. Thus, this review aims to provide an overview of the results obtained with the use of organic minerals and compare them to inorganic sources.

Keywords: nutrition, grazing, production, chelates and reproduction.

INTRODUÇÃO

O manejo nutricional é ferramenta essencial para obtenção de êxito no sistema de produção animal. Para maximizar o desempenho produtivo dos animais é necessário que os nutrientes sejam fornecidos em quantidades e proporções adequadas de modo a otimizar o funcionamento do rúmen por um adequado crescimento dos microrganismos e disponibilidade de nutrientes metabolizáveis. Os minerais são elementos que exercem variadas funções no organismo, sendo fundamental a presença desses nas dietas. Quando ausentes ou em quantidades insuficientes nas dietas podem levar a ocorrência de vários distúrbios nutricionais, resultando em baixo desempenho produtivo e reprodutivo dos animais.

Animais criados em pastejo estão sujeitos a deficiências minerais e, para corrigir ou reduzir esses efeitos, a suplementação mineral é uma prática necessária para atender às exigências dos animais e garantir adequado suprimento para que o animal tenha condições nutricionais de atingir altos índices reprodutivos e de ganhos de peso de forma produtiva, eficiente e econômica.

Do ponto de vista nutritivo, os elementos minerais podem ser classificados em essenciais ou não. Os primeiros agem separadamente ou formam compostos, sendo de importância primordial para os seres vivos, pois desempenham papel ativo no metabolismo geral; constituem material de estrutura e proteção do organismo; atuando também como elementos reguladores. Eles estão no corpo dos animais superiores em proporções variadas, razão por que são classificados como macro e microminerais.

De acordo com o NRC (1996), os macrominerais estão, na sua maior parte, envolvidos com os tecidos estruturais do corpo, ossos e músculos. Já os microminerais, por vezes, atuam como componentes de metaloenzimas e cofatores enzimáticos ou como componentes de hormônios do sistema endócrino.

Os macrominerais são os que aparecem em maiores proporções e sua concentração varia, em média, de 0,04 a 1,5%. São em número de sete: cálcio, fósforo, potássio, cloro, sódio, enxofre e magnésio. Os microelementos são aqueles cuja concentração no corpo dos animais varia de 0,02 a 80 partes por milhão. São: o ferro, zinco, cobalto, iodo, manganês, cobre, molibdênio, fluor e selênio (Lobão, 2008). As pesquisas mais recentes apontam ainda como essenciais o cromo, estanho, vanádio, silício e níquel, embora tal afirmação esteja ainda na dependência de maior número de trabalhos experimentais.

Os minerais estão disponíveis no mercado em várias formas, com biodisponibilidade variando conforme apresentação. Podem se apresentar na forma orgânica ou inorgânica (óxidos, sulfatos ou carbonatos). Quando na forma de óxidos, a maioria dos microminerais apresentam baixa disponibilidade, sendo de menor absorção que quando apresentados na forma de sulfatos ou carbonatos. Entretanto, podem se apresentar conjugados a moléculas orgânicas com aminoácidos, peptídeos ou polissacarídeos. Esses minerais na forma orgânica apresentam maior disponibilidade quando comparados aqueles na forma inorgânica.

Os minerais orgânicos são combinações de um ou mais minerais com substâncias orgânicas, como por exemplo, um ou mais aminoácidos, carboidratos ou até mesmo proteína (Zanetti, 1999).

Os minerais orgânicos passam por processos biossintéticos, formando íons metálicos quelatados que são absorvidos pelos carreadores intestinais de aminoácidos e peptídeos e não pelos clássicos carreadores de minerais, assim, deixando de competir pelo mesmo transportador. Desta forma, ocorre uma maior biodisponibilidade do mineral, aumentando a retenção no organismo e reduzindo a excreção dos mesmos nas fezes, que potencialmente poluem o meio ambiente.

O uso de minerais orgânicos em dietas para ruminantes tem o objetivo de reduzir a interação com os outros minerais no rúmen e, conseqüentemente, aumentar a absorção no intestino.

Desta forma, esta revisão tem como objetivos proporcionar uma visão geral das funções e interações dos minerais no organismo e ao mesmo tempo abordar características inerentes aos minerais orgânicos tais como modo de ação, biodisponibilidade e absorção no organismo, buscando sempre comparar com as fontes inorgânicas.

FUNÇÕES GERAIS E ESPECÍFICAS DOS MINERAIS E SUAS INTERAÇÕES NO ORGANISMO DO ANIMAL

Ao contrário de outros nutrientes, os minerais não podem ser sintetizados pelos seres vivos. Cada um dos elementos minerais essenciais desempenha no organismo do animal uma ou mais das seguintes funções:

- Componentes estruturais do organismo e tecidos animais, como é o caso do cálcio, fósforo e magnésio nos ossos e dentes, e do fósforo e enxofre nas proteínas dos músculos.
- Constituintes dos fluidos e tecidos do organismo, atuando como eletrólitos relacionados com a manutenção da pressão osmótica, equilíbrio ácido-base, permeabilidade das membranas celulares e irritabilidade dos tecidos. São exemplos de tais funções: o sódio, o potássio, o cloro, o cálcio e o magnésio agindo no sangue, fluido cérebro-espinhal e suco gástrico.
- Catalisadores em sistemas enzimáticos e hormonais, como componentes integrais e específicos da estrutura de metaloenzimas, ou como ativadores menos específicos de tais sistemas. Estas são as funções em que se acha envolvida a maioria dos microelementos.

É grande hoje o número de metaloenzimas conhecidas e esse número aumenta a cada dia, porém admite-se que existem muitas outras de importância no metabolismo animal, que são ainda desconhecidas e que dependem de microelementos para sua atividade, bem como acredita-se que existem outros compostos não enzimáticos, vitais ao organismo animal, cuja atividade depende de micronutrientes.

Fósforo (P)

O fósforo exerce função específica sobre a fertilidade dos bovinos que, em condições de pastejo, se tornam mais predisponentes a deficiência desse mineral. Dessa forma, o fósforo é considerado um dos principais minerais a compor os suplementos e o de maior importância econômica, em virtude dos grandes prejuízos que causa aos rebanhos e do elevado custo de sua suplementação.

Em nível de rúmen, o fósforo é exigido pelos microorganismos ruminais para a digestão da celulose (Burroughs *et al.*, 1951) e para a síntese de proteína microbiana (Breves & Schroder, 1991). A deficiência de fósforo induzida *in vitro* reduziu a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) no fluido ruminal, a síntese de ATP, a digestibilidade da xilose, arabinose e glicose e a síntese de proteína microbiana e aumentou a concentração de amônia e o pH do fluido (Komizarczuk *et al.*, 1987).

Queda na digestibilidade da celulose é o principal efeito da deficiência de P no ambiente ruminal (Durand & Komisarczuk, 1988; Francis *et al.*, 1978; Witt & Owens, 1981). Os outros efeitos observados, como menor produção de AGV e de proteína microbiana, parecem estar vinculados à limitação no crescimento bacteriano, especialmente das bactérias celulolíticas. A redução da população microbiana pode diminuir a captação de amônia, contribuindo para seu aumento no fluido do rúmen. O fluxo ruminal de N bacteriano foi inferior em culturas com deficiência de P (Komisarczuk *et al.*, 1987).

Durand & Komisarczuk (1988) recomendam que a concentração de P disponível no rúmen, oriundo da dieta e da saliva, para otimizar a digestão da celulose seja ao redor 5 g/kg de matéria orgânica digestível. Níveis de 0,12% de P na MS dietética foram capazes de estabelecer uma concentração ruminal de 200 mg/L, considerada superior ao mínimo exigido de 80 mg/L (Hall *et al.*, 1961).

Cobre (Cu)

O cobre (Cu) é componente de várias enzimas, como a citocromo oxidase, necessária para o transporte de elétrons durante a respiração aeróbica; lisil oxidase que catalisa a formação do colágeno e elastina; ceruloplasmina, que é essencial para absorção e transporte de ferro necessário para a síntese de hemoglobina; superóxido dismutase que protege as células dos efeitos tóxicos no metabolismo do oxigênio (NRC, 2001). É parte da citocromo-oxidase, enzima oxidase terminal na cadeia respiratória, que catalisa a redução de O_2 para água, passo essencial na respiração celular (McDowell, 1992). Por estar envolvido no mecanismo de oxidação, sua deficiência leva a transtornos no metabolismo oxidativo, podendo manifestar-se de múltiplas formas. (González & Silva, 2003).

A mais importante deficiência de origem mineral depois do fósforo, talvez seja a de Cu. O desenvolvimento da deficiência desse elemento depende tanto da sua concentração na dieta como das concentrações dos antagonistas que interferem com a absorção e a subsequente utilização para os processos metabólicos (Vasquez *et al.*, 2001).

Com a deficiência de Cu ocorre uma falha na formação de colágeno, onde atua a enzima lisil-oxidase, que contém cobre. Essa enzima permite a ligação cruzada entre fibras colágenas, onde essa ligação confere rigidez estrutural e elasticidade (McDowell, 1992). Sabe-se que, na deficiência de Cu, diminui a atividade da superóxido dismutase, que é uma cupro-enzima que catalisa a dismutação de O_2^- para H_2O_2 , que é o grupo oxidante que participa nas reações de defesa dos neutrófilos (Babior *et al.*, 1973).

No organismo, o cobre pode interagir com o molibdênio, o enxofre e o ferro. Os efeitos adversos de aumentar o molibdênio e enxofre dietéticos sobre a utilização de cobre pelos ruminantes têm sido atribuídos à formação de tiomolibdatos (TMs) no ambiente ruminal rico em sulfeto. Os efeitos sistêmicos dos TMs envolvem principalmente a inibição do metabolismo do Cu (Miltimore & Mason, 1971). Os TMs ligam-se com o cobre, no rúmen, para formar cupro-tiomolibdatos (Cu-TMs) que são insolúveis e indisponíveis para a absorção (Mason, 1990).

Os Cu-TMs associam-se às proteínas de alto peso molecular, principalmente albumina e formam um complexo insolúvel e, assim, reduz-se a absorção cúprica. O efeito fisiológico importante da formação do complexo Cu-TMalbumina na corrente sanguínea relaciona-se à restrição da disponibilidade de Cu para síntese de ceruloplasmina (Vasquez *et al.*, 2001).

De acordo com Ortolani (2002), na interação com o ferro, este pode diminuir a disponibilidade do cobre por competição do mesmo sítio ativo de absorção intestinal.

Enxofre (S)

O enxofre é necessário para síntese de metionina, cistina, cisteína e taurina, apesar dos últimos poderem ser sintetizados a partir da metionina. Os aminoácidos dependentes de S são essenciais na síntese da proteína microbiana e podem limitar o crescimento dos microorganismos ruminais. O S também está envolvido na síntese das vitaminas tiamina e biotina e coenzimas (Durand & Komisarczuk, 1988).

A suplementação com S parece atuar diretamente sobre a síntese de proteína microbiana e a capacidade fermentativa do rúmen. Kumar & Bhatia (1985) observaram queda na digestibilidade ruminal da celulose e da proteína bruta quando garrotes mestiços recebendo dietas com 0,084% de S na MS dietética não foram suplementados com sulfato de sódio. Em outro relato, a suplementação com S reduziu a concentração de amônia no rúmen e aumentou o consumo de MS em ovinos (Rees & Minson, 1978). A suplementação com uréia em dietas com forragem de baixa qualidade (mais de 70% de FDN) apresentou resultado superior quando o S também foi adicionado (Guardiola *et al.*, 1983).

A relação entre nitrogênio não protéico e enxofre (N:S) na dieta pode ser um fator determinante na retenção do N dietético. A relação N:S entre 10:1 e 12:1 parece maximizar a digestão ruminal e a síntese microbiana (Bouchard & Conrad, 1973). Em dietas balanceadas ou formuladas com forragens de boa qualidade a suplementação com S não apresentou efeitos significativos sobre a

digestão da celulose ou o fluxo de N bacteriano para o intestino delgado (Durand & Komisarczuk, 1988).

A exigência de S para os microorganismos é 2 g por kg de matéria orgânica fermentável no rúmen. Porém, considerando as interações com outros elementos como o Mo, recomenda-se de 2,5 a 2,8 g de S por kg de matéria orgânica fermentável no rúmen. Exceto quando a forragem fornecida tem altos níveis de nitrato ou Mo, a exigência é atendida com o S oriundo dos ingredientes dietéticos (Durand & Komisarczuk, 1988). O teor de 0,20% de S na MS da dieta foi considerado suficiente para promover a máxima retenção do elemento através da síntese de metionina e cisteína em vacas de leite com produção diária de leite entre 30 e 37 kg (Bouchard & Conrad, 1973).

Magnésio (Mg)

O magnésio é essencial a todos o microorganismos. Constitui cofator imprescindível para enzimas bacterianas como fosfohidrolases e fosfotransferases, além de reações envolvendo a fosforilação de ATP e síntese de tiamina (vitamina B1) (Durand & Komisarczuk, 1988). A celulase do *Ruminococcus flavefaciens* foi ativada com aumento da concentração de Mg (Pettipher & Latham, 1979). A deficiência de Mg reduziu a digestão da celulose e a adesão das bactérias às partículas de celulose *in vitro* (Roger *et al.*, 1990).

A concentração de Mg influenciou a produção de ácidos graxos voláteis no rúmen de ovinos alimentados com dietas purificadas. Na ausência de Mg, a produção de acetato, propionato e butirato decresceu significativamente (Ammerman *et al.*, 1971). Nesse mesmo experimento a ausência de Mg deprimiu o consumo de MS, provavelmente devido à menor digestibilidade da MS, principalmente da celulose. A concentração de Mg na suspensão foi determinante da digestibilidade *in vitro* da celulose. Foram testados o efeito de 5, 20, 80 e 320 mg de Mg/L de fluido ruminal. Na concentração de 80 mg/L a digestibilidade da celulose saltou de 39 para 48% ($P < 0,05$). Em experimento com carneiros esta concentração no fluido ruminal foi obtida com a

suplementação diária com 2 g de Mg oriundo de sulfato de magnésio (Wilson, 1980).

Pesquisa desenvolvida por Roger *et al.* (1990) evidencia que a atividade celulolítica em *Ruminococcus flavefaciens* foi dependente da concentração de Mg no meio de cultura, uma vez que a eliminação do Mg do meio por centrifugação reduziu em 30% a adesão dos microorganismos às partículas de celulose.

Wilson (1980) comparou o efeito da suplementação com Mg na digestibilidade de forragem de boa qualidade e de qualidade inferior. Para comparação usou feno de azevém e trevo imaturo, com 28% de FDA, e feno de azevém e trevo maduro, com 44% de FDA. Dezesesseis carneiros foram divididos em quatro grupos. Os tratamentos foram feno bom sem suplementação com Mg, feno bom com 2 g de Mg, feno ruim sem Mg e feno ruim com 2 g de Mg. A suplementação com Mg foi realizada com a administração oral diária de 20 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. A digestibilidade da MS e do FDA do feno bom não foram afetadas pela suplementação com Mg. Por outro lado, a digestibilidade da MS e do FDA do feno ruim aumentaram de 62 para 65% e de 56 para 61%, respectivamente ($P < 0.05$). Portanto a suplementação diária com 20 g de sulfato de Mg hidratado, que forneceu 2 g de Mg por dia, aumentou significativamente a digestão ruminal da fibra e da MS de forragem de qualidade inferior, porém

Zinco (Zn)

O zinco tem função relacionada em sistemas enzimáticos envolvidos com o metabolismo dos ácidos nucleicos, síntese de proteínas e metabolismo de carboidratos. Em tecidos com rápido crescimento, a deficiência de zinco reduz a síntese de DNA e RNA impedindo a divisão e o crescimento celular. As proteínas contendo zinco estão envolvidas na transcrição e translação do material genético (McDowell, 1992). Underwood & Suttle (1999) citam a função do zinco na constituição da carboxipeptidase, que é responsável pela hidrólise de aminoácidos C-terminal de peptídeos. O zinco é componente da

timosina, hormônio produzido pelas células do timo que regula as células imunomediadas (NRC, 2001).

O zinco participa na produção, armazenagem e secreção de hormônios, bem como ativador de receptores e resposta de órgãos. Entre os principais efeitos do zinco na produção e secreção de hormônios estão relacionados com a testosterona, insulina e corticóides da adrenal (McDowell, 1992). É constituinte da anidrase carbônica, atuando no equilíbrio ácido-base.

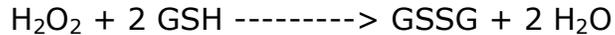
A absorção do zinco pode ser afetada pela interação exercida por outros elementos como cálcio, cobre e ferro. Porém, a sua absorção pode ser favorecida pelo magnésio, fosfatos e vitamina D (McDowell, 1992). Van Soest (1994) comenta do possível aumento da indisponibilidade do zinco por altas quantidades de fitato no alimento. O autor cita que tal fato pode ser causa da deficiência em não-ruminantes, pois o fitato se liga ao mineral tornando-o indisponível. O que provavelmente não ocorreria em ruminantes e outros animais com fermentação pré-gástrica, onde ocorreria decomposição desse complexo, liberando o zinco para absorção. Porém, González & Silva (2003) considera que a deficiência por complexação com fitatos, possa ocorrer em ambos.

Selênio (Se)

O selênio, micronutriente essencial presente nos tecidos do corpo, é importante para a defesa imune por ser o componente vital da enzima glutatona peroxidase, que é essencial para proteção das células e tecidos (Sordillo, 1997). Essa enzima atua no citosol celular convertendo peróxido de hidrogênio (composto tóxico) em $H_2O + O_2$ (Combs & Combs, 1986), agindo no combate aos radicais livres, tendo efeito direto na manutenção de membranas.

A glutatona-peroxidase contém quatro átomos de selênio e forma a segunda linha de defesa de proteção das membranas celulares depois da vitamina E (McDonald *et al.*, 2002). Há uma remoção de peróxido de

hidrogênio pela conversão de glutathiona oxidada (GSH) em glutathiona reduzida (GSSG). Pela seguinte reação:



Outra função importante do selênio é na produção de hormônios da tireóide, onde este é componente da enzima iodotironina deiodinase tipo I, responsável pela conversão de T4 em T3, que é a forma fisiologicamente ativa (McDonald *et al.*, 2002).

Junto com a vitamina E, o selênio tem função protetora antioxidante das membranas plasmáticas contra a ação tóxica dos peróxidos lipídicos. Suas interações se exemplificam pelos casos em que a vitamina E reduz a necessidade de selênio e vice-versa (González & Silva, 2003). Há uma complementação no sítio de ação, onde o selênio atua no meio intracelular e a vitamina E no meio extracelular (Paschoal *et al.*, 2003).

Cobalto (Co)

O cobalto é essencial na dieta de ruminantes pois participa na reação do metabolismo do ácido propiônico, pois é necessário para síntese de cianocobalamina (B12). Essa vitamina influencia o metabolismo energético, facilitando a formação de glicose através da ação da metilmalonil CoA mutase formando succinato a partir de propionato (Underwood & Suttle, 1999). Ortolani (2002) comenta sobre sua importância na formação das hemácias (essencial na eritropoiese) e de ácido fólico ou folato. A deficiência da vitamina B12 impede a formação de hemoglobina, e uma série de lesões no sistema nervoso central pode ocorrer (Lehninger, 1985).

Ruminantes são muito sensíveis à deficiência de vitamina B12 porque são dependentes da gliconeogênese e esta vitamina é essencial no metabolismo do propionato (Durand & Komisarczuk, 1988). A exigência nutricional de Co, ao redor de 0,11 mg por kg de MS da dieta, é ditada pela necessidade deste mineral para a síntese ruminal de vitamina B12 (Marston, 1970). Entretanto, teores dietéticos de 0,25 a 0,35 ppm de Co, acima da exigência nutricional, parecem aumentar a digestão ruminal de alguns

alimentos, especialmente forragens de baixa qualidade (Lopez-guisa & Satter, 1992). Os microorganismos ruminais podem requerer mais Co que o definido pela necessidade de síntese de vitamina B12.

As pastagens de algumas regiões são deficientes em cobalto, pelas condições alcalinas de solo ou pelo excesso de manganês, causando diminuição da absorção do elemento pelas plantas (González & Silva, 2003). Em relação à vitamina B12 o cobalto interage por simplesmente fazer parte da sua estrutura.

Cromo (Cr)

O Cr funciona como componente integral e biologicamente ativo do fator de tolerância à glicose (GTF) que potencializa a ação da insulina na célula. O átomo de Cr, do GTF, facilita a interação entre a insulina e os receptores dos tecidos musculares e gordurosos (Mertz, 1987).

Assim, o GTF com o Cr+3 é um mensageiro químico que se liga a receptores na superfície das células dos tecidos, estimulando sua capacidade de usar a glicose como combustível metabólico, ou armazenar sob a forma de glicogênio (Anderson, 1987). O GTF é importante não só para o metabolismo dos carboidratos, como também para os de proteínas e lipídeos, e os hormônios do crescimento (Burton, 1995).

A inclusão de cromo na dieta influencia na porcentagem e proporção de ácidos graxos voláteis no rúmen. Besong *et al.* (2001) procuraram testar possíveis efeitos da suplementação com Cr sobre a fermentação ruminal, observando que doses farmacológicas de Cr podem influenciar a produção de propionato, butirato e isobutirato no fluido ruminal.

MINERAIS ORGÂNICOS

Definições

Segundo Kratzer & Vohra (1986) o quelato é um complexo metálico onde o metal apresenta mais ligações do que sua valência, e este é ligado a um ligante doador. O complexo possui um átomo de mineral no centro da molécula

e um ligante ao seu redor. Quando o ligante possui mais de um átomo doador o complexo se torna um anel heterocíclico que é o quelato (Figura 1).

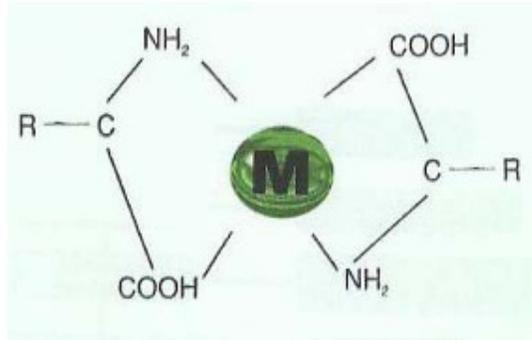


Figura1. Forma estrutural de um mineral orgânico.

Figure1. Structural form of an organic mineral.

Os minerais quelatados são definidos por Leeson & Summers (1997) como sendo uma mistura de elementos minerais que são ligados a algum tipo de carreador o qual pode ser um aminoácido ou polissacarídeo que possuem a capacidade de ligar o metal por ligações covalentes através de grupamentos aminos ou oxigênio, formando assim uma estrutura cíclica. Esses minerais normalmente possuem preços mais elevados que os minerais inorgânicos, mas espera-se que ocorra melhora na absorção e no desempenho dos animais.

Ensminger & Olfield (1990) definem quelatos como sendo estruturas cíclicas nas quais um elemento mineral é ligado a agentes carreadores ou quelantes através de ligações covalentes, esses, quelantes têm o papel de aumentar a absorção e a disponibilidade desse mineral no organismo, além de aumentar a sua estabilidade física reduzindo assim a tendência do micromineral separar-se do alimento.

A "Association of American Feed Control Officials" - AAFCO (1997) define os compostos minerais ligados a moléculas orgânicas como:

- *Quelato metal aminoácido*: produto resultante da reação de um sal metálico solúvel com aminoácidos a uma taxa molar de 1:1 até 1:3. O peso molecular médio do aminoácido hidrolisado deve ser aproximadamente 150 e o peso molecular resultante não pode exceder a 800.

- *Complexo metal aminoácido*: produto resultante da complexação de um sal metálico solúvel com um aminoácido.
- *Complexo metal com aminoácido específico*: produto resultante do complexo entre um metal solúvel com um aminoácido específico.
- *Metal proteinato*: produto resultante da quelação de um sal solúvel com aminoácidos ou proteínas parcialmente hidrolisadas.
- *Complexo metal-polissacarídeo*: produto resultante do complexo entre um sal solúvel e uma solução de polissacarídeo declarada como ingrediente de um complexo metálico específico.

Modo de ação

O modo de ação dos minerais quelatados é bem conhecido. Para que os quelatos exerçam sua função, eles precisam ser estáveis no microambiente ruminal e no abomaso e, chegarem intactos no intestino delgado.

A metabolização ruminal dos minerais reduz drasticamente a absorção, com sua incorporação à proteína bacteriana. Quando ligados a uma molécula orgânica, normalmente aminoácidos ou peptídeos, esses minerais usam as vias de absorção dessas moléculas, fazendo com que não tenham problemas de interações com outros minerais. Dessa maneira, a ligação de um desses minerais a uma molécula orgânica tem a finalidade de garantir a sua absorção à luz intestinal (seção interior do intestino), sem entrar no processo que todos os ingredientes inorgânicos (sulfatos, óxidos, etc) sofrem no seu metabolismo.

A proposta de fornecer minerais ligados a moléculas orgânicas tem a premissa de reduzir a interação com outros minerais no rúmen, formando complexos insolúveis e reduzindo a absorção ruminal, sem reduzir a absorção intestinal (Spears, 1996). A meta é obter uma fonte mineral de baixa capacidade de interação no rúmen, porém com alta taxa de absorção. Esta característica foi definida como "solubilidade estável" (Ward & Spears, 1993).

Biodisponibilidade

A biodisponibilidade ou disponibilidade biológica pode ser considerada como a medida da habilidade de um suplemento sustentar os processos biológicos nos animais (McGilliray, 1978). A biodisponibilidade de um nutriente é um termo relativo, sempre se referindo ao valor, de outro produto usado como padrão (Rosa, 1985).

A biodisponibilidade do metal na forma quelatada é dependente de três condições básicas na estrutura do composto:

- Da forma de ligação com o metal - Nos quelatos formados com dois ou três aminoácidos, o íon metálico fica inerte na molécula, entrando com facilidade nas vias metabólicas, pois assume a característica da molécula orgânica.
- Do peso molecular da forma quelatada - O baixo peso molecular é a chave para a absorção como uma molécula intacta. Se o peso molecular de um quelato for maior do que 800 dáltons, certamente sofrerá prévia hidrólise na luz do trato digestivo e a absorção pela mucosa não será garantida (AAFCO, 1997).
- Da constante de estabilização do quelato - Deve ser constituído de dois ou três anéis de aminoácidos quelantes para serem estáveis. Se a constante de estabilização dos aminoácidos é grande, estes irão resistir à ação de peptidases que quebram as ligações peptídicas internas, liberando o átomo de metal na molécula (Ashmead, 1993).

Absorção dos quelatos

Trabalhos "in vivo" têm demonstrado que minerais sob a forma de sais inorgânicos são geralmente ionizados no estômago e absorvidos no duodeno, onde o pH ácido determina a solubilidade. Daí são ligados a proteínas e incorporados pela membrana das células da mucosa intestinal (Ashmead, 1993).

O transporte para o interior das células dá-se pela difusão passiva ou pelo transporte ativo. Nessas condições é que podem ocorrer perdas pela reação com compostos, como colóides insolúveis (Herrick, 1993), ou no

processo de competição pelos sítios de absorção entre os elementos minerais, com interações antagônicas que inibem a absorção.

No caso de aminoácidos quelatados, o elemento mineral metálico na molécula é quimicamente inerte, por causa da forma de ligação. Então não é afetado pelos diferentes anions como os íons metálicos livres. Os minerais quelatados são absorvidos no jejuno, atravessam as células da mucosa e passam diretamente para o plasma. A separação do aminoácido quelante dá-se no local onde o elemento mineral metálico é utilizado (Ashmead, 1993).

Vantagens dos minerais orgânicos em relação aos inorgânicos

- O quelato é pequeno o bastante, por isso é absorvido rapidamente sem entrar no mecanismo competitivo com outros íons à luz do intestino;
- São compostos minerais mais estáveis, menos vulneráveis às interações minerais adversas na área intestinal;
- Podem garantir a suplementação de microelementos com dosagens inferiores às normalmente utilizados com os ingredientes inorgânicos, reduzindo os requisitos do nutriente para os animais;
- Maior biodisponibilidade, resultando em maior retenção do mineral no organismo;
- Menor excreção para o meio ambiente, reduzindo os riscos de contaminação.

Requisitos mínimos para quelação

Os quelatos possuem cargas negativas e para que um mineral seja quelatizado é necessário que apresente cargas positivas livres. Assim, os minerais que podem ser quelatizados são: cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co) e cromo (Cr). Outros – nitrogênio (N), Fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), boro (B) e molibdênio (Mo) - não são quelatizáveis. Além desses, têm-se os requisitos referentes aos agentes quelantes:

- O quelante deve conter dois átomos que possam ligar-se ao mesmo íon metálico.

- O ligante deve formar um anel heterocíclico sendo o metal o elemento que fecha o anel.
- Os átomos ligantes devem ser capazes de doar um ou ambos elétrons para a formação da ligação metal-ligante. Como exemplo de átomos doadores, tem-se: nitrogênio (N); oxigênio (O); enxofre (S) e fósforo (P).

RESULTADOS DE PESQUISA

Minerais orgânicos vs. inorgânicos

Spears (1989) não encontrou nenhuma diferença no crescimento de novilhos recebendo óxido de zinco (ZnO) e o quelato de zinco com metionina, embora houvesse tendência a melhor resposta nesse último tratamento. Analisando os resultados, o autor observou que, nas condições experimentais, tanto o Zn presente, sob forma de óxido, como quelatado foram absorvidos num grau semelhante. Após a absorção, entretanto, parece que foram metabolizados de formas diferentes: houve tendência à menor excreção urinária e menor taxa de declínio no plasma do zinco nos animais suplementados com a forma quelatada.

Chester-Jones (2004) avaliou o efeito da substituição de minerais inorgânicos na forma de sulfatos por minerais orgânicos conjugados com aminoácidos e minerais orgânicos conjugados com polissacarídeos sobre parâmetros da reprodução de vacas em lactação. Os melhores resultados foram obtidos com minerais orgânicos complexados com polissacarídeos (Tabela 1), sendo observado maior porcentagem de novilhas (71%) e vacas (1%) concebendo no 1º serviço e menor quantidade de dias em aberto.

Trabalhando também com a inclusão de Cu e Zn na forma orgânica, O'Donogue (1995) encontrou efeitos significativos na reprodução de vacas leiteiras, observando menor intervalo entre partos e menor número de dias para ocorrência da primeira ovulação pós-parto. Mowat (1993) suplementou cromo orgânico para vacas leiteiras e verificou melhoria na fertilidade e no ganho de peso.

Tabela 1 – Efeitos da suplementação de minerais orgânicos (zinco e cobre) na reprodução de vacas em lactação

Table 1- Effects of supplementation of organic minerals (zinc and copper) on reproduction of lactating dairy cows

| Tratamento | Concepção 1 ^o serviço (% novilhas) | Concepção 1 ^o serviço (% vacas) | Dias aberto | Serviços/concepção |
|---------------------|---|--|-------------|--------------------|
| Sulfatos | 42 | 15 | 152 | 2,1 |
| MOP ¹ | 71 | 67 | 112 | 1,6 |
| MOAA ² | 38 | 22 | 134 | 1,6 |
| Sulfatos (2/3) + | 34 | 25 | 136 | 1,8 |
| MOP (1/3) | | | | |

¹MOP: minerais orgânicos conjugados com polissacarídeos

² MOAA: minerais orgânicos conjugados com aminoácidos

Fonte: Chester-Jones (2004).

Kropp *et al.* (1993) avaliaram, por um ano, a fertilidade de fêmeas de diferentes raças (Angus, Hereford, Brangus e Simental), que tiveram acesso a sal mineral contendo Zn, Mn, Cu e Co quelatados com aminoácidos, comparando com sais inorgânicos. Os autores verificaram que 77,4% das fêmeas que recebiam os quelatos apresentaram estro, contra 42,1% das que recebiam sais inorgânicos. As que conceberam no primeiro no primeiro serviço foram 71,4% das suplementadas com quelatos e 25% das com minerais orgânicos. Os mesmos concluíram que a suplementação de microelementos minerais quelatados, particularmente o Cu, teve influência positiva na melhoria do cio e taxa de concepção.

Villalobos *et al.* (1997), trabalhando com vacas gestantes, observaram redução cerca de quatro vezes a incidência de retenção de placenta nos animais suplementados com cromo orgânico (3,5 mg/animal/dia durante as nove últimas semanas de gestação) quando comparado aos animais não suplementados. Também avaliando o efeito da suplementação na eficiência reprodutiva de fêmeas bovinas, Aragon (2001) detectou uma maior porcentagem de estro (98,6 vs. 88,7%) e um menor intervalo ao primeiro cio

pós-parto (120,5 vs. 142,8 dias), no grupo de fêmeas suplementadas em relação ao grupo de não suplementadas.

Guimarães (2006) comparou a suplementação com minerais orgânicos vs. Inorgânicos para novilhas leiteiras, observando maior taxa de ovulação (100 vs. 82%) ($P < 0,05$) para os animais que receberam a mistura orgânica. Entretanto não houve diferença ($P > 0,05$) na taxa de prenhez.

Langwinski *et al.* (2001) avaliaram a adição de 0, 10, 15 e 20% de minerais orgânicos no suplemento mineral protéico com 21% de proteína bruta para bezerros alimentados com feno de coast-cross de baixa qualidade. Observaram aumento significativo do consumo de matéria seca (MS) do feno ($P < 0,05$) e no consumo de matéria orgânica (MO) digestível ($P < 0,10$). Os autores ainda observaram tendência ($P = 0,14$) de aumento no consumo de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e hemicelulose digestível com os maiores níveis de minerais orgânicos. Os autores sugeriram maior atividade celulolítica (volume de gás produzido pela fermentação da fração de degradação lenta) no rúmen quando minerais orgânicos substituíram fontes inorgânicas em dieta composta por forrageira de baixo valor nutritivo e baixa suplementação concentrada.

Salvador (2006), trabalhando com vacas leiteiras de alta produção, avaliou a substituição total de fontes inorgânicas de Cu, Mn, Se, Zn e Cr por fontes orgânicas destes minerais sobre o consumo, digestibilidade, produção e composição do leite. Foram utilizadas duas fontes de carboidratos (milho e polpa cítrica), que foram associadas com os dois tipos de minerais. Os minerais orgânicos foram obtidos industrialmente com a mistura de minerais inorgânicos a peptídeos purificados de soja e posteriormente fermentados por culturas de leveduras. O consumo de matéria seca (CMS) bem como a digestibilidade da matéria seca (DMS), matéria orgânica (DMO) e fibra em detergente neutro (FDN) (Tabela 2) não foram influenciadas pelo tipo de mineral, independente da fonte de carboidrato. Da mesma forma, não foi observado variação na produção e composição do leite (Tabela 3) com a substituição dos minerais inorgânicos pelos minerais orgânicos.

Tabela 2 – Consumo de matéria seca (CMS) e digestibilidade da matéria seca (DMS), matéria orgânica (DMO) e fibra em detergente neutro (DFDN)

Table 2 - Consumption of dry matter (DMI) and dry matter digestibility (DMD), organic matter (BMD) and neutral detergent fiber (NDFD)

| Variável | Tratamento | | | | |
|------------|-----------------|------|------|------|------|
| | MO | MI | PO | PI | P |
| | Consumo | | | | |
| CMS (kg/d) | 20,9 | 20,1 | 19,1 | 19,8 | 0,92 |
| | Digestibilidade | | | | |
| DMS | 67,9 | 68,7 | 66,2 | 67,4 | 0,12 |
| DMO | 70,4 | 71,0 | 68,9 | 70,1 | 0,12 |
| DFDN | 82,6 | 84,6 | 83,2 | 83,5 | 0,07 |

¹MO: milho + mineral orgânico; ²MI: milho + mineral orgânico; ³PO: polpa cítrica + mineral orgânico; ⁴PI: polpa cítrica + mineral inorgânico

Adaptado de Salvador (2006).

Tabela 3 – Produção de leite (PL), produção de leite corrigida para 3,5% de gordura (PL 3,5%) e teores de gordura, proteína e lactose

Table 3 - Production of milk (PL), production of milk corrected to 3.5% fat (PL 3.5%) and levels of fat, protein and lactose

| Variável | Tratamento | | | | |
|----------------|------------|------|------|------|------|
| | MO | MI | PO | PI | P |
| PL (kg/d) | 28,1 | 28,7 | 27,4 | 27,6 | 0,41 |
| PL 3,5% (kg/d) | 28,2 | 29,2 | 27,5 | 28,0 | 0,15 |
| Gordura (%) | 3,62 | 3,68 | 3,61 | 3,67 | 0,37 |
| Proteína (%) | 3,23 | 3,20 | 3,17 | 3,16 | 0,31 |
| Lactose (%) | 4,70 | 4,71 | 4,70 | 4,75 | 0,53 |

MO - milho + mineral orgânico; MI - milho + mineral orgânico; PO - polpa cítrica + mineral orgânico; PI - polpa cítrica + mineral inorgânico.

Fonte: adaptado de Salvador (2006).

Guimarães (2006) não observou diferença ($P > 0,05$) no ganho de peso entre novilhas leiteiras suplementadas com minerais orgânicos e aquelas suplementadas com minerais inorgânicos.

Ortunho *et al.* (2008) avaliaram o efeito da suplementação com minerais orgânicos sobre o ganho de peso de borregas, em que observaram maior

ganho de peso médio diário ($P < 0,05$) para as fêmeas do grupo do sal orgânico (84,84 g/dia) em relação ao grupo do sal inorgânico (80,17 g/dia).

Polizel Neto *et al.* (2009) avaliaram o efeito da suplementação com cromo complexado à molécula orgânica do suplemento no desempenho produtivo e nas características de carcaça e na qualidade da carne de bovinos de dois grupos genético (Nelore e F1 Brangus × Nelore) terminados em regime de pastagem. Os animais recebendo suplemento contendo cromo orgânico (Tabela 4) apresentaram maior GMD (494 g) em comparação aos demais (420 g). A adição de cromo orgânico no suplemento não promoveu alterações nas características de carcaça (área de olho-de-lombo = 63,42 cm²; espessura de gordura subcutânea do dorso = 5,46 mm e da garupa = 5,58 mm, tomados por meio do ultra-som) e na qualidade da carne. Já o peso médio de carcaça quente foi 235 kg e o rendimento médio de carcaça quente, 52,09%, (Tabela 5) com superioridade do suplemento contendo cromo (238 kg e 52,9%) em relação ao controle (231 kg e 51,2%).

Tabela 4 - Desempenho de bovinos terminados a pasto recebendo suplemento contendo ou não cromo complexado à molécula orgânica

Table 4 - Performance of cattle finished on pasture or not receiving supplement containing chromium complexed with organic molecule

| Variável | Média | CV | Suplemento | |
|----------|--------|-------|-----------------|-----------------|
| | | | Com cromo | Sem cromo |
| PVf (kg) | 464,22 | 2,55 | 471,33 ± 13,09a | 457,10 ± 12,86b |
| GP (kg) | 86,83 | 13,64 | 93,94 ± 14,43a | 79,72 ± 15,23 |
| GMD (g) | 457,00 | 11,14 | 494 ± 0,07a | 420 ± 0,06b |

*Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem entre si ($P < 0,05$).

PVf- peso vivo final; GP- ganho de peso vivo; GMD – ganho médio diário de peso vivo.

CV – coeficiente de variação.

Fonte: adaptado de Polizel Neto et al. (2009).

Tabela 5 – Peso e rendimento de carcaça quente de bovinos terminados a pasto recebendo suplemento contendo ou não cromo complexado à molécula orgânica

Table 5 - Weight and yield of hot carcass of cattle finished on pasture or not receiving supplement containing chromium complexed with organic molecule

| Variável | Média | CV | Suplemento | |
|----------|--------|------|----------------|----------------|
| | | | Com cromo | Sem cromo |
| PCQ (kg) | 235,01 | 3,42 | 238,76 ± 8,60a | 231,25 ± 10,93 |
| RCQ (gg) | 52,09 | 3,41 | 52,92 ± 1,75 | 51,26 ± 1,86 |

*Médias seguidas de letras distintas, na mesma linha, diferem entre si (P<0,05).

PCQ: peso de carcaça quente RCQ - rendimento de carcaça quente;

Fonte: adaptado de Polizel Neto et al. (2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O suprimento das exigências de minerais associados ao fornecimento adequado de energia, proteína e vitaminas e boas práticas de manejo sanitário é fundamental para se conseguir o máximo desempenho animal.

A suplementação mineral depende não somente do conteúdo de minerais em um suplemento, mas também da capacidade de absorção e utilização dos mesmos pelos animais, sendo este fato de suma importância para a manutenção do equilíbrio homeostático e para o aumento do desempenho zootécnico dos ruminantes. Neste contexto, os minerais orgânicos são mais eficientes quando comparados com os minerais inorgânicos por apresentarem maior absorção, maior capacidade de retenção no organismo e maior capacidade de promover efeitos na mineralização.

Os resultados obtidos com suplementos minerais orgânicos são bastante contraditórios e não têm apresentado eficiência econômica. Dessa forma, é necessário de mais pesquisas, buscando avaliar os minerais orgânicos sobre o desempenho produtivo e reprodutivo bem como a eficiência econômica da utilização dos mesmos em comparação com os minerais inorgânicos. Nas

ALVES, E.M. et al. Minerais orgânicos em dietas para ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 10, Ed. 115, Art. 773, 2010.

pesquisas a serem desenvolvidas, é interessante que os minerais orgânicos sejam suplementados de forma estratégica de acordo com a fase produtiva e especificidade de alguns minerais em desempenhar suas funções nas diversas fases de vida do animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAFCO. Official Publication. **Association of American Feed Control Officials**. Atlanta, GA, 1997.
- AMMERMAN, C. B.; HENRY, P. R. Ruminant nutrition: a century of progress. **Cornell Veterinary**, Ithaca, n. 1, p. 174-190, Jan. 1985.
- ANDERSON, R. A. Chromium. In: MERTZ, W. **Trace elements in human and animal nutrition**. New York: Academic Press, 1987. p. 225-240.
- ARAGON, V. E. F. et al. Suplementação com cromo e desempenho reprodutivo de vacas zebu primíparas mantidas a pasto. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 53, n. 5, p. 624-628, 2001.
- ASHMEAD, H. D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metals salts. In: ASHMEAD, H. D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, 1993. p. 47-51.
- BABIOR, B.M.; KIPNES, R.S.; CURNUTTE, J.T. Biological defense mechanisms. The production by leukocytes of superoxide, a potential bacterial agent. **Journal Clinical Investigation**, v.52, p.741-744, 1973.
- BESONG, S.; JACKSON, J. A.; TRAMMELL, D. S.; AKAY, V. Influence of supplemental chromium on concentrations of liver triglyceride, blood metabolites and rumen VFA profile in steers fed a moderately high fat diet. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 84, n. 7, p. 1679-1685, 2001.
- BOUCHARD, R.; CONRAD, H. R. Sulfur requirement of lactating dairy cows. I. Sulfur balance and dietary supplementation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 56, n. 10, p. 1276-1282, 1973.
- BREVES, G.; SCHRODER, B. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 4, p. 125- 140, 1991.
- BURROUGHS, W.; LATONE, W. A.; DEPAUL, P.; GERLAUGH, P.; BETHKE, R. M. Mineral influences upon urea utilization and cellulose digestion by rumen microorganisms using the artificial rumen technique. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 10, n. 3, p. 693-697, 1951.
- BURTON, J. L. Supplemental chromium: its benefits to the bovine immune system. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 53, n. 3, p. 117- 133, 1995.
- COMBS Jr., G.F.; COMBS, S.B. **The role of selenium in nutrition**. London : Academic Press, 1986. 180p.
- DURAND, M.; KOMISARCZUK, S. Influence of major minerals on rumen microbiota. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 118, n. 2, p. 249-260, 1988.
- ENSMINGER, M.E. OLFIELD, J.E. **Feeds & Nutrition**. 2 ed. Clovis, California: Ensminger Publishing company, 1990. 500 p.

ALVES, E.M. et al. Minerais orgânicos em dietas para ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 10, Ed. 115, Art. 773, 2010.

FRANCIS, G. L.; GAWTHORNE, J. M.; STORER, G. B. Factors affecting the activity of cellulases isolated from the rumen digest of sheep. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v. 36, n. 5, p. 643-649, 1978.

GONZÁLEZ, F.H.; SILVA, S.C. **Introdução à Bioquímica Veterinária**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 198p.

GUARDIOLA, C. M.; FAHEY, G. C.; SPEARS, J. W.; GARRIGUS, U. S. The effects of sulfur supplementation on cellulose digestion *in vitro* and on nutrient digestion, Nitrogen – metabolism and rumen characteristics of fed on good quality fescue and Tropical Stars Grass hays. **Animal Feed Science Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 129-138, 1983.

GUIMARÃES, R.A. Ganho médio de peso e desempenho reprodutivo de novilhas leiteiras suplementadas com minerais orgânicos e inorgânicos. **Dissertação de mestrado** (Produção Animal) - Faculdade de Medicina Veterinária, Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

HALL, O. G.; BAXTER, H. D.; HOBBS, C. S. Effect of phosphorus in different chemical forms on *in vitro* cellulose digestion by rumen microorganisms. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 20, n. 4, p. 817-819, 1961.

HERRICK, J. B. Mineral in animal health. In: ASHMEAD, H. D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, 1993. p. 3-9.

KOMISARCZUK, S.; DURAND, M.; BEAUMATIN, P.; HANNEQUART, G. Effects of phosphorus deficiency on rumen microbial activity associated with the solid and liquid phases of a fermentor (Rusitec). **Reproduction Nutrition Development**, Paris, v. 27, n. 5, p. 907-919; 1987.

KRATZER, F.H.; VOHRA, P. Chelates and chelation. In: **Chelates en nutricion**. Boca Raton, Florida: CRC Press, p. 5-33; 1996.

LANGWINSKI, D.; OSPINA, H.; SILVEIRA, A. L. F.; SILVA, N. L. Q.; MONTAGNER, D. Terneiros desmamados precocemente com dois níveis de suplementação e duas formas de sais minerais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 995.

LEESON, S. SUMMERS, J.D. **Comercial Poultry Nutrition**. 2. Ed. Guelph, Ontario: University Books, 2001. 591 p.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: Savier, 1985. p.194, 195, 553.

LOBÃO, A.O. Deficiências minerais em bovinos. **CESAHO**. Artigos em Coletânea São Paulo/SP, 2008. Disponível em: http://www.cesaho.com.br/biblioteca_virtual/index.aspx. Acesso em: 08/06/2009.

KROPP, J. R. The role of cooper in beef cattle fertility. In: ASHMEAD, H. D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**. New Jersey: Noyes, 1993. P. 154-169.

KUMAR, D. S.; BHATIA, S. K. Rumen metabolic profile, aminotransferases and nutrient utilization in cattle as influenced by dietary nitrogen and sulfur inputs. **Indian Journal Animal Science**, New Delhi, v. 55, n. 12, p. 1070-1076, Dez. 1985.

LOPEZ-GUISA, J. M.; SATTER, L. D. Effect of copper and cobalt addition on digestion and growth in heifers fed diets containing alfalfa silage or corn crop residues. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, n. 1, p. 247-256, 1992.

MARSTON, H. R. The requirement of sheep for cobalt or for vitamin B12. **British Journal Nutrition**, Wallingford, v. 24 , n. 3, p. 615-633, Set. 1970.

MASON, J. The biochemical pathogenesis of molybdenum induced copper deficiency syndromes in ruminants: Towards the final chapter. **British Veterinary Journal**, v.43, 1990 p.18 – 21.

- ALVES, E.M. et al. Minerais orgânicos em dietas para ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 10, Ed. 115, Art. 773, 2010.
- McDONALD, P.; EDWARDS R.A.; GREENHALGH, J.F.D. et al. **Animal nutrition**. 6th ed. Pearson: Edinburgh, 2002. 693p.
- McDOWELL, L.R. **Minerals in animal and human nutrition**. San Diego: Academic Press, 1992. 524p.
- McGILLIRRAY, J. J. Biological availability of phosphorus sources. In: ANNUAL INTERNATIONAL MINERALS CONFERENCE, 1., 1978, Petersburg Beach. **Anais...** St. Petersburg Beach: IMC, 1978, p. 104-150.
- MERTZ, W. **Trace elements in human and animal nutrition**, London: Academic Press, 1987. v. 1, p. 355-356
- MILTIMORE, J.E.; MASON, J.L. Cooper to molybdenun ratio and molybdenun and copper concentration in ruminan feeds. **Canadian Journal Animal Science**, v.51, 1971 p.193 – 200.
- MOWAT, D. N. Chelated chromium for stressed feeder calves. **Canadian Journal of Animal Science**, Quebec, v. 73, 1993, p. 49-55.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th. Ed., National Academy Press: Washington D.C., 2001. 381p.
- O'DONOGUE, J. The effect proteinated trace minerals on fertility and somatic cell counts of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, n. 1, p. 262-271, 1995.
- ORTOLANI, E.L. Macro e microelementos. In: SPINOSA, H.S.; GÓRNIK, S.L.; BERNARDI, M.M. **Farmacologia aplicada à Medicina Veterinária**, 2002. p.641-651.
- ORTUNHO, V.V.; MARÇAL, W.S.; JUNIOR, N. P. et al. **Comparação de ganho de peso médio diário entre borregas suplementadas com minerais orgânicos e borregas suplementadas com minerais inorgânicos da desmama até o início da estação de monta**. Universidade Estadual de Londrina, 2008.
- PASCHOAL, J.J.; ZANETTI, M.A.; CUNHA, J.A. Efeito da suplementação de selênio e vitamina E sobre a incidência de mastite clínica em vacas da raça holandesa **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.55, n.3, Belo Horizonte, 2003.
- PETTIPHER, G. L.; LATHAM, M. J. Characteristics of enzymes produced by *Ruminococcus flavefaciens* which degrade plant cells walls. **Journal Genetics Microbiology**, Reading, v. 110, n. 1, p. 21-27, 1979.
- POLIZEL NETO, A.; JORGE, A.M.; MOREIRA, P.S.A. et al. Desempenho e qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 Brangus × Nelore recebendo suplemento com cromo complexado à molécula orgânica na terminação a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, n.4, p.737-745, 2009
- REES, M. C.; MINSON, D. J. Fertilizer sulphur as a factor affecting voluntary intake, digestibility and retention time of pangola grass (*Digitaria decumbens*) 102 by sheep. **British Journal Nutrition**, Wallingford, v. 39, n. 1, p. 5-11, 1978.
- ROGER, V.; FONTY, G.; KOMISARCZUK-BONY, S.; GOUET, P. Effects of Physicochemical Factors on the Adhesion to Cellulose Avicel of the Ruminal Bacteria *Ruminococcus flavefaciens* and *Fibrobacter succinogenes* subsp. *succinogenes*. **Applied Environmental Microbiology** Washington, v. 56, n. 10, p. 3081-3087, Oct. 1990.
- SALVADOR, S. C. Suplementação com milho e minerais orgânicos em dietas com alto teor de polpa cítrica para vacas em lactação. **Tese de doutorado** (Produção Animal) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006.
- SORDILLO, L. M. Immunobiology of the mammary gland. **Journal of Dairy Science**. V.80, p. 1851-1866, 1997.

ALVES, E.M. et al. Minerais orgânicos em dietas para ruminantes. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 10, Ed. 115, Art. 773, 2010.

SPEARS, J. W. Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of Zn in labs and effects of growth and performance of growing heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 67, n. 3, p. 835-843, 1989.

SPEARS, J. W. Organic trace minerals in ruminant nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 58, n. 1-2, p. 151-163, 1996.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. **The Mineral Nutrition of Livestock**. 3rd ed. CABI Publ. Wallingford. 1999, 614 p.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd. Ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994. 476p.

VASQUEZ, E.F.A.; HERRERA, A.P.N.; SANTIAGO, G.S. Interação cobre molibdênio e enxofre em ruminantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, 2001, p.1101-1106.

VILLALOBOS, F. J. A; ROMERO, R.C; et al. A supplementation with chromium picolinate reduces the incidence of placental retention in dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science**, Quebec, v. 77, n. 2, p. 329-330, 1997.

WARD, J. D.; SPEARS, J. W. Comparison of copper lysine and copper sulfate as copper sources for ruminants using in vitro methods. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, n. 10, p. 2994-2998, 1993.

WILSON, G. F. Effects of magnesium supplements on the digestion of forages and milk production of cows with hypomagnesaemia. **Animal Production**, East Lothian, v. 31, n. 2, p. 153-157, Oct. 1980.

WITT, K. E.; OWENS, F. N. **Ruminal availability of phosphorus and its effects on digestion. Animal Science Research Reproduction**. Okalahoma State University, 1981. p. 151-157.

ZANETTI, M.A. Minerais Orgânicos "A tecnologia do século XXI". **Revista Alimentação Animal**. n. 15,1999.