

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CONSUMO DE NUTRIENTES DIGESTÍVEIS E EXCREÇÃO DE MINERAIS  
COM A INCLUSÃO DE CARBOAMINOFOSFOQUELATOS EM SAIS  
MINERALIZADOS PARA BEZERROS**

Diego Langwinski

Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de

Mestre em Zootecnia

Área de Concentração Produção Animal

Porto Alegre (RS), Brasil

Abril de 2002



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela saúde, fé e todas as coisas boas de minha vida.

Ao meu orientador Dr. Harold Ospina Patiño pela oportunidade de aprender e, sobretudo, pela amizade.

A minha esposa Andreia pelo amor, companheirismo e compreensão nos momentos mais difíceis, onde eu não tinha muito tempo para lhe corresponder os carinhos.

A minha família pelo incentivo em estudar cada vez mais e alcançar meus objetivos pessoais.

Aos professores do Departamento de Zootecnia pela amizade e pelos conhecimentos passados durante este período de convivência.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação pela ajuda e amizade, principalmente ao André, ao Daniel e ao Nilton.

Aos bolsistas de iniciação científica (Melissa, Giovanni e Maricelda) pela grande colaboração que deram na realização das análises, que foi muito importante para a concretização deste trabalho.

A Alisul Alimentos Ltda e a Tortuga Companhia Zootécnica Agrária, pelo apoio financeiro neste trabalho de pesquisa.

# CONSUMO DE NUTRIENTES DIGESTÍVEIS E EXCREÇÃO DE MINERAIS COM A INCLUSÃO DE CARBOAMINOFOSFOQUELATOS EM SAIS MINERALIZADOS PARA BEZERROS<sup>1</sup>

Autor: Diego Langwinski

Orientador: Harold Ospina Patiño

## RESUMO

Foi desenvolvido um experimento com 12 bezerros Hereford, machos, inteiros, pesando em média 95 kg para avaliar a inclusão de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos no sal mineralizado num nível equivalente a 0,03% do peso vivo. Os animais foram alimentados com feno de coast-cross ad libitum e 0,75% do peso vivo com casca de soja. Os tratamentos foram a inclusão de 0, 10, 20 e 30% dos minerais na forma de carboaminofosfoquelatos no sal mineralizado, representando um consumo de minerais nesta forma de 0, 0,03, 0,06 e 0,09 g por kg de peso vivo, respectivamente. A utilização de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos não afetou o consumo de hemicelulose, MS, MO, FDN e FDA ( $P>0,1$ ). No entanto, houve uma melhora significativa na digestibilidade aparente da hemicelulose e da FDN ( $P<0,1$ ) sem que a digestibilidade das demais frações fossem afetadas ( $P>0,1$ ). De uma forma geral, a excreção fecal de nitrogênio, enxofre, cobre e zinco foi diminuída com o consumo de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos entre 30 e 60 mg por kg de peso vivo. A excreção fecal de fósforo não foi afetada pela utilização de minerais nesta forma química. O consumo de matéria seca e matéria orgânica digestível aumentou significativamente de forma linear com os níveis de carboaminofosfoquelatos ( $P<0,1$ ). Os dados dão indícios de que os carboaminofosfoquelatos podem melhorar o consumo de matéria orgânica digestível e a digestibilidade de algumas frações nutritivas, além de diminuir a excreção fecal de minerais.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, RS, (88p.). Abril, 2002.

## **DIGESTIBLE NUTRIENT INTAKE AND FECAL EXCRETION OF MINERALS WITH ADDITION OF CARBOAMINEPHOSPHOCHELATES IN MINERALIZED SALT FOR CALVES**

Author: Diego Langwinski  
Advisor: Harold Ospina Patiño

### **ABSTRACT**

A trial with twelve Hereford calves weighing 95 kg was conducted for evaluation of carboaminochelate addition in mineralized salt at level of 0,03% of body weight. Calves were fed with coast-cross hay *ad libitum* and soybean hulls at 0,75% of body weight. The treatments were the addition of carbochelates at level of 0, 10, 20 and 30% in mineralized salt. The mineral intake in this form was 0, 30, 60 and 90 mg/kg of body weight, respectively. DM, OM, NDF, ADF hemicelulose and intakes did not differ between treatments ( $P>0,1$ ). However, hemicellulose and NDF digestibilities were higher with carbochelates inclusion in mineralized salt ( $P<0,1$ ). The fecal excretion of nitrogen, sulfur, copper and zinc was decreased with carbochelates utilization in mineralized salt ( $P<0,1$ ), but phosphorus excretion was similar between treatments ( $P>0,1$ ). Digestible DM and digestible OM were linearly increased with mineral intake in carbochelate form ( $P<0,1$ ). The carbochelate should improved intake of digestible nutrients and digestibility and decreased mineral excretion in faeces.

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (88p.). April, 2002.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Nutrição mineral em ruminantes .....	4
2.2	Complexos orgânicos de minerais .....	10
2.2.1	Definições.....	10
2.2.2	Complexação e Quelação de Minerais.....	11
2.2.3	Os minerais orgânicos na nutrição de ruminantes.....	14
2.2.4	Complexo metal-polissacarídeo .....	21
2.3	Excreção fecal de minerais .....	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
3.1	Local e duração do experimento.....	27
3.2	Animais experimentais .....	27
3.3	Tratamentos.....	28
3.4	Alimentos e Alimentação.....	30
3.4.1	Feno .....	30
3.4.2	Casca de soja.....	30
3.5	Condução do experimento .....	31
3.6	Preparação das amostras .....	33
3.7	Determinações .....	33
3.8	Delineamento experimental.....	34
3.9	Análises estatísticas.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	36
4.1	Coeficientes de digestibilidade.....	36
4.2	Consumo das frações nutritivas .....	40
4.3	Consumo de matéria seca e matéria orgânica digestível....	45
4.4	Excreção fecal de minerais .....	48
4.4.1	Nitrogênio .....	48
4.4.2	Fósforo .....	51
4.4.3	Enxofre .....	53
4.4.4	Cobre.....	54
4.4.5	Zinco.....	56
5	CONCLUSÕES.....	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
8	APÊNDICES .....	67

## RELAÇÃO DE TABELAS

TABELA 1. Composição mineral dos sais mineralizados (tratamentos). ....	29
TABELA 2. Composição químico-bromatológica da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de coast-cross e da casca de soja e utilizados em cada período experimental, expressos em base seca. ....	30
TABELA 3. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), da matéria orgânica digestível (MO), da fibra em detergente neutro (FDN), da fibra em detergente ácido (FDA) e da hemicelulose (Hem) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	36
TABELA 4. Médias de consumo de MS de feno (CFENO), de casca de soja (C casca) e de matéria seca total (CMS) expressos em % PV por dia, observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	41
TABELA 5. Médias de consumo de matéria orgânica (CMO), de fibra em detergente neutro (CFDN), fibra em detergente ácido (CFDA) e hemicelulose (Chem) expressos em % PV por dia, observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	41
TABELA 6. Médias de consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	45
TABELA 7. Médias de consumo e de excreção fecal de nitrogênio (EFN) por dia expressas como g/dia e em relação ao peso vivo (g/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	48
TABELA 8. Médias de consumo e de excreção fecal de fósforo (EFP) expressas como g/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	51
TABELA 9. Médias de consumo e de excreção fecal de enxofre (EFS) expressas como g/dia e em relação ao peso vivo (g/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	53
TABELA 10. Médias de consumo e de excreção fecal de cobre (EFCu) expressas como mg/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia e mg/UTM/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	54
TABELA 11. Médias de consumo e excreção fecal de zinco (EFZn) expressas como mg/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral. ....	56

**RELAÇÃO DE FIGURAS**

FIGURA 1 Digestibilidade aparente da hemicelulose e da fibra em detergente neutro com consumo de minerais na forma de carboquelatos.....	38
FIGURA 2. Consumo de matéria seca e matéria orgânica digestíveis com diferentes níveis de carboquelatos no sal mineralizado.....	46



## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte brasileira, com um rebanho estimado de 160 milhões de cabeças, tem evidenciado um importante aumento em produtividade na última década, sendo hoje uma atividade de grande importância para o PIB agrícola do País. Uma das causas deste aumento é a existência de programas de melhoramento genético dos rebanhos que tem permitido trabalhar com animais cada vez mais precoces e produtivos. Porém, este fato tem conduzido a aumentos nas exigências nutricionais sem que a qualidade das pastagens tenha evoluído com a mesma velocidade. Para contornar este problema, tais sistemas têm utilizado a suplementação com fontes de proteína, energia, minerais e vitaminas para permitir que os animais manifestem seu potencial genético de produtividade.

Uma das práticas tecnológicas no campo da nutrição e alimentação de ruminantes, que tem crescido com grande intensidade nos últimos anos é a suplementação mineral. Sabe-se que os minerais, embora exigidos em pequenas quantidades quando comparados com outros nutrientes da dieta, desempenham funções importantes tanto na fermentação ruminal quanto no metabolismo do animal. O crescimento observado na adoção da prática da suplementação mineral pode ser explicado pelo conjunto de fatores que vão desde um maior investimento dos produtores em tecnologia, do marketing praticado pelas empresas que produzem premixes e sais mineralizados, da

conscientização da importância da suplementação mineral em bovinos divulgada através de palestras técnicas promovidas por instituições de pesquisa e ensino, até a diminuição do valor de mercado destes produtos promovido por empresas de âmbito regional.

O conhecimento sobre a inclusão de minerais na dieta de ruminantes tem sofrido algumas mudanças nas últimas décadas. Recentemente, vários fatores que anteriormente não eram levados em consideração começaram a ser levados em conta nas recomendações de suplementação mineral em bovinos: poluição ambiental, interações entre minerais, qualidade de produtos, sanidade e bem-estar animal, produtividade, entre outros. Além disso, existe uma crescente preocupação do consumidor com aspectos relacionados com sua saúde e a relação com o consumo de produtos de origem animal. Alguns trabalhos estão avaliando a importância de alguns minerais na qualidade de produtos, tais como a carne (Se) e o leite (Cu, Zn). Na última década, tem crescido a preocupação com a absorção aparente dos minerais no intuito de estudar formas de reduzir as perdas fecais para o ambiente e diminuir seu impacto sobre a qualidade do solo, água e ar. Outra questão mais antiga e ainda pouco quantificada são as interações que ocorrem entre minerais com outros componentes da dieta dentro do trato digestivo dos animais.

As pesquisas mais recentes no campo dos minerais têm estudado fontes alternativas de minerais para tentar contornar alguns dos problemas citados anteriormente: os complexos orgânicos de minerais, minerais quelatados, minerais complexos ou minerais orgânicos. Acredita-se que estas

fontes de minerais possam ter maior biodisponibilidade, ou seja, possam ser absorvidos e realmente utilizados nas funções metabólicas do animal em proporções maiores que os minerais na forma inorgânica.

Na última década foram inúmeras as publicações acerca dos complexos orgânicos de minerais, as quais não foram conclusivas quanto a forma de absorção e atuação no organismo animal. No entanto, muitas respostas produtivas têm surgido com a utilização destas moléculas nos animais, principalmente em situações de alta exigência, interação com outros minerais e fatores estressantes.

Ainda existem muitas perguntas a serem respondidas pela pesquisa relacionadas com o objetivo e o impacto econômico da inclusão destas moléculas de minerais na dieta dos ruminantes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a inclusão de minerais orgânicos na forma de carboaminofosfoquelatos (carboquelatos - CQLT), no sal mineralizado, sobre o consumo de matéria seca e de nutrientes digestíveis e sobre a excreção fecal de alguns minerais em bezerros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Nutrição mineral em ruminantes

Para que os animais tenham crescimento, saúde e produção adequados eles devem receber um suprimento adequado de nutrientes e energia, da mesma forma que os microrganismos do rúmen. Entre os nutrientes estão os minerais, que devem ser atendidos conforme suas exigências, em quantidades e proporções adequadas e formas disponíveis (Mackie e Therion, 1983).

O rúmen é uma importante câmara de fermentação onde ocorre a síntese da proteína microbiana e a produção de ácidos graxos voláteis. A síntese da proteína microbiana é obtida mediante o crescimento e a multiplicação dos microrganismos ruminais num ambiente anaeróbio com a presença de substratos adequados (carboidratos estruturais e não estruturais, proteína, aminoácidos, peptídeos, nitrogênio não protéico, minerais e vitaminas). O resultado é a produção de uma proteína microbiana que apresenta um perfil de aminoácidos adequado para a absorção e utilização na síntese de produtos (carne, leite, lã) dos ruminantes. Além disso, durante o processo de degradação dos carboidratos ocorre a produção dos ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico), principais fontes de energia utilizadas pelos ruminantes.

Os minerais apresentam uma série de características químicas que possibilitam a sua utilização no metabolismo dos microrganismos ruminais e do animal, desempenhando funções estruturais e bioquímicas de grande importância e que têm reflexos diretos na produtividade. O NRC (2001) reconhece sete macrominerais (enxofre, cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio e cloro) e 17 microminerais (cobre, cobalto, molibdênio, zinco, ferro, flúor, selênio, silício, alumínio, cromo, vanádio, níquel, iodo, arsênio, estanho, vanádio e manganês) como essenciais na nutrição de ruminantes. No entanto, ainda existem algumas dúvidas com relação à recomendação dos níveis de exigência de alguns destes microminerais na dieta dos bovinos: Cd, Si, Cr, Va, As, Sn.

Os minerais atuam como catalisadores nos processos de multiplicação celular dos microrganismos do rúmen, sendo importante para a síntese de proteína microbiana. De outra forma, os minerais assumem funções importantes em nível de ambiente ruminal, podendo afetar a pressão osmótica, a capacidade de tamponamento e a taxa de diluição. Alguns microminerais (cobalto, ferro, molibdênio e zinco) participam na regulação de numerosas reações enzimáticas e, da mesma forma que macrominerais (fósforo, magnésio e enxofre), podem afetar a digestibilidade ruminal da matéria orgânica e da parede celular (Ospina et al., 1999). Além disso, outro aspecto importante quando se trabalha com minerais na dieta de ruminantes é a possível interação entre eles, o que pode afetar sua disponibilidade através da formação de complexos insolúveis e da competição pelo mesmo sítio de absorção.

Durand & Kawashima (1980) citam a importância de minerais tais como Fe, Mn, Co, Zn e Se sobre a atividade ureolítica, a síntese de proteína e a incorporação de metionina na proteína microbiana.

Segundo Barcellos (1998), vários autores têm demonstrado a importância do P sobre a atividade dos microrganismos do rúmen, salientando a diminuição na produção de ácidos graxos voláteis quando ocorre a sua deficiência, da mesma forma que a população de protozoários, o rendimento de ATP e a atividade das bactérias celulolíticas. De acordo com o pesquisador, a exigência das bactérias celulolíticas por fósforo pode ser tão elevada quanto às exigências do animal hospedeiro.

Alguns minerais têm funções específicas em nível de rúmen: sódio, cobalto, cromo, níquel, iodo e selênio. O cobalto está envolvido na síntese da vitamina B<sub>12</sub> (cianocobalamina); o sódio, no equilíbrio osmótico ruminal e o níquel, requerido pelos microrganismos é também como cofator da urease (Spears, 1984). Os microrganismos do rúmen, ao contrário dos mamíferos, não têm exigências estruturais por cálcio e fósforo, mas, possuem exigências dos mesmos para o metabolismo celular. Para o caso do fósforo, pode-se salientar a alta concentração dele no RNA e DNA comparada com a maioria das células, além da sua composição na parede e membrana celular.

A concentração de enxofre, que parece limitar o crescimento microbiano, é aproximadamente um mg/L. Além disso, a ingesta que sai do rúmen deve ter uma relação N:S entre 11 e 17:1, dando um indicio de adequada síntese de proteína microbiana (Van Soest, 1994).

Os minerais estão presentes nas células e tecidos do corpo dos animais em diferentes formas funcionais, combinações e concentrações. As concentrações dos minerais no organismo animal são reguladas por vários mecanismos para assegurar a integridade funcional e estrutural dos tecidos e células no sentido de garantir o crescimento, a saúde e a produtividade animal. Em situações de desequilíbrio ou deficiência alguns mecanismos bioquímicos são acionados para minimizar as perdas e aumentar a absorção dos minerais. No entanto, existe um limite fisiológico até o qual o animal consegue regular estes problemas, a partir do qual começam a surgir os problemas de desempenho e os sinais de deficiência mineral.

Os minerais tanto em conjunto como na forma isolada desempenham uma série de atividades importantes no organismo animal. O selênio encontra-se presente na metaloenzima glutathione peroxidase, responsável por desativar metabólitos oxigenados reativos, os quais são oriundos do metabolismo oxidativo das células e danificam a membrana das células que funcionam em presença de oxigênio (Miller et al., 1993). Além disso, esta enzima participa da formação de uma série de substâncias (prostaglandinas, leucotrienos, prostaciclina, etc) relacionadas com o funcionamento do sistema imunológico (Hurley e Doane, 1989). O cobalto, que também participa da síntese da vitamina B<sub>12</sub>, atua na regulação da hematopoiese e nas reações de transmetilação, como coenzima (Nörnberg, 1998). Outro mineral de grande importância é o cobre que participa do processo de emulsificação da gordura fazendo parte dos sais biliares. O cobre também está associado com outras enzimas como a ceruloplasmina, que

possui propriedade oxidase e atua na incorporação do ferro ao grupo heme da hemoglobina, a citocromo oxidase, que atua na cadeia respiratória reduzindo o  $O_2$  em água para eliminação pela respiração celular e, a superóxido dismutase, que atua no metabolismo dos ácidos graxos de cadeia longa. O manganês é um outro mineral importante na reprodução e na formação normal das cartilagens. Ele é necessário para a ativação da glicosiltransferase, enzima responsável pela síntese do mucopolissacarídeo e do glicosaminoglicano, responsáveis pela formação das cartilagens (Barcellos & Ospina, 1998).

O cromo é encontrado em tecidos como uma molécula organometálica composta de  $Cr^{+3}$ , ácido nicotínico, ácido glutâmico, glicina e cisteína, conhecido como fator de tolerância a glicose, o que potencializa o efeito da insulina nos tecidos (Silva Lopes e Tomich, 2001).

O iodo é necessário para a síntese dos hormônios da tireóide, tiroxina e triiodotironina, que regulam o metabolismo da energia no organismo animal (NRC, 2001).

De acordo com Cousins & Hempe (1990), o zinco é um componente essencial de vários sistemas enzimáticos. As ações metabólicas destes sistemas incluem o metabolismo de carboidratos e energia, síntese de proteína, metabolismo dos ácidos nucléicos, integridade do tecido epitelial, reparo e divisão celular e transporte e utilização de vitamina A.

A exigência dos animais pelos minerais pode ser suprida pelo fornecimento de minerais na forma orgânica, através dos minerais existentes nos alimentos ligados a outras moléculas orgânicas, ou pelo fornecimento de



minerais na forma inorgânica através da suplementação de minerais na forma de sulfatos, óxidos, carbonatos, etc.

Malleto (1995) afirma que as pesquisas na área da nutrição mineral praticamente não tiveram evolução entre as décadas de 50 e 70, pois se acreditava que este assunto havia atingido um nível de saturação. No entanto, nas últimas décadas e com o desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas laboratoriais, o volume de publicações sobre o assunto cresceu bastante. De acordo com Van Soest (1994), o tema “minerais” ainda é pouco abordado na nutrição de ruminantes e o autor acredita que ele deve ser estudado a partir das exigências dos microrganismos do rúmen e das interações entre eles.

A pesquisa com minerais é uma área de estudo bastante complexa devido a uma série de fatores: a pequena quantidade consumida, a interação entre os minerais e os demais componentes da dieta, o consumo de alimento, a reciclagem no organismo, a forma química dos minerais, o status mineral do organismo, as condições meteorológicas, o manejo dos animais, o alto custo das análises, entre outros.

De uma forma geral, os minerais desempenham importantes funções tanto para os microrganismos ruminais como para o animal. Além disso, verifica-se que existe uma grande lacuna a ser preenchida pela pesquisa no esclarecimento de dúvidas a respeito das interações entre os minerais e os outros nutrientes dos alimentos e as exigências nutricionais para alguns microminerais essenciais.

## **2.2 Complexos orgânicos de minerais**

### **2.2.1 Definições**

Minerais orgânicos ou complexos orgânicos de minerais são íons metálicos ligados a uma molécula orgânica através de ligações covalentes (Garcia, 1998).

Ammerman e Henry (1999) apresentam uma classificação, seguida das definições, utilizada nos Estados Unidos pela Association of American Feed Control Officials (AAFCO, 1999) para os produtos minerais comercializados:

1. quelato metal-aminoácido é o produto resultante da reação entre um íon metálico de um sal solúvel de metal com aminoácidos, para formar ligações covalentes de coordenação, onde o peso molecular do aminoácido deve ser inferior a 150 Daltons e o peso molecular do quelato inferior a 800 Daltons;
2. complexo metal-aminoácido é o resultado da complexação entre um sal solúvel de metal com um ou mais aminoácidos;
3. complexo metal-aminoácido específico é o resultado da complexação de um sal solúvel de metal com um ou mais aminoácidos específicos;
4. proteinato de metal é o resultado da quelação de um sal solúvel com aminoácidos e/ou proteína parcialmente hidrolisada;
5. complexo metal-polissacarídeo é o resultado da complexação de um sal solúvel com uma solução de polissacarídeos declarada como ingrediente do complexo metálico específico.

Dentro deste último grupo está incluída uma molécula denominada de carboaminofosfoquelato ou comercialmente de carboquelato (CQLT) que,

são moléculas formadas pela complexação de metais com polissacarídeos e aminoácidos (Oswaldo de Souza Garcia, 2001\*\* – Comunicação Pessoal).

### **2.2.2 Complexação e Quelação de Minerais**

Para uma melhor compreensão da complexação e quelação de minerais é necessária uma revisão de como ocorrem as reações e a ligação entre o íon metal e a molécula ligante. A tabela periódica dos elementos fornece informações úteis para os itens que serão discutidos posteriormente, como massa e raio atômico, eletronegatividade e números quânticos.

Os metais de transição caracterizam-se pela relativamente grande tendência de formar íons complexos. Um íon complexo ou composto complexo consiste de um átomo de metal central ao qual vários ânions ou moléculas estão ligados. As ligações dos complexos mostram uma grande variação quanto ao caráter, podendo ser fortemente covalentes a predominantemente iônicas (Russel, 1982).

Em geral, os complexos mais estáveis são formados pelos íons metálicos que têm uma carga positiva elevada e um pequeno raio atômico, os quais incluem os elementos de transição e os metais imediatamente seguintes (notavelmente metais III A e IV A).

Os ligantes são dispostos em torno de um íon central de maneira geométrica regular e o número de átomos diretamente ligados a este determina o número de coordenação do íon central.

---

\*\* PhD, Médico Veterinário, Gerente da Divisão de Pesquisa da Tortuga Companhia Zootécnica Agrária.

Neste sentido, eles são classificados em mono, bi ou polidentados, de acordo com o número de pontos de união com o íon metálico central. Ligantes bidentados formam anéis com o íon central e o complexo metálico resultante é chamado de quelato (Spears, 1996).

Desta forma, a quelação pode ser definida como um processo especial que gera um complexo formado entre um ligante e um íon metálico onde o ligante ou agente quelante deve conter, no mínimo, dois grupos funcionais (oxigênio, nitrogênio, fósforo e/ou enxofre) capazes de doar um par de elétrons para combinar através de ligação covalente de coordenação com um metal. Além disso, o ligante deve formar uma estrutura de anel heterocíclico com o metal (Spears, 1996). Uma ligação covalente de coordenação ocorre quando ambos elétrons compartilhados são oriundos do mesmo átomo. As ligações covalentes de coordenação são formadas quando os pares de elétrons da molécula ligante preenchem os orbitais “d” ou “p” vazios do átomo central de metal (Marchetti et al., 2000).

Várias moléculas orgânicas podem ser utilizadas como ligantes. Os aminoácidos podem formar quelatos a partir de seus grupos funcionais carboxil e  $\alpha$ -amino, além de outros grupos contidos na cadeia lateral que os diferencia. As proteínas hidrolisadas formam complexos através de ligações das extremidades ionizáveis dos aminoácidos de sua molécula. Os polissacarídeos podem se ligar aos metais através dos seus grupos carbonila e hidroxilas ou através de grupos fosfatos quando se tratam de moléculas fosforiladas.

A complexação é um fenômeno de natureza bioquímica que está presente em praticamente todos os seres vivos. Nas plantas, por exemplo, o

fitato é um complexo formado entre o ácido fítico, alguns aminoácidos, fósforo, cobre, zinco e outros íons bivalentes. Desta forma, uma das justificativas da utilização dos minerais complexados e/ou quelados seria a de que eles são absorvidos por uma rota metabólica diferenciada, talvez como um aminoácido, dipeptídeo ou carboidrato, entrando na corrente sanguínea e seguindo para um órgão alvo em função da identificação por receptores específicos (tropismo eletivo) que existem no trato digestivo e, por ventura, no sistema sanguíneo (Malleto, 1995). Na verdade, este processo de absorção e transporte diferenciado trata-se de uma vantagem quando uma molécula já é absorvida pré-formada evitando ciclos fúteis no organismo, que resultam em gastos energéticos desnecessários. No organismo animal existe uma série de substâncias metabólicas que funcionam em conjunto, envolvendo metais, aminoácidos, peptídeos e carboidratos. São exemplos a hemoglobina, os glicosaminoglicanos, as glicoproteínas e as metaloenzimas. Apesar disso, ainda não foi demonstrado qual é o mecanismo responsável pela identificação dos minerais na forma de complexos no interior do organismo animal.

Os quelatos são mais estáveis do que compostos não quelados de composição comparável e quanto mais intenso for o processo de quelação, ou seja, quanto maior for o número de anéis fechados, maior é a estabilidade da molécula formada. Este fenômeno é denominado de efeito quelato, o qual é atribuído ao aumento na entropia causado pela quelação. A estabilidade do quelato também está relacionada com o número de átomos que compõem o anel quelado. Em geral, anéis contendo 5 ou 6 membros possuem maior estabilidade do que anéis contendo 4, 7 ou 8 membros (Hynes & Kelly, 1995).

Existe uma série de aspectos químicos que envolvem a quelação e que são importantes para a compreensão do mecanismo de formação dos complexos de minerais orgânicos. No entanto, eles serão apenas citados nesta revisão:

- ✓ a descrição do equilíbrio em solução envolvendo o íon metálico, os prótons e os ligantes;
- ✓ a cinética da reação de substituição do íon metálico hidratado e o complexo formado;
- ✓ o comportamento redox do íon metálico e o seu complexo;
- ✓ reações envolvendo os ligantes coordenados.

A formação de complexos envolve competição entre um próton e o íon metálico por um ligante livre. Esta competição é afetada pelo pH da solução onde está ocorrendo a formação do complexo em questão. Além disso, íons metálicos apresentam diferentes constantes de estabilidade e, desta forma, a quantidade de metal presente em um complexo também depende da constante de estabilidade do metal em questão.

### **2.2.3 Os minerais orgânicos na nutrição de ruminantes**

Pesquisas recentes têm mostrado resultados variados em relação à utilização de complexos orgânicos de minerais. Algumas sugerem melhora na biodisponibilidade, em algumas características produtivas e/ou reprodutivas, principalmente quando os animais são levados ao estresse ou apresentam alguma exposição a fatores estressantes.

Nockels et al. (1993) verificaram que o cobre proveniente da cobre-lisina foi retido em maior proporção do que o sulfato de cobre e que mudanças

significativas ocorreram no balanço de cobre e zinco devido a suplementação e ao estresse.

Eckert et al. (1999) conduziram um estudo com ovinos comparando a suplementação de três níveis de sulfato de cobre e cobre-proteinato (10, 20 e 30 ppm da dieta). Eles verificaram um maior aumento na atividade da ceruloplasmina com a utilização do cobre-proteinato. No entanto, os níveis de cobre no fígado foram maiores com a suplementação do sulfato de cobre.

Vários autores têm relatado a formação do complexo insolúvel de minerais formado entre molibdênio e enxofre (tetratiomolibdato) que reagem com o cobre e o material particulado do rúmen (Suttle, 1974; Davis & Mertz, 1987; Allen & Gawthorne, 1987). Ward & Spears (1993) compararam a produção de amônia e a digestão da celulose através da digestibilidade *in vitro* adicionando cobre na forma de sulfato + lisina e o complexo cobre-lisina, assumindo que se este último permanecesse intacto no rúmen, ele não poderia ser desaminado pelos microrganismos e nenhuma amônia seria produzida da lisina. Com 24 horas de incubação a digestão da celulose foi menor nos tubos contendo cobre adicionado (Controle: 33,98%; Cu-lis: 2,94%; CuSO<sub>4</sub>: 9,04%). A adição de cobre diminuiu a produção de amônia com uma hora de incubação, provavelmente pela formação de cobre tetraamina, o qual é formado quando o CuSO<sub>4</sub> é dissolvido em solução aquosa contendo amônia dissolvida (Merk, 1968). Os mesmos autores verificaram a concentração de cobre com 24 horas de incubação *in vitro* utilizando 0, 4, 12 e 96 ppm de Cu na forma de sulfato e cobre-lisina com dois tampões (a base de uréia e de

enxofre). No tampão a base de uréia a concentração de cobre foi maior para a cobre-lisina do que para o sulfato com a concentração de 4 e 12 ppm.

Bailey et al. (1999) conduziram um experimento com novilhas para determinar se a forma e o nível de suplementação de cobre e zinco na presença de minerais antagonistas como o molibdênio, enxofre e ferro influenciavam o nível de cobre no fígado. Somente foi detectada diferença entre os tratamentos com 100 dias de suplementação, onde o nível de cobre no fígado foi levemente superior com o maior nível de sulfato de cobre suplementado. Não é possível determinar se a diferença encontrada entre o trabalho de Eckert et al. (1999) e Bailey et al. (1999) foi devido ao grau de estresse dos animais ou a quantidade de antagonistas na dieta destes animais.

Rojas et al. (1994) compararam algumas fontes de zinco (óxido, sulfato, zinco-metionina e zinco-lisina) quanto a concentração de cobre, zinco e metalotioneína em vários fluídos de 40 ovelhas. As ovelhas alimentadas com sulfato e zinco-metionina tiveram maior concentração hepática de zinco do que aquelas no tratamento controle e com óxido, que não diferiram entre si. A concentração de zinco no sangue com 55 dias de suplementação teve um maior aumento com zinco-lisina (1,58 µg/mL) do que com zinco-metionina, óxido ou controle (0,78; 0,62 e 0,75 µg/mL, respectivamente), mas não com sulfato (0,87 µg/mL). A suplementação com as diversas fontes de zinco diminuiu a concentração de cobre no soro sanguíneo sem que tenha ocorrido algum efeito isolado das mesmas. Os resultados destes autores sugerem uma metabolização diferente das diversas fontes no fígado, rim e pâncreas.



Gilbertson (1992) afirma que o uso dos minerais orgânicos em situações onde os minerais inorgânicos são inadequados deve ser avaliado do ponto de vista da relação custo:benefício. Segundo o autor, o aumento na disponibilidade dos minerais orgânicos (dipeptídeos quelados) deve-se a maior velocidade de absorção em relação aos minerais inorgânicos, devido a rotas de transporte diferenciadas, salientando o direcionamento destes minerais para tecidos alvos.

Ansotegui et al. (1994) verificaram que a resposta imune mediada por células em vacas foi mais rápida e significativamente maior com a utilização de cobre, zinco, cobalto e manganês na forma de complexo do que na forma de sulfato.

Alguns trabalhos têm sugerido a importância de alguns microminerais, principalmente o zinco, na manutenção da integridade epitelial de alguns tecidos. Georgievski et al. (1982) mencionam o papel importante do Cu, Zn, Se e Cr no sistema imunitário. Vários autores mostram a importância do Zn, principalmente quando ministrado na forma de molécula orgânica (quelato, transquelato, proteinato, etc.,) no aumento da resistência da glândula mamária mostrada pela diminuição da contagem das células somáticas, e de melhora nos problemas do casco com diminuição da dermatite interdigital (Moore, et al., 1988).

Chang e Mowat (1992) avaliaram a suplementação de cromo-levedura em terneiros estressados, com ou sem tratamento de oxitetraciclina. Nos primeiros 28 dias o fornecimento de 0,4 ppm de cromo aumentou o ganho médio diário em 30 % (0,6 vs. 0,78 kg/dia) e o ganho por unidade de consumo

de MS (0,123 vs. 0,156). Entretanto, estas diferenças não foram verificadas nos animais tratados com o antibiótico. Este efeito pode ser devido à redução dos níveis séricos de cortisol, dentre os quais estão os glicocorticóides, conhecidos pela supressão do sistema imune.

Georgievskii et al., (1982) sugerem que os minerais quelatados possuem maior atividade biológica o que poderia diminuir as exigências dos animais por minerais na forma iônica e aumentar sua excreção depois que a exigência mínima fosse atingida. De certa forma, os dados de Sheila da Silva Moraes \*\* (2001; comunicação pessoal) dão subsídio para o estudo desta hipótese. Os autores utilizaram concentrações inferiores de zinco na forma zinco-lisina-metionina e obtiveram resultados similares ao dobro da concentração de zinco na forma de sulfato quando a incidência de patologias em bezerros foi avaliada. De acordo com os autores, o maior número de patologias observadas nos tratamentos sem suplementação de zinco e com a suplementação de 30 mg/kg de zinco na forma de sulfato podem indicar queda, não no número de células envolvidas na resposta imune, mas na qualidade da resposta dessas células (atividade fagocítica, por exemplo) e na qualidade da queratina tegumentar.

Paik (2001) verificou redução na contagem de células somáticas e aumento na produção de leite com a suplementação de zinco-metionina e diminuição na produção de leite e aumento na proteína do plasma com cobre-metionina. Quando o autor suplementou cobre e zinco na forma de complexos

---

\*\* Pesquisadora da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

de quitosana ele verificou aumento na produção de leite e nos níveis de proteína no plasma e IgG.

Wright (2000) comparou o transporte e a utilização do zinco de três fontes (sulfato de zinco, zinco-proteinato e zinco-propionato) pelo epitélio ruminal e omasal usando câmaras parabióticas. Ele verificou que a utilização do zinco no epitélio omasal foi muito pequena e que o transporte do zinco nos dois epitélios não foi detectável. A utilização do zinco pelo epitélio ruminal aumentou com o tempo de incubação e foi maior com o zinco na forma de zinco-proteinato e tendeu a ser maior com o zinco-proteinato do que o sulfato de zinco. Numa série de outros experimentos envolvendo digestão intestinal e ruminal, ele verificou que a absorção das diferentes fontes de zinco em níveis de concentração mais baixos e sem a presença de antagonistas foram similares, enquanto que a utilização do zinco pelo epitélio foi maior nas fontes orgânicas de zinco.

Dentro do campo da suplementação mineral, Maletto (1997) demonstrou em rúmen artificial um estímulo no crescimento da população de bactérias celulolíticas e protozoários ciliados, refletido na produção de ácidos graxos voláteis (AGV), com a inclusão de carboaminofosfoquelatos (carboquelatos). De acordo com Garcia (1998), as bactérias da flora ruminal identificam e utilizam os carboquelatos para o seu metabolismo. No entanto, faltam informações científicas que identifiquem como e porque isso acontece.

Durante a ação de fatores estressantes, seja de forma aguda ou crônica, vários macro e microelementos são mobilizados pelo organismo para participarem das reações enzimáticas exigidas por esta situação, ou são

utilizados ou são eliminados. Vários autores demonstraram que o estresse aumenta significativamente a eliminação de vários minerais pela urina ou pelas fezes. Há um aumento do consumo de fósforo e da excreção do Zn, Cu, Mn, e Cr. Maletto (1997), verificou que estes microelementos quando suplementados na forma orgânica mostravam um forte efeito tamponante sobre o estresse.

O principal papel fisiológico do cromo é a sua participação no fator de tolerância a glicose (FTG), o qual potencializa a ação vital da insulina. Ele também é importante para o normal funcionamento das células  $\beta$  do pâncreas, impedindo um excesso de síntese de insulina ao estímulo da glicose (Striffler et al., 1995). Além disso, o cromo atua na manutenção da integridade dos ácidos nucléicos, o que pode ser importante no crescimento microbiano no rúmen. O cromo na forma inorgânica é absorvido em pequenas proporções e deve ser convertido em um complexo orgânico para realizar as suas funções biológicas.

Hatfield et al. (1995) avaliaram a suplementação de zinco metionina com dois níveis de proteína em ovelhas e verificaram que nos últimos 30 dias de gestação o consumo de matéria seca foi 11,3% maior para aquelas suplementadas com zinco-metionina. O efeito da zinco-metionina sobre a gestação não é claro para estes autores, que observaram tendências similares em animais confinados. Além disso, eles não utilizaram um tratamento controle com outra forma de suplementação de zinco e sim, um controle sem a inclusão de zinco. Desta forma, não é claro se o efeito no consumo é devido o tipo de suplemento ou o fornecimento do zinco propriamente dito.

Poore et al. (1995) utilizaram 84 terneiros durante 126 dias para testar o efeito da inclusão de zinco-metionina na dieta. O ganho de peso diário

não foi afetado pelo uso de zinco-metionina, embora a ocorrência de uma tendência neste sentido. Entretanto, o balanço econômico favoreceu a utilização desta fonte orgânica de zinco.

De uma forma geral, a suplementação de minerais na forma orgânica tem proporcionado melhorias em alguns aspectos que podem afetar o desempenho dos animais como a sanidade, o estresse, o consumo e a fermentação ruminal. No entanto, existe a necessidade da confirmação destas respostas com um maior número de trabalhos e da avaliação econômica dos resultados obtidos.

#### **2.2.4 Complexo metal-polissacarídeo**

Existem evidências de que os polissacarídeos com minerais protegidos oferecem uma estrutura do tipo “ponta de ramos”, onde o mineral fica no centro da molécula fazendo com que não haja reação entre os componentes da dieta, aumentando a disponibilidade e níveis plasmáticos em situações de dietas com antagonistas.

Kennedy et al. (1993) estudaram a distribuição ruminal do zinco fornecido nas formas de complexo zinco polissacarídeo e óxido de zinco. Eles estudaram a concentração de zinco no líquido ruminal livre de células, nos microrganismos associados à fase líquida e associados à fase particulada do conteúdo ruminal. Os autores verificaram que o zinco tornou-se rapidamente insolúvel no rúmen, associando-se rapidamente com os microrganismos ou partículas de alimento. A concentração de zinco no líquido ruminal livre de células foi aproximadamente 6 e 0,6% do potencial de solubilidade quando foi utilizado o zinco na forma de complexo e óxido, respectivamente. Apesar disso,

a concentração de zinco foi maior com a utilização do complexo zinco-polissacarídeo nas primeiras duas horas após a dosagem, caindo rapidamente após isso. Os autores acreditam que a utilização microbiana do zinco pode estar associada com a concentração do zinco solúvel no rúmen e, por isso, o rápido desaparecimento do zinco no líquido de rúmen pode ter acontecido mediante a utilização microbiana. A concentração de zinco nos microrganismos associados à fase líquida também foi maior com a suplementação de zinco na forma de complexo. No entanto, as concentrações de zinco representaram 19 e 12% do potencial observado no líquido ruminal livre de células para a suplementação na forma de complexo e óxido, respectivamente. Desta forma, grande parte do zinco esteve associada com a fase particulada do conteúdo ruminal. Os microrganismos associados com a fração sólida do líquido ruminal também apresentaram maior concentração de zinco com a suplementação na forma de complexo. Apesar de não estar citado no trabalho, parece lógico deduzir que o zinco suplementado na forma de óxido apresenta maior concentração associada com as partículas do alimento, praticamente não sendo utilizada pelos microrganismos do rúmen. Este trabalho apresenta um diferencial com relação ao conceito dos minerais orgânicos: o mineral na forma de metal-polissacarídeo é incorporado e/ou utilizado pelos microrganismos do rúmen, ao passo que os minerais orgânicos de uma forma geral (na forma de metal-aminoácido, metal-proteinato) são inertes em nível de rúmen para serem absorvidos por alguma via diferenciada no epitélio intestinal.

Malcolm-Callis et al. (2000) estudaram o efeito de três concentrações de zinco suplementado na dieta de bovinos (20, 100 e 200 mg

de Zn ( $\text{ZnSO}_4$ )/kg de MS) e a suplementação de 30 mg de zinco/kg de MS na forma de sulfato, complexo metal-aminoácido e complexo metal-polissacarídeo sobre o desempenho, o consumo e o perfil de ácidos graxos e colesterol. O aumento na concentração de zinco na forma inorgânica levou a diminuição linear no consumo de matéria seca e uma resposta quadrática na espessura de gordura subcutânea sem afetar outras características de carcaça e desempenho. Também não foram observadas mudanças no perfil de ácidos graxos e colesterol com a suplementação de zinco. A suplementação de zinco na forma orgânica determinou uma diminuição na porcentagem de gordura nas vísceras e aumento na gordura subcutânea, sem afetar o consumo, ganho de peso e conversão alimentar. Os autores concluíram que a concentração de zinco e a forma de suplementação (orgânica ou inorgânica) parecem não influenciar o desempenho de novilhos em terminação e praticamente não afeta a qualidade de carcaça. No entanto, pelas informações acima pode ser constatada uma semelhança entre os experimentos: o aumento da espessura de gordura subcutânea que foi verificado com a utilização de fontes orgânicas de zinco e com o aumento na concentração de zinco na forma inorgânica até 100 mg/kg de matéria seca. Esta resposta pode sugerir que a concentração total de zinco na dieta pode ser menor quando se utiliza o mineral na forma orgânica sem afetar as características produtivas. No entanto, outras respostas observadas com aumento da concentração de zinco na dieta não foram observadas com a suplementação de minerais na forma orgânica, talvez pela disparidade entre as concentrações de zinco na dieta total nos dois experimentos.

O número de trabalhos e a quantidade de fatores avaliados com a utilização de minerais na forma de metal-polissacarídeo são muito limitados. Os trabalhos desenvolvidos até o presente momento com estas moléculas encontram-se em fase exploratória e necessitam de comprovação científica para a sua utilização em situações práticas.

### **2.3 Balanço de minerais**

Os minerais podem ser excretados por uma série de vias nos ruminantes: fezes, urina, suor, leite, pêlos, etc. Alguns são excretados em maiores quantidades nas fezes (P, Cu, Zn, N) enquanto que outros são excretados por outras vias como o suor (Na, K). Hoje existe uma grande preocupação para tentar reduzir a incorporação de poluentes ao meio ambiente. A excreção fecal de minerais pode ser afetada por uma série de fatores: níveis de volumoso na dieta (Araújo et al., 2001), fonte de minerais (Spears, 1996), forma física e qualidade da dieta e a quantidade da proteína, interação entre minerais, processamento dos alimentos, idade, sexo, estado fisiológico, estado sanitário, entre outros fatores (House, 1999).

Na literatura, o número de informações envolvendo a absorção aparente e a excreção de minerais com a utilização de minerais na forma orgânica ainda é limitado. De forma geral, os trabalhos têm mostrado que os minerais na forma orgânica apresentam menor excreção fecal (P, Cu e Zn). O NRC (2001) traz algumas considerações importantes a cerca do problema ambiental que pode ser causado pela excreção dos minerais. Em virtude disso são trazidas algumas informações como o coeficiente de absorção dos macro e



microminerais essenciais para algumas categorias de alimentos e algumas formas de aumentar a eficiência de utilização dos mesmos.

Hatfield et al. (2001) verificaram maior concentração de zinco nas fezes de ovinos alimentados com complexo zinco-aminoácido comparadas com zinco na forma de sulfato. Em contrapartida, não encontraram diferença na concentração de cobre nas fezes entre a suplementação com sulfato de cobre e cobre-aminoácido complexo.

Nockels et al. (1993) avaliaram a absorção aparente e a excreção fecal de zinco e cobre em bezerros alimentados com fontes orgânicas e inorgânicas. Os autores observaram aumento na absorção aparente de cobre com a utilização de cobre-lisina em relação a sulfato de cobre.

Spears (1989) realizou dois experimentos com ovinos alimentados com zinco na forma de óxido e zinco-metionina. No primeiro, ele utilizou uma dieta semi-purificada e verificou que a excreção fecal de zinco (mg/dia) foi levemente inferior com a suplementação de zinco-metionina, enquanto que a absorção aparente foi similar para as duas fontes. A absorção aparente de nitrogênio foi similar para os dois tratamentos. No segundo, ele alimentou os animais com feno de gramínea e não observou diferenças na absorção aparente e excreção de zinco, embora a excreção fecal tenha sido levemente inferior com a utilização de zinco-metionina. No entanto, a retenção de nitrogênio tendeu a ser maior mesmo que a absorção aparente não tivesse sido afetada.

Os resultados dos trabalhos de pesquisa mostram que existem moléculas de minerais na forma orgânica que se diferenciam pela forma

química e modo de atuação. Algumas são compostas por minerais ligados a aminoácidos, outras por minerais ligados a peptídeos e outras ligadas a sacarídeos. Além disso, os minerais ligados a peptídeos e aminoácidos parecem atuar em nível de metabolismo animal de forma isolada, enquanto que aqueles ligados a polissacarídeos atuam em nível ruminal podendo ter reflexos também em nível de animal. No entanto, o pequeno número de trabalhos envolvendo esta última molécula não possibilita o estabelecimento de uma definição de sua forma principal de atuação e, portanto, necessita ser melhor avaliada. Além disso, existe uma grande expectativa de que o uso dos minerais ligados a moléculas orgânicas possa diminuir a poluição ambiental através de uma menor excreção de minerais pelas fezes e urina.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Local e duração do experimento**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Ensino Zootécnico (LEZO) “Professor Geraldo Veloso Nunes Vieira” e as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Ruminantes e no Laboratório de Nutrição Animal “Dulphe Pinheiro Machado” do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As análises de minerais foram realizadas no Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O experimento foi iniciado em março e concluído em maio de 2001 e terminado em outubro do mesmo ano.

#### **3.2 Animais experimentais**

Foram utilizados 12 bezerros Hereford machos e inteiros oriundos de uma propriedade localizada no município de Porto Alegre-RS. Os animais chegaram com aproximadamente quatro meses de idade pesando em torno de 70 kg. Os animais não se apresentavam num bom estado e foram alimentados durante 30 dias com uma ração comercial com 21% de proteína bruta. Posteriormente, os animais foram mantidos por duas semanas em piquete com

água e pasto. Uma semana antes do início deste experimento os animais foram dosados com ivermectina.

No início do experimento os bezerros tinham um peso médio de 90 kg e no seu final, 100 kg. Nos apêndices 1 e 2 é possível observar a variação individual do peso vivo dos animais, no primeiro e segundo período experimental, respectivamente.

### **3.3 Tratamentos**

Foram comparados quatro tratamentos que consistiram na suplementação dos animais com sais mineralizados que continham percentuais diferenciados de carboaminofosfoquelatos, ou seja, níveis diferenciados de minerais complexados a moléculas de sacarídeos e aminoácidos. A preparação dos suplementos minerais, bem como a produção dos carboaminofosfoquelatos (segredo industrial), foram feitos especialmente para este experimento pela empresa Tortuga – Companhia Zootécnica Agrária. Os suplementos minerais foram produzidos com os níveis semelhantes ao produto comercial Fosbovi Reprodução.

Os tratamentos avaliados foram quatro níveis de inclusão de minerais na forma de carboquelatos no mesmo sal mineralizado (SM), fornecido aos animais:

- ✓ T1: SM na forma iônica (sem carboquelatos);
- ✓ T2: SM com 10 % de minerais na forma de carboquelatos (30 mg/kg PV);
- ✓ T3: SM com 20 % de minerais na forma de carboquelatos (60 mg/kg PV);
- ✓ T4: SM com 30 % de minerais na forma de carboquelatos (90 mg/kg PV).

Todos os animais receberam o sal mineralizado no nível equivalente a 0,03 % do peso vivo. No entanto, foi feito um ajuste para o nível de fósforo da mistura mineral apresentado pelo fabricante, o qual apresentava uma pequena variação devido à inclusão dos carboquelatos.

Os sais mineralizados prontos para o consumo dos animais chegaram um pouco antes do início do experimento, acondicionados em sacos de papel forrados com sacos plásticos impermeáveis. Eles foram analisados para o conhecimento da composição total de alguns macro e microminerais, independente de sua forma (orgânica ou inorgânica). As composições dos sais encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Composição mineral total (forma orgânica e inorgânica) dos sais mineralizados (tratamentos).

Mineral	Nível de CQLT *(%)				Alimentos**	
	0	10	20	30	Casca soja	Feno
Cálcio, %	7,20	6,60	6,40	7,40	0,63	0,27
Fósforo, %	9,40	8,00	9,20	8,20	0,18 e 0,20	0,36 e 0,39
Enxofre, %	2,20	2,00	2,80	3,20	0,1 e 0,09	0,18 e 0,16
Sódio, %	22,00	22,00	18,00	17,00	0,01	0,17
Magnésio, %	0,45	0,42	0,44	0,44	0,25	0,19
Potássio, %	0,34	0,16	0,26	0,34	1,51	1,80
Manganês, %	0,10	0,11	0,12	0,14	26	62
MO, %	8,68	12,88	15,24	17,65	-	-
Cobre, ppm	1300	1500	1300	1200	4 e 4	5 e 7
Zinco, ppm	3900	4500	4100	3600	64 e 49	24 e 23
Ferro, ppm	5400	3000	4600	6000	604	224

\* Carboquelatos

\*\* Os valores de K, Ca, Mg, Fe, Mn, e Na da casca de soja e do feno de coast-cross foram retirados do NRC (2001). Os valores de P, S, Cu e Zn referem-se ao período 1 e 2, respectivamente.

### 3.4 Alimentos e Alimentação

#### 3.4.1 Feno

O volumoso utilizado foi o feno de coast cross (*Cynodon dactylon* L.) proveniente do município de Rio Pardo–RS. O coast cross é uma gramínea perene e hábito estolonífero e da família das bermudas comumente utilizado no Rio Grande do Sul. O feno foi oferecido aos animais *ad libitum* e sem processamento (inteiro) e a sua composição mineral e bromatológica média encontram-se nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

#### 3.4.2 Casca de soja

A casca de soja foi utilizada neste experimento com o objetivo de evitar a falta de nitrogênio ruminal, além de não apresentar nenhum mineral em proporções muito elevadas. Este ingrediente foi oferecido aos animais num nível equivalente a 0,75% do peso vivo (PV).

A casca de soja utilizada no experimento foi adquirida no município de Canoas-RS. Ela veio moída e a sua composição mineral e bromatológica média encontram-se nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

TABELA 2. Composição químico-bromatológica da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) do feno de coast-cross e da casca de soja e utilizados em cada período experimental, expressos em base seca.

PERÍODO	FRAÇÕES NUTRITIVAS DO FENO DE COAST-CROSS				
	MS (%)	MO (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)
I	83,52	92,91	13,47	82,06	43,28
II	83,35	92,56	15,58	82,25	43,90
PERÍODO	FRAÇÕES NUTRITIVAS DA CASCA DE SOJA				
	MS (%)	MO (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)

I	86,68	95,32	16,46	73,30	47,43
II	88,25	95,43	13,28	66,95	48,62

### 3.5 Condução do experimento

Foi conduzido um experimento de digestibilidade *in vivo* convencional realizado em dois períodos experimentais de 21 dias. Cada período foi dividido em duas fases: uma fase de adaptação à dieta experimental com duração de 14 dias e uma fase de coleta das sobras de alimentos e das fezes para determinação da digestibilidade, com sete dias de duração. Os animais foram pesados antes de entrar nas gaiolas metabólicas e a cada sete dias para o ajuste da oferta da casca de soja e o sal mineralizado.

Durante todo o período experimental o feno e água foram oferecidos *ad libitum*, enquanto que a casca de soja e o sal mineralizado foram fixados de acordo com o peso vivo (0,75 e 0,03% do PV, respectivamente). A oferta de sal mineralizado foi feita baseada em informações de experimentos realizados anteriormente (Ospina et al., 2000; Langwinski et al., 2001c). A oferta da casca de soja e do sal mineralizado foi dividida em duas refeições diárias: a primeira, às 8:30 horas e a segunda, às 16:30 horas. O sal mineralizado foi misturado junto com a casca de soja, os quais foram oferecidos em baldes de plástico de 3,5 L. O feno foi oferecido de 3 a 4 vezes por dia, de acordo com o consumo dos animais.

Na fase de coleta de fezes (3<sup>a</sup> semana), o feno foi oferecido num nível superior equivalente a 20% do maior consumo obtido na 2<sup>a</sup> semana de adaptação. Com este procedimento, procurava-se não deixar sobras menores que 10% do feno oferecido, conforme Rymer (2000). Nesta fase, todo o feno

ofertado foi homogeneizado, pesado, armazenado e amostrado na última semana de adaptação. As sobras de feno foram pesadas e amostradas (10% das sobras) diariamente antes da refeição da manhã para posterior análise no laboratório. As fezes foram coletadas em bacias plásticas de 10 L várias vezes durante o dia para evitar que ocorresse a contaminação das fezes quando um animal urinasse nas bandejas de coleta. Pela manhã, após as refeições dos animais (em torno das 10:00 horas), as fezes eram pesadas, amostradas (10% da produção fecal) e armazenadas em refrigerador.

Os coeficientes de digestibilidade (CD) aparente para matéria seca (CDMS), matéria orgânica (CDMO), fibra em detergente neutro (CDFDN), fibra em detergente ácido (CDFDA) e hemicelulose (CDHem) foram calculados a partir da seguinte fórmula:

$$CD\% = \frac{(g \text{ nutriente oferecido} - g \text{ nutriente sobrou} - g \text{ nutriente nas fezes})}{(g \text{ nutriente oferecido} - g \text{ nutriente sob})} * 100$$

O consumo de nutrientes digestíveis (CND) (matéria seca (CMSD) e matéria orgânica (CMOD)) obtido na fase de consumo máximo foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$CND (\% \text{ do peso vivo}) = (kg \text{ nutriente consumido} * CD) / kg \text{ de peso vivo} * 100$$

A excreção fecal dos minerais (EFM), foi calculada a partir da concentração de minerais nas fezes e a produção fecal, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$EFM (g \text{ ou mg/kg de PV}) = [concentração mineral nas fezes (\% \text{ ou mg/kg}) * produção fecal (kg MS)] / [PV (kg)]$$



### **3.6 Preparação das amostras**

Ao final de cada período experimental, as amostras de todos os dias (sobras de feno e fezes) da fase de coleta de cada animal foram homogeneizadas para a retirada de uma amostra composta. As amostras dos alimentos, sobras e fezes foram colocadas em estufa de ar forçado a 60°C por 72 horas para determinação da matéria seca parcial e conservação das amostras. Estes materiais foram moídos em peneira de 1mm e armazenados em potes plásticos para posterior análise.

Após a determinação da matéria seca parcial (60°C), as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm de diâmetro. Todas as amostras foram acondicionadas em potes plásticos e identificadas para posterior análise.

### **3.7 Determinações**

As determinações de matéria seca (MS) a 105°C, matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e nitrogênio (Método Kjeldahl) foram feitas segundo o AOAC (1990).

As determinações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram feitas conforme a técnica de Van Soest & Robertson (1985).

As análises de fósforo (P) foram realizadas por colorimetria, enquanto que as análises de cobre (Cu), zinco (Zn) e enxofre (S) foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica, conforme Tedesco et al. (1995).

### 3.8 Delineamento experimental

Foi utilizado um delineamento em blocos casualizados dividindo-se os animais em de acordo com o peso vivo inicial em leves, médios e pesados. Foram utilizados 12 animais e dois períodos experimentais, deixando como resultado seis repetições por tratamento. Os animais foram sorteados aos tratamentos dentro de cada bloco constituído por quatro animais (um tratamento/bloco).

### 3.9 Análises estatísticas

O modelo matemático geral utilizado para analisar os dados foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + T_j + P_k + BT_{ij} + BP_{ik} + TP_{jk} + \varepsilon_{ijkl}, \text{ onde:}$$

$$Y_{ijkl} = \text{l-ésima resposta do k-ésimo período e j-ésimo tratamento}$$

alocado no i-ésimo bloco,

$$\mu = \text{efeito médio,}$$

$$B_i = \text{efeito do i-ésimo bloco (i=1, 2, 3, 4),}$$

$$T_j = \text{efeito j-ésimo tratamento (j=1, 2, 3, 4),}$$

$$P_k = \text{efeito do k-ésimo período (p=1,2)}$$

$$BT_{ij} = \text{ij-ésima interação entre o i-ésimo bloco e o j-ésimo tratamento.}$$

$$BP_{ik} = \text{ik-ésima interação entre o i-ésimo bloco e o k-ésimo período.}$$

$$TP_{jk} = \text{jk-ésima interação entre o j-ésimo tratamento e o k-ésimo}$$

período.

$$\varepsilon_{ijkl} = \text{erro associado a ijkl-ésima observação}$$

Todos os dados foram submetidos ao teste do Blox-Plot para verificação de “outliers” (dados destoantes), os quais foram retirados da análise. O consumo de cada mineral foi analisado para constatar se havia

diferença entre os tratamentos. Para o caso do cobre, onde o consumo foi diferente entre os tratamentos, este foi utilizado como covariável na análise de variância da excreção fecal.

Os dados foram submetidos à análise de regressão decompondo os três graus de liberdade de tratamentos em regressão linear, quadrática e cúbica.

Quando o consumo foi expresso em relação ao peso vivo os graus de liberdade dos blocos foram incorporados ao erro experimental, não constituindo uma causa de variação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Coeficientes de digestibilidade

Os valores dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, matéria orgânica, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e hemicelulose expressos em % encontram-se na Tabela 3. Os valores individuais dos coeficientes de digestibilidade aparente por animal, período e tratamento encontram-se nos Apêndices 3 e 4. As respectivas análises de variância encontram-se nos Apêndices 5 e 6.

TABELA 3. Médias dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), da matéria orgânica digestível (MO), da fibra em detergente neutro (FDN), da fibra em detergente ácido (FDA) e da hemicelulose (Hem) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

Digestibilidade	% de carboquelatos			
	0	10	20	30
MS, %	63,92	66,11	65,37	65,17
MO, %	65,30	67,49	66,72	66,53
FDN, %	70,28	72,47	72,21	71,61
FDA, %	61,53	63,51	63,66	62,64
Hem, %	80,88	83,27	82,60	82,36

A análise de variância não detectou efeito significativo para a digestibilidade aparente da MS, MO e FDA com a inclusão de carboquelatos no sal mineralizado ( $P > 0,1$ ). Na análise de variância para a digestibilidade da FDA foram detectadas diferenças entre os períodos experimentais, o que pode ter ocorrido em função da composição do feno e da casca de soja nos dois

períodos ou pelo aumento do peso vivo dos animais e, conseqüentemente, da capacidade digestiva dos mesmos.

A falta de resposta na digestibilidade aparente destas frações está de acordo com os dados apresentados por Ospina et al. (2000) que não encontraram respostas significativas na digestibilidade aparente de algumas frações nutritivas com a utilização de níveis crescentes de carboquelatos no sal mineralizado. No entanto, os autores citam que as exigências de proteína e energia dos animais não foram integralmente preenchidas, o que pode ter limitado a resposta aos níveis de carboquelatos no sal mineralizado.

De acordo com a Tabela 3 e a Figura 1 pode-se verificar que os níveis de carboquelatos apresentaram comportamento quadrático na digestibilidade aparente da hemicelulose ( $P < 0,05$ ) e da FDN ( $P < 0,1$ ). A análise de regressão dos coeficientes de digestibilidade aparente da hemicelulose (CDAHem) e da FDN (CDAFDN) produziram as seguintes equações:

$$\text{CDAHem (\%)} = 81,06 + 0,078 * \text{CC} - 0,0007 * \text{CC}^2 \quad (r^2 = 0,085),$$

$$\text{CDAFDN (\%)} = 70,23 + 0,074 * \text{CC} - 0,0007 * \text{CC}^2 \quad (r^2 = 0,21), \text{ onde}$$

CC é o consumo de minerais na forma de carboquelatos em mg por kg de peso vivo.

Como pode ser verificado, a correlação entre os dados obtidos e a estimativa através das equações de regressão foi muito baixa, invalidando a utilização das mesmas para a predição dos coeficientes de digestibilidade destas frações.

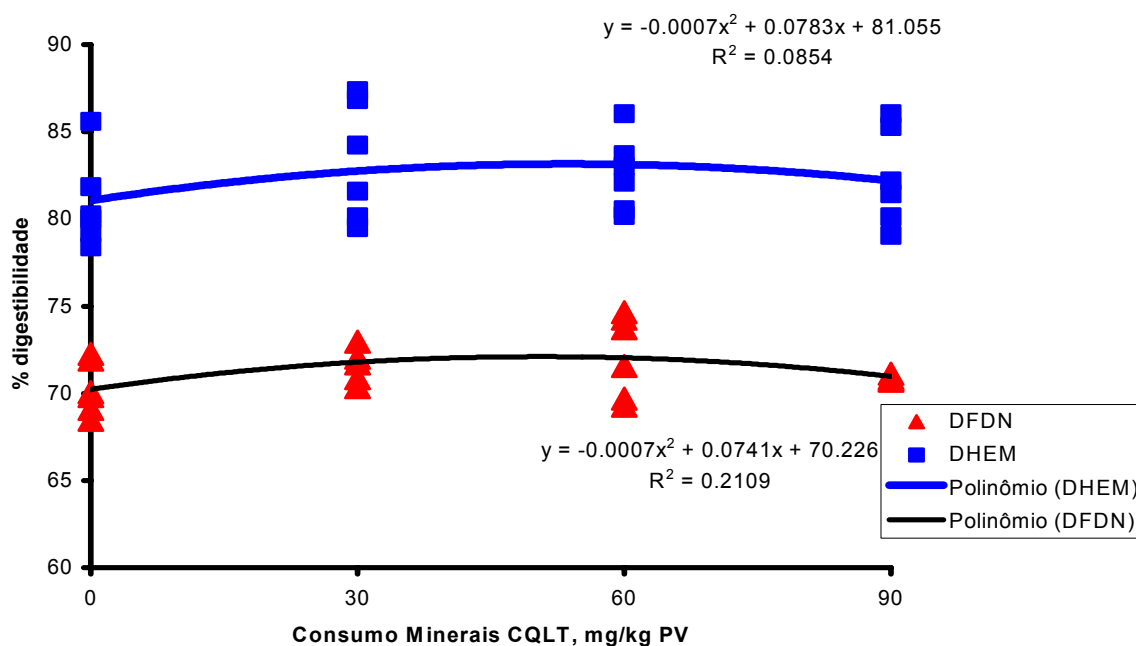


FIGURA 1 Digestibilidade aparente da hemicelulose e da fibra em detergente neutro com consumo de minerais na forma de carboquelatos.

Além disso, a análise de variância da digestibilidade da FDA detectou diferença significativa entre os blocos, sendo ela menor para o bloco dos animais mais leves (bloco 1: 69,75%), do que aqueles de peso intermediário e pesados (bloco 2: 71,80% e bloco 3: 71,60%). De acordo com Van Soest (1994), animais maiores (mais pesados) apresentam maior taxa de ruminação devido a maior eficiência de mastigação. Para a digestibilidade da hemicelulose, também foram detectadas diferenças para a interação blocos x período, o que pode ser resultado da variação na composição dos alimentos e do peso dos animais entre os períodos e dos animais do bloco 3, que apresentaram um coeficiente de digestibilidade superior aos demais blocos no período 1.

A digestibilidade aparente estimada da hemicelulose e da fibra em detergente neutro foi máxima com um consumo de minerais na forma de

carboquelatos de aproximadamente 54 mg por kg de peso vivo, ou seja, com a inclusão de 17,8 % de carboquelatos no sal mineralizado, considerando que o nível de 10% representava um consumo de 30 mg por kg de peso vivo de minerais na forma de carboquelatos. Provavelmente, alguns minerais que são prontamente indisponibilizados no rúmen (por exemplo, o zinco) quando na forma inorgânica podem ser limitantes para a fermentação das frações que compõem a fibra. O fornecimento destes minerais na forma de complexo metal-polissacarídeo numa forma disponível para os microrganismos ruminais pode diminuir este problema. No entanto, os resultados de pesquisa de Ospina et al. (2000) apresentam indícios de que uma quantidade elevada dos minerais nesta forma tende a prejudicar a fermentação ruminal, diminuindo numericamente a digestibilidade e o consumo de algumas frações da dieta.

Os dados indicam que a ação dos minerais (zinco, cobre) na forma de carboquelatos ocorre numa fração bastante restrita da fibra (FDN e hemicelulose) e, por isso, a digestibilidade aparente das demais frações nutritivas não apresentaram resposta significativa ( $P > 0,1$ ) embora houvesse um comportamento predominantemente quadrático nas suas respostas. Estas informações estão parcialmente de acordo com os dados apresentados por Ospina et al. (2000) que encontraram diminuição numérica nas médias de digestibilidade das frações nutritivas com a utilização de 20% de carboquelatos, sugerindo algum efeito de toxidez proporcionado talvez pela maior solubilidade dos minerais na forma de carboquelatos ou pelo aumento na taxa de diluição (Ospina et al. 1999).

A inclusão de minerais na forma orgânica pode ter facilitado o acesso dos microrganismos ruminais a alguns minerais (Cu, Zn) importantes na degradação da fibra e para o crescimento e desenvolvimento da população microbiana que degrada a fibra. Provavelmente, alguns destes minerais importantes para a utilização dos microrganismos ruminais não estão prontamente disponíveis quando encontrados na forma inorgânica, como foi verificado por Kennedy et al. (1993), que constataram que quase todo o zinco na forma inorgânica que chegava no rúmen rapidamente tornava-se insolúvel.

Os resultados encontrados dão um indício de que existe um nível adequado de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos que pode ser utilizado no sal mineralizado e influenciar positivamente a digestibilidade de algumas frações nutritivas. Em contrapartida, níveis muito elevados ou inferiores de minerais na forma de carboquelatos podem diminuir a digestibilidade da fração fibrosa da dieta. No entanto, a magnitude das variações na digestibilidade e o pequeno efeito proporcionado por estas moléculas permitiram encontrar apenas pequenas diferenças na digestibilidade da FDN e da hemicelulose.

#### **4.2 Consumo das frações nutritivas**

Os valores médios de consumo de matéria seca total, matéria seca de feno, matéria orgânica, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e hemicelulose expressos em percentagem do peso vivo/dia (%PV/dia) encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Os valores individuais de consumo por animal, período e tratamento encontram-se nos Apêndices 7, 8, 10, 11, 13 e



14. As respectivas análises de variância encontram-se nos apêndices 9, 12 e 15.

TABELA 4. Médias de consumo de MS de feno (CFENO), de casca de soja (C casca) e de matéria seca total (CMS) expressos em % PV por dia, observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	% de carboquelatos			
	0	10	20	30
CFENO, % PV/dia	1,83	1,80	1,91	1,93
C casca, % PV/dia	0,64	0,65	0,65	0,65
CMS, % PV/dia	2,47	2,45	2,56	2,58

De acordo com as análises de variância e as médias apresentadas na Tabela 4 e 5, a inclusão de níveis crescentes de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado não afetou significativamente o consumo de MS de feno, de MS total, de MO, de FDN, de FDA e hemicelulose ( $P > 0,10$ ).

TABELA 5. Médias de consumo de matéria orgânica (CMO), de fibra em detergente neutro (CFDN), fibra em detergente ácido (CFDA) e hemicelulose (Chem) expressos em % PV por dia, observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	% de carboquelatos			
	0	10	20	30
CMO, % PV/dia	2,32	2,29	2,39	2,41
CFDN, % PV/dia	1,97	1,95	2,04	2,05
CFDA, % PV/dia	1,09	1,08	1,13	1,13
Chem, % PV/dia	0,87	0,87	0,90	0,91

Spears (1989) não encontrou diferença significativa no consumo para ovinos suplementados com óxido de zinco e zinco-metionina. Os resultados também foram semelhantes aos obtidos por Ospina et al. (2000), que não encontraram diferenças no consumo de MS ao avaliarem a inclusão de 10, 15 e 20% de carboquelatos no sal mineralizado oferecido para bezerros

alimentados com feno de campo nativo de baixa qualidade. No entanto, existem algumas diferenças importantes entre o trabalho destes autores e este experimento. No trabalho de Ospina et al. (2000) o delineamento experimental foi o quadrado latino 4x4, a oferta do sal mineralizado foi *ad libitum*, a composição dos sais mineralizados foi diferente e a dieta não fornecia proteína e energia suficientes para a manutenção dos animais. Para a avaliação da inclusão de uma forma diferenciada de mineral, onde as respostas esperadas não são muito grandes, a não ser no caso de deficiências específicas ou generalizadas de minerais, o número de animais utilizados como repetições deve ser de no mínimo seis, o que não foi possível no delineamento utilizado por este autor. A oferta de sal mineralizado *ad libitum* não permitiu avaliar o efeito dos níveis de inclusão dos carboquelatos no consumo das frações nutritivas porque o consumo de minerais na forma de carboquelatos praticamente não foi diferente entre os níveis testados. No entanto, estas informações permitem verificar a regulação do consumo de minerais feita pelos animais na forma de carboquelatos. O trabalho de Ospina et al. (2000) mostrou apenas diminuição numérica no consumo de sal com o aumento dos níveis de carboquelatos. No mesmo trabalho, os autores acreditam que a falta de resposta no consumo possa ter ocorrido devido à baixa qualidade da dieta, que não atendia as exigências nutricionais de proteína e energia dos bezerros.

Neste trabalho, a qualidade do feno e a suplementação com casca de soja permitiram que as exigências de manutenção dos bezerros fossem supridas. Além disso, o consumo de sal mineralizado foi fixado em relação ao

peso vivo de maneira que o aumento nos níveis de fornecimento de carboquelatos pudessem expressar alguma resposta no consumo dos animais.

Langwinski et al. (2001c) verificaram aumento no consumo de feno e matéria seca total em bezerros suplementados com concentrado (21% PB) recebendo sal mineralizado com 10% de carboquelatos produzidos pela Tortuga Companhia Zootécnica Agrária em relação àqueles recebendo mineral na forma inorgânica. Neste trabalho, a proteína e a energia não foram limitantes para o desenvolvimento dos bezerros. Os autores acreditam que os carboquelatos atuem como ativadores da fermentação ruminal, principalmente em situações onde são utilizadas dietas equilibradas com volumosos de baixa qualidade. Kennedy et al. (1993) verificaram que o zinco na forma de complexo metal-polissacarídeo apresentou maior solubilidade ruminal e maior concentração nos microrganismos associados às fases sólida e líquida do conteúdo ruminal quando comparados ao óxido de zinco. Da mesma forma, isto pode ter ocorrido com a utilização dos minerais na forma de carboquelatos, aumentando a solubilidade dos minerais em nível de rúmen, bem como a sua utilização pelos microrganismos. Outro possível efeito seria o sinergismo entre os minerais na forma de carboquelatos e a presença de ionóforo do suplemento utilizado no experimento, já que este afeta a absorção aparente de alguns minerais (N, Mg, P, Zn; Spears, 1990). Além disso, provavelmente ocorreu aumento na taxa de passagem ruminal (Van Soest, 1994) e também houve modificação do pH ruminal com a suplementação protéica-energética (1,25% do peso vivo), bem como da população bacteriana do rúmen, podendo ser fatores que contribuíram para o aumento no consumo observado.

No presente experimento, a suplementação com a casca de soja, que sabidamente não promove grandes mudanças com relação ao pH e taxa de passagem ruminal pode ter contribuído para que não fosse verificado um aumento significativo no consumo de matéria seca com a utilização de carboquelatos, da mesma forma que foi observado no trabalho de Ospina et al. (2000), onde a dieta foi constituída apenas com feno de baixa qualidade.

Malcolm-Callis et al. (2000) também não verificaram diferenças no consumo de matéria seca entre a suplementação de 30 mg de zinco na forma de sulfato e de complexo metal-aminoácido e complexo metal-polissacarídeo. A concentração de zinco na dieta ficou semelhante ao deste experimento, ou seja, ao redor de 60-70 mg/kg de matéria seca. No entanto, estes autores utilizaram um número bem maior de animais (83) com peso inicial mais elevado (252 kg) e uma dieta com predomínio de concentrado.

Existe uma série de fatores que afetam a biodisponibilidades dos minerais no trato digestivo dos animais como a interação entre os minerais e os outros componentes dos alimentos (Spears, 1989; Wapnir, 1998). Isso pode explicar em parte porque a utilização de alguns minerais na forma orgânica funciona em algumas situações e não funciona em outras, embora sejam bastante similares. Exemplos disso, são os trabalhos de Kincaid et al. (1986) e de Wittenberg et al. (1990) que utilizaram cobre na forma de proteinato obtendo resultados conflitantes. Uma das explicações para tal fato é a possível interação entre o cobre na forma inorgânica e o molibdênio e o enxofre presentes no volumoso.

Como pode ser visto, a comparação entre os resultados obtidos nos trabalhos publicados fica um tanto difícil pelas variáveis que estão incluídas em cada um deles e que podem interferir na biodisponibilidade dos minerais para absorção e/ou utilização pelos microrganismos do rúmen.

As evidências observadas a campo de que a utilização de minerais na forma de carboquelatos aumenta o consumo de matéria seca dos animais não foram verificadas neste experimento. Apesar das tendências de aumento, a variabilidade observada no consumo não permitiu observar diferenças significativas entre os tratamentos.

#### **4.3 Consumo de matéria orgânica digestível**

Os valores de consumo de matéria orgânica digestível expresso em kg/dia e percentagem do peso vivo/dia (%PV/dia) encontram-se na Tabela 6. Os valores individuais de consumo por animal, período e tratamento encontram-se nos Apêndices 16 e 17. A respectiva análise de variância encontra-se no apêndice 18.

TABELA 6. Médias de consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	0	10	20	30
CMOD, kg/dia	1,53	1,66	1,66	1,68
CMOD, % PV/dia	1,51	1,55	1,60	1,60
CMOD, g UTM/dia	47,85	49,54	50,66	51,12

As médias apresentadas na Tabela 6 mostram o comportamento linear crescente do consumo de matéria orgânica digestível e do consumo de matéria seca digestível ( $P < 0,10$ ; Figura 2), expressos em % do peso vivo.

A análise de variância do consumo de matéria orgânica digestível através da técnica da análise de regressão detectou diferença significativa para o consumo de minerais na forma de carboquelatos ( $P < 0,1$ ). A equação de regressão foi a seguinte:

$$\text{CMOD (\%PV)} = 1,5335 + 0,001 * \text{CC} \quad (r^2 = 0,15), \text{ onde}$$

CMOD, é o consumo de matéria orgânica digestível e CC, é o consumo de carboquelatos em mg/kg de peso vivo.

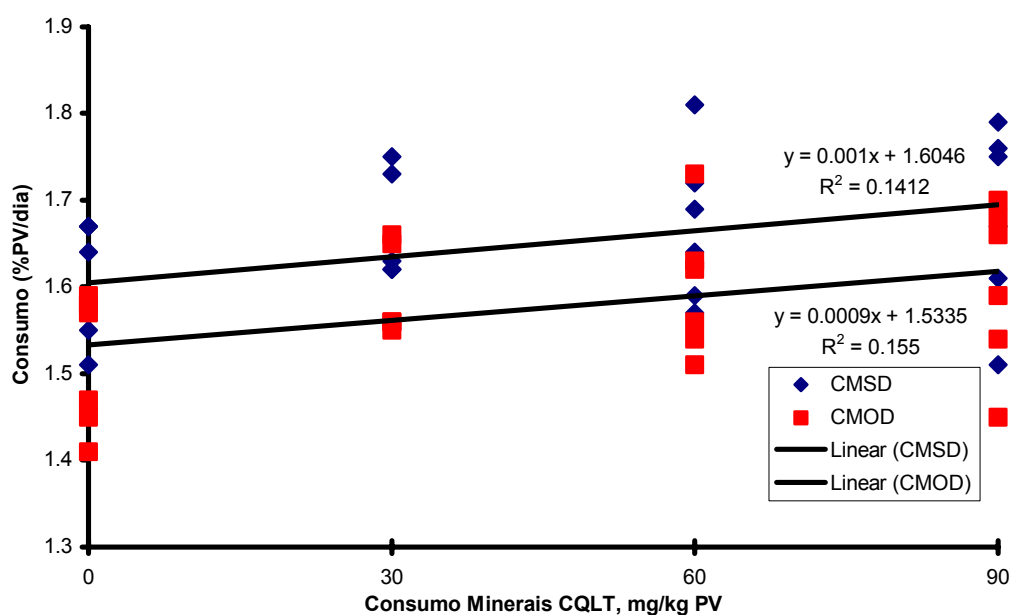


FIGURA 2. Consumo de matéria seca e matéria orgânica digestíveis com diferentes níveis de carboquelatos no sal mineralizado.

Novamente, a correlação entre os dados obtidos e estimados pela equação de regressão foi muito baixa. Pode-se verificar que, em média, houve um aumento de 0,001% do peso vivo no consumo de matéria orgânica

digestível para cada mg de inclusão de minerais na forma de carboquelatos. Para o maior nível de inclusão de carboquelatos no sal mineralizado, ou seja, para o consumo de 90 mg de minerais nesta forma houve um aumento de 5,6% no consumo de matéria orgânica digestível.

Langwinski et al. (2001b) também encontraram aumento no consumo de matéria seca e matéria orgânica digestível com a utilização de 10% de carboquelatos no sal mineralizado. Os autores acreditam que os minerais na forma orgânica possam ser utilizados de uma maneira mais eficiente na digestão da fibra, o que foi comprovado pela tendência de aumento no consumo de fibra em detergente ácido digestível. Estas informações estão de acordo com este experimento, onde o aumento no consumo de matéria orgânica digestível provavelmente esteve relacionado com o aumento numérico no consumo e no comportamento quadrático na digestibilidade da fibra em detergente neutro ( $P < 0,1$ ) e da hemicelulose ( $P < 0,1$ ) com os níveis crescentes de carboquelatos (Figura 1).

A importância do aumento no consumo de matéria orgânica digestível está no fato dela estar estreitamente relacionada com o consumo de nutrientes digestíveis e o consumo de energia dos animais (Van Soest, 1994). Esta resposta é de grande interesse para animais de exigências nutricionais altas, como bovinos de leite e animais em crescimento rápido. Segundo Lee et al. (1999) a utilização de minerais quelatados justifica-se apenas em condições especiais onde os animais apresentam exigências nutricionais elevadas e/ou são submetidos a situações estressantes em que o consumo pode ser

diminuído, pois o seu custo é mais elevado do que os minerais na forma inorgânica.

No presente experimento, a utilização de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos na alimentação de bezerros mostrou um pequeno aumento no consumo de matéria orgânica digestível.

#### 4.4 Excreção fecal de minerais

##### 4.4.1 Nitrogênio

Os valores individuais de consumo e excreção de nitrogênio expressos em gramas/dia, gramas/kg de peso vivo/dia e gramas por unidade de tamanho metabólico/dia encontram-se nos Apêndices 19 e 20. As médias de consumo e de excreção fecal expressas em relação ao peso vivo encontram-se na Tabela 7. A respectiva análise de variância encontra-se no Apêndice 21.

TABELA 7. Médias de consumo e de excreção fecal de nitrogênio (EFN) por dia expressas como g/kg PV/dia e em relação ao peso vivo (g/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	<i>Nível de Carboquelatos (%)</i>			
	0	10	20	30
Consumo, g/kg PV/dia	0,537	0,534	0,555	0,560
EFN, g/kg PV/dia	0,202	0,180	0,194	0,196

O consumo aproximado de nitrogênio total ultrapassou em 10% as exigências preditas pelo NRC (1996), considerando um ganho de peso aproximado de 500 g/d.

A excreção fecal de nitrogênio é uma medida que pode ser utilizada para quantificar a emissão deste mineral para o meio, podendo ser afetada por



vários fatores que promovem a atividade microbiana pós-ruminal (Van Soest, 1994). A análise de variância constatou que os níveis de carboquelatos apresentaram comportamento quadrático significativo ( $P < 0,01$ ) para a excreção fecal de nitrogênio expressa em gramas/kg de peso vivo. A equação foi a seguinte:

$$\checkmark \text{EFN (g/kg PV)} = 0,1998 - 0,00062 \cdot \text{CC} + 0,000007 \cdot \text{CC}^2 \quad (R^2 = 0,19)$$

Pode-se verificar que o coeficiente de correlação é extremamente baixo devido ao grande número de fatores que afetam a excreção fecal de nitrogênio. O ponto de mínima excreção fecal de nitrogênio expresso em mg/kg de peso vivo obtido a partir da primeira derivada da equação quadrática foi encontrado com um consumo aproximado de minerais na forma de carboquelatos de 44 mg por kg de peso vivo ou com aproximadamente 15,50% de inclusão de carboquelatos no sal mineralizado.

Spears (1989) não observou diferenças na excreção fecal de nitrogênio (mg/dia) com a suplementação de zinco na forma orgânica (zinco-metionina) para novilhas, embora tenha verificado valores numericamente inferiores com esta forma de suplementação mineral.

Langwinski et al. (2001a) verificaram respostas com a utilização de minerais na forma de carboquelatos que foram dependentes do nível de suplementação. Com o menor nível de suplementação, a excreção fecal de nitrogênio expressa em g/UTM foi menor e, com o maior nível de suplementação, ela foi menor, quando comparada com a utilização de minerais apenas na forma iônica.

A suplementação de minerais com a inclusão de carboquelatos entre 10 e 20% no sal mineralizado (consumo entre 30 e 60 mg de minerais na forma de carboquelatos por kg de peso vivo) diminuiu a excreção fecal de nitrogênio. De acordo com Van Soest (1994), a passagem de carboidratos potencialmente digestíveis para o cólon e ceco podem aumentar a excreção fecal de nitrogênio através da matéria microbiana resultante da fermentação, o que pode ser resultado de aumento no consumo e/ou da taxa de passagem da dieta. Baseado nas informações anteriores de aumento numérico linear de consumo de matéria seca e de aumento de forma quadrática na digestibilidade da hemicelulose e da fibra em detergente neutro, pode-se sugerir que com um consumo de aproximadamente 45 mg de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos por kg de peso vivo houve uma diminuição na fermentação pós-gástrica. Com os níveis de 20 e 30% de carboquelatos (consumo de 60 e 90 mg de carboquelatos por kg de peso vivo) a fermentação pós-gástrica passou a aumentar aproximando-se dos valores proporcionados com a utilização de sal mineralizado apenas na forma inorgânica que, de acordo com as informações da excreção fecal de nitrogênio, deve ter sido maior. Este é um indício de que o fornecimento de minerais ligados a polissacarídeos pode aumentar a solubilidade de alguns minerais importantes para a fermentação ruminal. No entanto, um ou mais minerais nesta forma suplementados em quantidades maiores do que um certo nível podem diminuir a fermentação ruminal. Estas respostas parecem estar intimamente relacionadas com a solubilidade de algum mineral, exigido em pequenas

quantidades pelos microrganismos ruminais, como o cobre e o zinco, por exemplo.

O consumo de 45 mg/kg de peso vivo de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado para bezerros diminuiu a excreção fecal de nitrogênio expressa em relação ao peso vivo. As informações do presente experimento não permitem concluir se houve maior retenção de nitrogênio no organismo dos animais, pois de acordo com Van Soest (1994) as perdas fecais são menos flexíveis do que as perdas urinárias.

#### 4.4.2 Fósforo

Os valores individuais de consumo e excreção de fósforo expressos em gramas/dia, miligramas/kg de peso vivo/dia e miligramas por unidade de tamanho metabólico/dia encontram-se nos Apêndices 22 e 23. As médias de consumo e de excreção fecal expressas em relação ao peso vivo encontram-se na Tabela 8. A respectiva análise de variância encontra-se no Apêndice 24.

TABELA 8. Médias de consumo e de excreção fecal de fósforo (EFP) expressas como mg/kg PV/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	<i>Nível de Carboquelatos (%)</i>			
	0	10	20	30
Consumo, mg/kg PV/dia	114	108	116	115
EFP, mg/kg PV/dia	57,60	55,42	58,84	49,75

O sal mineralizado forneceu aproximadamente 25% do fósforo total consumido, sendo o feno e a casca de soja responsáveis pelos demais 75%. O consumo aproximado de fósforo total ultrapassou em 15% as exigências

preditas pelo NRC (1996), considerando um ganho de peso aproximado de 500 g/d.

Como pode ser verificado pelas médias na Tabela 8, a excreção fecal de fósforo não foi afetada pelos níveis de inclusão de carboquelatos no sal mineralizado. A excreção fecal de P foi diferente entre os períodos experimentais (60,65 e 51,14 mg/kg de peso vivo para os períodos 1 e 2, respectivamente).

Apesar destes resultados, Langwinski et al. (2001a) verificaram tendência de menor excreção fecal de fósforo com 10% de carboquelatos no sal mineralizado oferecido a 0,05% do peso vivo.

Um dos mecanismos propostos de ação dos carboaminofosfoquelatos é da presença de uma molécula de fósforo ligada ao polissacarídeo, o que poderia facilitar o reconhecimento destas moléculas pelos microrganismos do rúmen. A falta de resposta pode estar relacionada a presença do fósforo na forma orgânica presente no feno e na casca de soja, que representaram 75% de todo o mineral consumido. De acordo com o NRC (2001), a excreção fecal de fósforo está intimamente relacionada com o consumo de fósforo e a principal via de excreção é através das fezes. Considerando-se que o consumo de fósforo foi igual para todos os tratamentos é esperado que a excreção fecal não seja diferente entre os diferentes níveis de carboquelatos.

A inclusão de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado para bezerros não afetou a excreção fecal de fósforo expressa em relação ao peso vivo.

#### 4.4.3 Enxofre

Os valores individuais de consumo e excreção de enxofre expressos em gramas/dia, miligramas/kg de peso vivo/dia e miligramas por unidade de tamanho metabólico/dia encontram-se nos Apêndices 25 e 26. As médias de consumo e de excreção fecal expressas em relação ao peso vivo encontram-se na Tabela 9. A respectiva análise de variância encontra-se no Apêndice 27.

TABELA 9. Médias de consumo e de excreção fecal de enxofre (EFS) expressas como mg/kg PV/dia e em relação ao peso vivo (g/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	<i>Nível de Carboquelatos (%)</i>			
	0	10	20	30
Consumo, mg/kg PV/dia	42	40	44	47
EFS, g/kg PV/dia	0,0214	0,0197	0,0215	0,0238

O sal mineralizado forneceu aproximadamente 15 e 25% do enxofre total consumido, sendo o feno e a casca de soja responsáveis pelos demais 75 - 85%. O consumo aproximado de enxofre total ultrapassou em 18% as exigências preditas pelo NRC (1996), considerando um ganho de peso aproximado de 500 g/d.

A excreção fecal de enxofre expressa em g/kg de peso vivo foi afetada significativamente pelo consumo de minerais na forma de carboquelatos de maneira quadrática ( $P < 0,01$ ). A equação encontrada foi a seguinte:

$$\checkmark \text{ EFS (g/kg PV)} = 0,0212 - 0,000085 \cdot \text{CC} + 0,0000013 \cdot \text{CC}^2 \quad (R^2 = 0,49).$$

O ponto de mínima excreção fecal de enxofre foi encontrado com um consumo de minerais na forma de carboquelatos próximo de 33 mg por kg de peso vivo, ou seja, com 12% de inclusão de carboquelatos no sal mineralizado.

O consumo de aproximadamente 30 mg/kg de peso vivo de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado para bezerros diminuiu a excreção fecal de enxofre expressa em relação ao peso vivo.

#### 4.4.4 Cobre

Os valores individuais de consumo e excreção de cobre expressos em miligramas/dia, miligramas/kg de peso vivo/dia e miligramas por unidade de tamanho metabólico/dia encontram-se nos Apêndices 28 e 29. As médias de consumo e de excreção fecal expressas em relação ao peso vivo encontram-se na Tabela 10. A respectiva análise de variância encontra-se no Apêndice 30. O consumo de cobre expresso em relação ao peso vivo foi utilizado como covariável na análise de variância pelo fato dele ter sido levemente superior no tratamento com a inclusão de 10% de carboquelatos.

TABELA 10. Médias de consumo e de excreção fecal de cobre (EFCu) expressas como mg/kg PV/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia e mg/UTM/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	<i>Nível de Carboquelatos (%)</i>			
	0	10	20	30
Consumo, mg/kg PV/dia	0,55	0,61	0,56	0,54
EFCu, mg/kg PV/dia	0,689	0,565	0,628	0,589

O sal mineralizado forneceu aproximadamente 80% do cobre total consumido, sendo o feno e a casca de soja responsáveis pelos demais 20%. O consumo aproximado de cobre total ultrapassou em 122% as exigências

preditas pelo NRC (1996), considerando um ganho de peso aproximado de 500 g/d.

A excreção fecal de cobre expressa em g/kg de peso vivo foi afetada significativamente pela inclusão de carboquelatos no sal mineralizado de forma linear, quadrática e cúbica ( $P < 0,01$ ). No entanto, o nível de significância das equações na análise de variância pela análise de regressão foi maior para a regressão linear e esta foi utilizada para explicar a variação entre tratamentos, gerando a seguinte equação:

$$\checkmark \text{ EFCu (mg/kg de PV) = } 0,652 - 0,00084 \cdot \text{CC (R}^2 = 0,21),$$

A excreção fecal de cobre diminuiu com a inclusão de carboquelatos no sal mineralizado na proporção de 0,075 mg de cobre por kg de peso vivo para o maior nível de inclusão de carboquelatos. Nockels et al. (1993) verificaram maior retenção de cobre com a utilização de cobre-lisina em comparação ao sulfato de cobre, principalmente pela menor excreção urinária, mas também pela menor excreção fecal (25,16 vs 23,77 mg/dia).

Os dados individuais de excreção fecal de cobre e zinco apresentaram-se altamente correlacionados ( $P < 0,01$ ,  $r = 0,72$ ), mostrando que possivelmente ocorreu alguma interferência entre estes minerais, provavelmente pela competição nas vias de absorção. Hatfield et al. (2001) não encontraram diferenças na concentração de cobre nas fezes de ovinos quando compararam a suplementação com um complexo entre cobre e aminoácidos e o sulfato de cobre.

A inclusão de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado para bezerros diminuiu a excreção fecal de cobre expressa em relação ao peso vivo.

#### 4.4.5 Zinco

Os valores individuais de consumo e excreção de zinco expressos em miligramas/dia, miligramas/kg de peso vivo/dia e miligramas por unidade de tamanho metabólico/dia encontram-se nos Apêndices 31 e 32. As médias de consumo e de excreção fecal expressas em relação ao peso vivo encontram-se na Tabela 11. A respectiva análise de variância encontra-se no Apêndice 33.

TABELA 11. Médias de consumo e excreção fecal de zinco (EFZn) expressas como mg/kg PV/dia e em relação ao peso vivo (mg/kg PV/dia) observadas com a utilização dos diferentes níveis de carboquelatos na mistura mineral.

	<i>Nível de Carboquelatos (%)</i>			
	0	10	20	30
Consumo, mg/kg PV/dia	2,06	2,23	2,15	2,05
EFZn, mg/kg PV/dia	1,967	1,844	1,945	1,785

O sal mineralizado forneceu aproximadamente 60% do zinco total consumido, sendo o feno e a casca de soja responsáveis pelos demais 40%. O consumo aproximado de zinco total ultrapassou em 190% as exigências preditas pelo NRC (1996), considerando um ganho de peso aproximado de 500 g/d.

A excreção fecal de zinco expressa em mg/kg de PV foi afetada significativamente pelos níveis de carboquelatos de forma linear ( $P < 0,1$ ), gerando a seguinte equação:

$$\checkmark \text{ EFZn (mg/kg PV) = } 1,96 - 0,0016 \cdot \text{CC (R}^2 = 0,11\text{);}$$



A equação de regressão linear mostra que a excreção fecal de zinco diminui com a maior inclusão de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado na proporção de 0,14 mg por kg de peso vivo. Além disso, a excreção fecal de zinco foi diferente entre os períodos experimentais (2,0 e 1,80 mg/kg de peso vivo para os períodos 1 e 2, respectivamente). Nockels et al. (1993) observaram maior retenção de zinco na forma de zinco-metionina em relação ao sulfato de zinco, devido a menor excreção fecal (82,22 vs 86,51 mg/dia) e urinária (1,07 vs 1,18 mg/dia). Spears (1989) também observou menor excreção fecal de zinco em dois experimentos quando ovinos foram suplementados com zinco-metionina em comparação aos animais suplementados com óxido de zinco. Estes trabalhos revelam que os minerais na forma orgânica podem ser melhor utilizados no metabolismo do animal do que os minerais apenas na forma inorgânica.

A inclusão de minerais na forma de carboquelatos no sal mineralizado para bezerros diminuiu a excreção fecal de zinco expressa em relação ao peso vivo.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização de minerais na forma de carboaminofosfoquelatos apresentou pequenos aumentos no consumo de matéria seca e matéria orgânica digestível, além de diminuição na excreção fecal de minerais (N, Cu, Zn, S), com exceção do fósforo.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Apesar das melhoras encontradas com a utilização desta forma de minerais, existe a necessidade de se estabelecer mais pesquisas e com maiores durações para verificar os mecanismos de ação destas moléculas que nesta dissertação foram apenas considerados como hipóteses. A utilização de apenas um tipo de mineral por vez, a coleta do conteúdo ruminal e seu fracionamento para a determinação da concentração de minerais, a coleta de sangue para verificar a concentração de alguns minerais são algumas linhas de pesquisas que podem ser realizadas no sentido de buscar mais informações sobre esta forma de minerais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, J. D.; GAWTHORNE, J. M. Involvement of the solid phase rumen digesta in the interaction between copper, molybdenum and sulfur in sheep. **British of Journal Nutrition**, Cambridge, v.58, p.265, 1987.
- AMMERMAN, C. B.; HENRY, P. R. Biodisponibilidade de fontes suplementares de minerais para ruminantes em pastejo. In: BARCELLOS, J. O. J.; OSPINA, H.; PRATES, E. R. (Eds). **Suplementação mineral de bovinos de corte**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. p.61-80.
- ANSOTEGUI, R. P.; SWENSON, C. K.; SWENNSON, E. J. et al. Effects of chemical form and intake of mineral supplementation on blood profiles and inflammatory reaction to phytohemagglutinin (PHA-P) in pregnant heifers, **Proceedings of West. Sec. American Society Animal Science**, Savoy, v.45, p.222, 1994.
- ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, J. F. C.; VALADARES FILHO, S. C. et al. Consumo e absorção aparente de macroelementos minerais, em bezerros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de volumoso. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, n.6, p.1824-1828, 2001.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 15.ed. Arlington, 1990.
- BAILEY, J. D.; ANSOTEGUI, R. P.; PATERSON, J. A. et al. Effects of supplemental trace mineral form on trace mineral status and performance of beef heifers, **Proceedings West. Sec. American Society Animal Science**, Savoy, v.50, p.20, 1999.
- BARCELLOS, J. O. J. O papel do fósforo na nutrição de bovinos de corte. In: DIAZ GONZALEZ, FELIX H.; OSPINA, H.; BARCELLOS, J. O. J. (Eds). **Nutrição Mineral em Ruminantes**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p.23-72.
- BARCELLOS, J. O. J.; OSPINA, H. Cobre. In: DIAZ GONZALEZ, FELIX H.; OSPINA, H.; BARCELLOS, J. O. J. (Eds). **Nutrição Mineral em Ruminantes**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p.203-226.

- CHANG, X.; MOWAT, D. N. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.70, p.559, 1992.
- COUSINS, R. J.; M. HEMPE. Zinc. In: BROWN, M. L. (Ed.). **Present Knowledge in Nutrition**, Washington D.C.: International Life Sciences Institute Nutrition Foundation, 1990. p.251-260.
- DAVIS, G. K.; MERTZ, W. Copper. In: MERTZ, W., **Trace Elements in Human and Animal Nutrition**. 5.ed. New York, NY: Academic Press, 1987. v.1, p.301.
- DURAND, M.; KAWASHIMA, R. Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: RUCKEBUSCH, Y; THIVEND, P. (Eds.) **Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants**. Lancaster: MTP Press, 1980. p. 375-408.
- ECKERT, G.; GREENE, W.; CARSTENS, G.; RAMSEY, W. Copper status of ewes fed increasing amounts of copper from copper sulfate or copper proteinate. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.77, p.244-249, 1999.
- GARCIA, O. de S. Minerais orgânicos – um avanço na nutrição animal. In: DIAZ GONZALEZ, F. H.; OSPINA, H.; BARCELLOS, J. O. J. (Eds). **Nutrição mineral em ruminantes**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p.133-148.
- GEORGIEVSKII, V. I.; ANNEKOV, B. N.; SAMOKHIN, V. T. **Mineral Nutrition of Animals: studies in the agricultural and food sciences**. London: British Library, 1982. 474p.
- GILBERTSON, J. L. Protected minerals, an expensive luxury or a cost-effective necessity? In: ANNUAL SYMPOSIUM OF ALLTECH'S, 8., 1992, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: Nottingham University Press, 1992.
- HATFIELD, P. G.; SNOWDER, G. D.; HEAD J. R., W. A.; GLIMP, H. A.; STOBART, R. H.; BESSER, T. Production by ewes rearing single or twin lambs: effects of dietary crude protein percentage and supplemental zinc methionine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.73, p.1227-1238, 1995.
- HATFIELD, P. G.; SWENSON, C. K.; KOTT, R. W. et al. Zinc and copper status in ewes supplemented with sulfate- and amino acid-complexed forms of

- zinc and copper. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.79, p.261-266, 2001.
- HOUSE, W. A. Trace element bioavailability as exemplified by iron and zinc. **Fields Crops Research**, Amsterdã, v.60, p.115-141, 1999.
- HURLEY, W. L.; DOANE, R. M. Recent developments in the roles of vitamins and minerals in reproduction, **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.72, p.784-804, 1989.
- HYNES, M. J.; KELLY, M. P. Metal ions, chelates and proteinates. In: ANNUAL SYMPOSIUM OF ALLTECH'S, 11., 1995, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: Nottingham University Press, 1995.
- KENNEDY, D. W.; CRAIG, W. M.; SOUTHERN, L. L. Ruminal distribution of zinc in steers fed a polysaccharide-zinc complex or zinc oxide. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p.1281-1287, 1993.
- KINCAID, R. L.; BLAUWIEKEL, R. M.; CRONRATH, J. D. Supplementation of copper as copper sulfate or copper proteinate for growing calves fed forages containing molybdenum, **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.69, p.160, 1986.
- LANGWINSKI, D.; OSPINA, H.; KNORR, M. O Efeito de Dois Níveis de Suplementação e da Inclusão de Carboquelatos em Misturas Mineralis sobre a Excreção Fecal de Fósforo, Nitrogênio, Cobre e Zinco. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 17., 2001, La Habana. **Resumenes...** La Habana: ALPA, 2001a. p.232.
- LANGWINSKI, D.; OSPINA, H.; SILVEIRA, A.L.F.; CAVALCA, M.; KNORR, M. Quatro Níveis de Inclusão de Carboquelatos em uma Mistura Mineral e seus Reflexos sobre o Consumo de Matéria Orgânica Digestível em Bezerros Desmamados Precocemente. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 17., 2001, La Habana. **Resumenes...** La Habana: ALPA, 2001a. p.232.
- LANGWINSKI, D.; OSPINA, H.; SILVEIRA, A.L.F.; SILVA, N.L.Q.; MONTAGNER, D. Bezerros Desmamados Precocemente Alimentados com Dois Níveis de Suplementação e Duas Formas de Sais Mineralizados. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001c. p. 953-954.

- LEE, J.; MASTERS, D. G.; WHITE, C. L.; GRACE, N. D.; JUDSON, G. J. Current issues in trace element nutrition of grazing livestock in Australia and New Zealand. **Australian Journal Agricultural Research**, Soul, v.50, p.1341-1364, 1999.
- MACDONALD, R. S. The Role of Zinc in Growth and Cell Proliferation. **Journal Nutrition**, Cambridge, v.130, p.1500 (Suppl), 2000.
- MACKIE, R. I.; THERION, J. J. Influence of mineral interactions on growth efficiency of rumen bacteria, In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HERBIVORE NUTRITION IN THE SUBTROPICS ON TROPICS, 1983, Craighall. **Proceedings...** Craighall: Science Press, 1983.
- MALCOLM-CALLIS, K.J.; DUFF, G.C.; GUNTER, S.A.; KEGLEY, E.B.; VERMEIRE, D.A. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.78, p.2801-2808, 2000.
- MALLETO, S. Organic compound of minerals in cattle feeding. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. p. 178-191.
- MARCHETTI, M.; ASHMEAD, H.D.; TOSSANI, N.; MARCHETTI, S.; ASHMEAD, S.D. Comparison of the rates of vitamin degradation when mixed with metal sulphates or metal amino acid chelates. **Journal of food composition and Analysis**, Amsterdã, p. 875-884, 2000.
- MERK and Co. **Merk Index**. 8.ed. Rahway, NJ.: Merk, 1968.
- MILLER, J.K.; BRZEZINSKA-SLEBODZINSKA, E.; MADSEN, F.C. Oxidative stress, antioxidants and animal function, **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.76, p.2812-2823, 1993.
- MOORE, C.L. et al. Zinc Methionine supplementation for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 71, suppl. 1, p. 152, 1998.
- NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Beef Cattle Nutrition (Washington, EUA). 1996. **Nutrient requirements of Beef Cattle**. 7.ed. Washington: National Academy Press, 1996.
- NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Animal Nutrition. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition (Washington, EUA). 2001.

**Nutrient Requirements of Dairy Cattle.** 7.ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.

NOCKELS, C. F.; DEBONIS, J.; TORRENT, J. Stress induction affects copper and zinc balance in calves fed organic and inorganic copper and zinc sources. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.71, p.2539-2545, 1993.

NÖRNBERG, J. L. O cobalto na nutrição de ruminantes. In: DIAZ GONZALEZ, FELIX H.; OSPINA, H.; BARCELLOS, J. O. J. (Eds). **Nutrição Mineral em Ruminantes**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p.189-202.

OSPINA, H.; FREITAS, S. P. G.; MÜHLBACH, P. R. F. et al. Efeito de quatro níveis de carboquelatos sobre o consumo e digestibilidade de feno de baixa qualidade em bezerros. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...Viçosa**: SBZ, 2000. p.

OSPINA, H.; LANGWINSKI, D. Nuevos conceptos sobre la suplementación mineral de bovinos a pasto In: CONGRESO INTERNACIONAL DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA: "GERENCIAMIENTO E RENTABILIDAD EN LA INVERNADA", 9., 2001, Assunción. **Anais...** Assunción: Consorcio de Ganaderos para Experimentación Agropecuaria, 2001. p.28-46.

OSPINA, H.; PRATES, E. R.; BARCELLOS, J. O. J. A Suplementação mineral e o desafio de otimizar o ambiente ruminal para digestão de fibra. In: BARCELLOS, J. O. J.; OSPINA, H.; PRATES, E. R. (Eds). **Suplementação mineral de bovinos de corte**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. p.37-60.

PAIK, I. Application of chelated minerals in animal production. **Asian-Australasia Journal Animal Science**, Soul, v.14 (special Issue), p.191-198, 2001.

POORE, M. H.; ALLISON, B. C.; MCCRAW, R. L.; SPEARS, J. W. **Zinc methionine in a mineral supplement for summer stocker calves**. Department of Animal Science, North Carolina State University. 1995, Annual Report. Disponível em: <[http://www.cals.ncsu.edu/na\\_sci/annrep95/beef/beef955.html](http://www.cals.ncsu.edu/na_sci/annrep95/beef/beef955.html)>. Acesso em 11 de abril de 2000.

ROJAS, L. X.; McDOWELL, L. R.; COUSINS, R. J. et al. Relative bioavailability of two organic and two inorganic sources fed to sheep. **Journal Animal Science**, Champaign, v.73, p.1202-1207, 1995.



- RUSSEL, J.B. **Química Geral**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 794p.
- RYMER, C. The measurement of forage digestibility *in vivo*. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E.; OMED, H. M. (Eds). **Forage evaluation in ruminant nutrition**. Wallingford: CAB International, 2000. p.113-134.
- SILVA LOPES, H. O.; TOMICH, T. R. Avanços recentes na nutrição mineral de bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p.203-234.
- SPEARS, J. W. Nickel as a “newer trace element” in the nutrition of domestic animals. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.59, p.823-835, 1984.
- SPEARS, J. W. Organic trace minerals in ruminant nutrition. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdã, v.58, p.151-163, 1996.
- SPEARS, J. W. Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. **Journal Animal Science**, Champaign, v.67, p.835-843, 1989.
- SPEARS, J. W. Ionophores and nutrient digestion and absorption in ruminants. **Journal of Nutrition**, Cambridge, v.120, n.6, p.632-638, 1990.
- STRIFFLER, J. S.; LAW, J. S.; POLANSKY, M. M. et al. Chromium improves insulin response to glucose in rats. **Metabolism**, Mariland, v.44, p.1314, 1995.
- SUTTLE, N. F. Effects of organic and inorganic sulphur on the availability of dietary copper to sheep. **British of Journal Nutrition**, Cambridge, v.32, p.559, 1974.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B. **Analisis of forages and fibrous food**: Lab Manual for Animal Science 613. Ithaca: Departament of Animal Science of Cornell University, 1985. 202p.
- WAPNIR, R. A. Copper absorption and bioavailability. **American Journal Clinical Nutrition**, Manhasset, v.67, (Suppl),p. 1054-1060, 1998.

- 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, p.2994-2998, 1993.
- WITTENBERG, K. M.; BOILA, R. J.; SHARIFF, M. A. Comparison of copper sulfate and copper proteinate as copper sources for copper-depleted steers fed high molybdenum diets. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 70, p.895. 1990.
- WRIGHT, C. L. **Evaluation of Absorption and Post-Absorptive Metabolism of Inorganic and Organic Zinc Sources**. Raleigh: Faculty of North Carolina State University, 2000. 164f. Dissertation (Animal Science) - Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2000.

## 8 APENDICES

APÊNDICE 1. Variação do peso corporal (kg) dos animais no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos, blocos e dias de pesagem.

Animal	Trat	Bloco	Dia do Experimento				Média
			1º.	8º.	15º.	21º.	
96	0	I	68	72	76	77,5	73,4
90	0	II	86	90	100	100	94
89	0	III	116	124	128	130	124,5
92	10	I	66	72	76	73	71,8
86	10	II	85	90	94	96	91,3
87	10	III	130	137	143	148	139,5
91	20	I	71	77	80	84	78
95	20	II	90	95	100	100	96,3
85	20	III	91	97	101	97,5	96,6
94	30	I	76	80	84	84	81
93	30	II	85	89	95	94	90,8
88	30	III	107	116	122	125	117,5

APÊNDICE 2. Variação do peso corporal (kg) dos animais no segundo período experimental de acordo com os tratamentos, blocos e dias de pesagem.

Animal	Trat	Bloco	Dia do Experimento				Média
			1º.	8º.	15º.	21º.	
94	0	I	87	83	87	90	86,8
90	0	II	99	101	103	107	102,5
85	0	III	100	101	105	109	103,8
91	10	I	82	83	82	86	83,3
86	10	II	93	93	99	99	96
89	10	III	124	129	136	144	133,3
92	20	I	74	76	81	82	78,3
93	20	II	93	96	98	99	96,5
87	20	III	144	150	154	161	152,3
96	30	I	77	78	81	84	80
95	30	II	96	96	102	106	100
88	30	III	122	124	132	136	128,5

APÊNDICE 3. Médias observadas dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (MS), da matéria orgânica (MO), da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e hemicelulose (Hem), expressas em %, dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

Coeficiente da digestibilidade aparente (%)							
A	T	B	MS	MO	FDN	FDA	Hem
96	0	I	62,15	64,11	68,48	56,77	81,85
90	0	II	62,25	64,08	69,84	60,43	80,23
89	0	III	63,89	65,16	70,07	57,04	85,60
Média (DP)			62,76 (0,98)	64,45 (0,62)	69,46 (0,86)	58,08 (2,04)	82,56 (2,75)
92	10	I	69,92	71,34	76,87	67,17	87,35
86	10	II	65,43	66,84	72,06	61,87	84,23
87	10	III	65,81	66,69	71,71	59,19	86,84
Média (DP)			67,05 (2,49)	68,29 (2,64)	73,55 (2,88)	62,74 (3,61)	86,14 (1,67)
91	20	I	64,19	65,11	69,69	57,79	83,68
95	20	II	64,56	66,37	71,57	61,76	83,03
85	20	III	66,90	67,81	74,29	64,11	86,04
Média (DP)			65,22 (1,47)	66,43 (1,35)	71,85 (2,31)	61,22 (3,19)	84,25 (1,58)
94	30	I	65,45	67,05	71,84	59,60	85,31
93	30	II	64,41	65,86	70,80	61,49	81,45
88	30	III	66,90	67,81	74,29	64,11	86,04
Média (DP)			65,59 (1,25)	66,91 (0,98)	72,31 (1,79)	61,73 (2,26)	84,27 (2,47)

APÊNDICE 4. Médias observadas dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (MS), da matéria orgânica (MO), da fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e hemicelulose (Hem), expressas em %, dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

Coeficientes de digestibilidade aparente, %							
A	T	B	MS	MO	FDN	FDA	Hem
94	0	I	65,72	66,83	71,92	65,64	79,20
90	0	II	66,03	67,65	72,28	67,23	78,38
85	0	III	63,49	63,99	69,10	62,08	80,02
Média (DP)			65,08 (1,39)	66,16 (1,92)	71,10 (1,74)	64,98 (2,64)	79,20 (0,82)
91	10	I	63,59	65,22	70,34	63,09	80,12
86	10	II	67,09	68,63	72,95	66,13	81,59
89	10	III	64,80	66,27	70,88	63,58	79,51
Média (DP)			65,16 (1,78)	66,71 (1,75)	71,39 (1,38)	64,27 (1,63)	80,41 (1,07)
92	20	I	62,31	63,84	69,29	60,72	80,21
93	20	II	66,42	68,01	73,75	68,58	80,52
87	20	III	67,83	69,16	74,64	69,01	82,11
Média (DP)			65,52 (2,87)	67,00 (2,80)	72,56 (2,87)	66,10 (4,80)	80,95 (1,02)
96	30	I	64,80	66,27	70,88	63,58	79,07
95	30	II	64,98	66,36	71,11	65,01	82,18
88	30	III	64,46	65,85	70,74	62,06	80,12
Média (DP)			64,75 (0,26)	66,16 (0,27)	70,91 (0,19)	63,55 (1,48)	80,46 (1,58)

APÊNDICE 5. Análise de variância para a digestibilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO).

Fontes de variação	G.L.	DMS	DMO
		Q.M.	Q.M.
Linear	1	2,6940 NS	2,5375 NS
Quadrática	1	8,5442 NS	8,4847 NS
Cúbica	1	3,5915 NS	3,8341 NS
Períodos	1	0,0048 NS	0,0009 NS
Blocos	2	1,107 NS	0,546 NS
Blocos X Períodos	2	6,151 NS	5,674 NS
Resíduo	15	3,241	3,108
Total	23		

NS: não significativo; \*\*\*: P<0,01; \*\* : P<0,05; \* : P<0,10

APÊNDICE 6. Análise de variância para a digestibilidade da fibra em detergente neutro (DFDN), da fibra em detergente ácido (DFDA) e da hemicelulose (DHem).

Fontes de variação	G.L.	DFDN	DFDA	DHem
		Q.M.	Q.M.	Q.M.
Linear	1	2,9274 NS	3,6470 NS	4,2639 NS
Quadrática	1	8,8608 NS	13,4401 NS	10,3753 *
Cúbica	1	0,4205 NS	0,1229 NS	3,6890 NS
Períodos	1	3,622 NS	85,8100 ***	98,496 ***
Blocos	2	7,284 ***	10,494 NS	10,117 ***
Blocos X Períodos	2	2,432 NS	3,700 NS	5,843 **
Resíduo	(GL)	1,997 (12)	9,374 (15)	1,510 (15)
Total	23			

NS: não significativo; \*\*\*: P<0,01; \*\* : P<0,05; \* : P<0,10

APÊNDICE 7. Médias observadas de consumo de feno e consumo total de matéria seca expressos em kg, % PV e g de UTM por dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo feno			Consumo total		
			Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia
96	0	I	1,31	1,70	50,33	1,80	2,34	69,39
90	0	II	1,77	1,77	55,99	2,42	2,42	76,55
89	0	III	2,54	1,97	66,29	3,37	2,61	88,03
Média (DP)			1,87	1,81	57,54	2,53	2,46	77,99
			(0,62)	(0,14)	(8,09)	(0,79)	(0,14)	(9,40)
92	10	I	1,23	1,65	48,41	1,72	2,31	67,90
86	10	II	1,75	1,84	57,37	2,36	2,48	77,48
87	10	III	2,93	2,02	70,02	3,86	2,65	92,20
Média (DP)			1,97	1,84	58,60	2,65	2,48	79,19
			(0,87)	(0,19)	(10,86)	(1,10)	(0,17)	(12,24)
91	20	I	1,67	2,04	61,36	2,19	2,67	80,45
95	20	II	1,82	1,82	57,52	2,47	2,47	78,07
85	20	III	1,78	1,80	56,68	2,44	2,46	77,57
Média (DP)			1,76	1,89	58,52	2,37	2,53	78,70
			(0,08)	(0,13)	(2,50)	(0,15)	(0,12)	(1,54)
94	30	I	1,39	1,66	50,15	1,94	2,31	69,83
93	30	II	1,74	1,84	57,51	2,36	2,50	77,88
88	30	III	2,51	2,03	67,67	3,30	2,67	89,10
Média (DP)			1,88	1,84	58,44	2,53	2,49	78,94
			(0,57)	(0,19)	(8,80)	(0,70)	(0,18)	(9,68)



APÊNDICE 8. Médias observadas de consumo de feno e consumo total de matéria seca expressos em kg/dia e % PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo feno			Consumo total		
			Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia
94	0	I	1,68	1,89	58,08	2,25	2,54	78,03
95	0	II	1,93	1,83	58,73	2,61	2,48	79,52
85	0	III	1,92	1,80	57,86	2,62	2,45	78,75
Média (DP)			1,84	1,84	58,22	2,49	2,49	78,77
			(0,14)	(0,05)	(0,45)	(0,21)	(0,05)	(0,75)
91	10	I	1,26	1,50	45,28	1,80	2,14	64,84
86	10	II	1,89	1,91	60,31	2,55	2,57	81,19
89	10	III	2,63	1,88	64,65	3,53	2,52	86,77
Média (DP)			1,93	1,76	56,75	2,63	2,41	77,60
			(0,69)	(0,23)	(10,16)	(0,87)	(0,24)	(11,40)
92	20	I	1,67	2,05	61,52	2,20	2,71	81,28
93	20	II	1,68	1,71	53,81	2,33	2,37	74,56
87	20	III	3,19	2,03	71,86	4,21	2,68	94,78
Média (DP)			2,18	1,93	62,40	2,91	2,59	83,54
			(0,87)	(0,19)	(9,06)	(1,12)	(0,19)	(10,30)
96	30	I	1,69	2,04	61,63	2,22	2,69	81,21
90	30	II	2,00	1,92	61,38	2,67	2,57	82,11
88	30	III	2,79	2,08	70,74	3,66	2,73	92,92
Média (DP)			2,16	2,01	64,58	2,85	2,66	85,41
			(0,57)	(0,08)	(5,33)	(0,74)	(0,08)	(6,53)

APÊNDICE 9. Análise de variância para o consumo matéria seca de feno e consumo de matéria seca total expressos em % PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	Consumo feno	Consumo total
		Q.M.	Q.M.
Linear	1	0,05125 NS	0,0554 NS
Quadrática	1	0,0032 NS	0,0032 NS
Cúbica	1	0,0149 NS	0,0173 NS
Períodos	1	0,0104 NS	0,0131 NS
Resíduo	19	0,024	0,0228
Total	23		

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*:  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 10. Médias observadas de consumo matéria orgânica (CMO) e fibra em detergente neutro (CFDN) expressos em kg, % PV e g UTM por dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CMO			CFDN		
			kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia	kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia
96	0	I	1,69	2,20	65,17	1,45	1,89	55,78
90	0	II	2,27	2,27	71,78	1,97	1,97	62,30
89	0	III	3,15	2,44	82,29	2,68	2,08	70,01
Média (DP)			2,37 (0,74)	2,30 (0,12)	73,08 (8,63)	2,03 (0,62)	1,98 (0,10)	62,70 (7,12)
92	10	I	1,61	2,17	63,49	1,39	1,86	54,54
86	10	II	2,21	2,33	72,63	1,88	1,98	61,78
87	10	III	3,61	2,48	86,17	3,10	2,13	73,81
Média (DP)			2,48 (1,03)	2,33 (0,16)	74,10 (11,41)	2,12 (0,88)	1,99 (0,14)	63,38 (9,73)
91	20	I	2,05	2,50	75,23	1,76	2,15	64,59
95	20	II	2,31	2,31	73,05	1,98	1,98	62,61
85	20	III	2,29	2,30	72,83	1,99	2,01	63,41
Média (DP)			2,22 (0,14)	2,37 (0,11)	73,70 (1,33)	1,91 (0,13)	2,05 (0,09)	63,54 (0,99)
94	30	I	1,81	2,16	65,23	1,57	1,86	56,58
93	30	II	2,21	2,34	72,92	1,91	2,02	62,77
88	30	III	3,09	2,50	83,41	2,66	2,16	71,58
Média (DP)			2,37 (0,65)	2,33 (0,17)	73,85 (9,13)	2,05 (0,56)	2,01 (0,15)	63,64 (7,54)

APÊNDICE 11. Médias observadas de consumo matéria orgânica (CMO) e fibra em detergente neutro (CFDN) expressos em kg, % PV e g UTM por dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CMO			CFDN		
			Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia
94	0	I	2,10	2,37	72,78	1,76	1,99	60,74
90	0	II	2,44	2,32	74,39	2,05	1,96	64,95
85	0	III	2,45	2,29	73,64	2,07	1,93	62,22
Média (DP)			2,33 (0,20)	2,33 (0,04)	73,60 (0,81)	1,96 (0,17)	1,96 (0,03)	62,64 (2,14)
91	10	I	1,69	2,01	60,91	1,44	1,71	51,90
86	10	II	2,38	2,41	75,83	2,01	2,03	64,04
89	10	III	3,30	2,36	81,08	2,78	1,99	68,30
Média (DP)			2,46 (0,81)	2,26 (0,22)	72,61 (10,46)	2,08 (0,67)	1,91 (0,17)	61,41 (8,51)
92	20	I	2,06	2,53	75,94	1,75	2,14	64,22
93	20	II	2,18	2,21	69,72	1,83	1,86	58,30
87	20	III	3,94	2,50	88,62	3,30	2,10	74,04
Média (DP)			2,73 (1,05)	2,41 (0,18)	78,09 (9,63)	2,29 (0,87)	2,03 (0,15)	65,52 (7,95)
96	30	I	2,07	2,51	75,62	1,75	2,12	63,64
95	30	II	2,50	2,40	76,77	2,09	2,01	64,18
88	30	III	3,41	2,55	86,58	2,88	2,15	73,12
Média (DP)			2,66 (0,68)	2,49 (0,08)	79,66 (6,02)	2,24 (0,58)	2,09 (0,07)	66,98 (5,32)

APÊNDICE 12. Análise de variância para o consumo de matéria orgânica (CMO) e consumo de fibra em detergente neutro (CFDN) expressos em % PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	CMO	CFDN
		Q.M.	Q.M.
Linear	1	0,0441 NS	0,0347 NS
Quadrática	1	0,0024 NS	0,00165 NS
Cúbica	1	0,0120 NS	0,0105 NS
Períodos	1	0,0088 NS	0,0042 NS
Resíduo	19	0,0195	0,0134
Total	23		

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*:  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 13. Médias observadas de consumo de fibra em detergente ácido (CFDA) e de hemicelulose (CHem) expressos em kg/dia e % PV/dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CFDA			CHem		
			Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia
96	0	I	0,79	1,02	30,29	0,65	0,85	25,07
90	0	II	1,05	1,05	33,16	0,91	0,91	28,78
89	0	III	1,47	1,14	38,30	1,19	0,92	31,09
Média (DP)			1,10 (0,34)	1,07 (0,06)	33,91 (4,06)	0,92 (0,27)	0,89 (0,04)	28,31 (3,04)
92	10	I	0,73	0,98	28,83	0,64	0,86	25,24
86	10	II	1,03	1,09	33,93	0,83	0,87	27,28
87	10	III	1,70	1,17	40,65	1,38	0,95	32,94
Média (DP)			1,15 (0,50)	1,08 (0,10)	34,47 (5,93)	0,95 (0,38)	0,89 (0,05)	28,49 (3,99)
91	20	I	0,96	1,18	35,40	0,78	0,95	28,62
95	20	II	1,08	1,08	34,17	0,88	0,88	27,83
85	20	III	1,08	1,09	34,26	0,90	0,91	28,62
Média (DP)			1,04 (0,07)	1,12 (0,06)	34,61 (0,69)	0,85 (0,06)	0,91 (0,04)	28,36 (0,46)
94	30	I	0,84	1,00	30,23	0,70	0,83	25,23
93	30	II	1,03	1,09	34,07	0,86	0,91	28,37
88	30	III	1,44	1,16	38,74	1,21	0,98	32,66
Média (DP)			1,10 (0,31)	1,08 (0,08)	34,35 (4,26)	0,92 (0,26)	0,91 (0,08)	28,75 (3,73)

APÊNDICE 14. Médias observadas de consumo de fibra em detergente ácido (CFDA) e de hemicelulose (CHem) expressos em kg/dia e % PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CFDA			CHem		
			Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g UTM/dia
94	0	I	0,99	1,12	34,31	0,77	0,87	26,69
95	0	II	1,19	1,13	36,54	0,86	0,82	26,22
85	0	III	1,18	1,10	35,47	0,89	0,83	26,75
Média (DP)			1,12 (0,11)	1,12 (0,02)	35,44 (1,11)	0,84 (0,06)	0,84 (0,03)	26,55 (0,29)
91	10	I	0,80	0,96	28,83	0,64	0,76	23,07
86	10	II	1,12	1,13	35,69	0,89	0,90	28,36
89	10	III	1,59	1,13	39,07	1,19	0,85	29,24
Média (DP)			1,17 (0,40)	1,07 (0,10)	34,53 (5,22)	0,91 (0,28)	0,84 (0,07)	26,89 (3,34)
92	20	I	0,98	1,20	36,13	0,77	0,94	28,39
93	20	II	1,04	1,05	33,26	0,79	0,80	25,27
87	20	III	1,88	1,20	42,29	1,42	0,90	31,94
Média (DP)			1,30 (0,50)	1,15 (0,09)	37,23 (4,61)	0,99 (0,37)	0,88 (0,07)	28,53 (3,34)
96	30	I	0,98	1,19	35,80	0,77	0,93	28,13
90	30	II	1,18	1,14	35,47	0,91	0,88	27,94
88	30	III	1,64	1,22	41,64	1,24	0,93	31,48
Média (DP)			1,27 (0,34)	1,18 (0,04)	37,64 (3,47)	0,97 (0,24)	0,91 (0,03)	29,18 (1,99)

APÊNDICE 15. Análise de variância para o consumo de fibra em detergente ácido (CFDA) e consumo de hemicelulose (Chem) expressos em % PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	CFDA	Chem
		Q.M.	Q.M.
Linear	1	0,0094 NS	0,00730 NS
Quadrática	1	0,0004 NS	0,00038 NS
Cúbica	1	0,0051 NS	0,00010 NS
Períodos	1	0,00042 NS	0,0067 NS
Resíduo	19	0,0134	0,0025
Total	23		

NS: não significativo; \*\*\*: P<0,01; \*\* : P<0,05; \* : P<0,10

APÊNDICE 16. Médias observadas de consumo de matéria seca digestível (CMSD) e matéria orgânica digestível (CMOD) expressos em kg, % PV e g UTM por dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CMSD			CMOD		
			Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia
96	0	I	1,12	1,46	69,39	1,08	1,41	41,73
90	0	II	1,51	1,51	76,55	1,45	1,45	45,98
89	0	III	2,15	1,67	88,03	2,05	1,59	53,55
Média (DP)			1,59 (0,52)	1,55 (0,11)	77,99 (9,40)	1,53 (0,49)	1,48 (0,09)	47,09 (5,99)
92	10	I	1,20	1,62	67,90	1,15	1,55	45,41
86	10	II	1,54	1,62	77,48	1,48	1,56	48,58
87	10	III	2,54	1,75	92,20	2,41	1,66	57,48
Média (DP)			1,76 (0,70)	1,66 (0,08)	79,19 (12,24)	1,68 (0,65)	1,59 (0,06)	50,49 (6,26)
91	20	I	1,41	1,72	80,45	1,33	1,63	48,92
95	20	II	1,59	1,59	78,07	1,54	1,54	48,58
85	20	III	1,63	1,64	77,57	1,55	1,56	49,32
Média (DP)			1,54 (0,12)	1,65 (0,07)	78,70 (1,54)	1,47 (0,12)	1,58 (0,05)	48,94 (0,37)
94	30	I	1,27	1,51	69,83	1,22	1,45	43,85
93	30	II	1,52	1,61	77,88	1,46	1,54	48,10
88	30	III	2,21	1,79	89,10	2,09	1,70	56,52
Média (DP)			1,67 (0,49)	1,64 (0,14)	78,94 (9,68)	1,59 (0,45)	1,56 (0,13)	49,49 (6,45)

APÊNDICE 17. Médias observadas de consumo de matéria seca digestível (CMSD) e matéria orgânica digestível (CMOD) expressos em kg, % PV e g UTM por dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	CMSD			CMOD		
			Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia	Kg/dia	% PV/dia	g /UTM/dia
94	0	I	1,48	1,67	78,03	1,40	1,58	48,56
90	0	II	1,72	1,64	79,52	1,65	1,57	50,34
85	0	III	1,66	1,55	78,75	1,57	1,47	47,13
Média (DP)			1,62	1,62	78,77	1,54	1,54	48,68
			(0,12)	(0,06)	(0,75)	(0,13)	(0,06)	(1,61)
91	10	I	1,14	1,36	64,84	1,10	1,31	39,66
86	10	II	1,71	1,73	81,19	1,64	1,65	52,12
89	10	III	2,29	1,63	86,77	2,19	1,56	53,70
Média (DP)			1,71	1,57	77,60	1,64	1,51	48,49
			(0,58)	(0,19)	(11,40)	(0,55)	(0,18)	(7,69)
92	20	I	1,37	1,69	81,28	1,32	1,62	48,52
93	20	II	1,55	1,57	74,56	1,48	1,51	47,43
87	20	III	2,86	1,81	94,78	2,72	1,73	61,21
Média (DP)			1,93	1,69	83,54	1,84	1,62	52,39
			(0,81)	(0,12)	(10,30)	(0,77)	(0,11)	(7,66)
96	30	I	1,44	1,75	81,21	1,37	1,66	50,06
95	30	II	1,74	1,67	82,11	1,66	1,59	50,91
88	30	III	2,36	1,76	92,92	2,25	1,68	57,04
Média (DP)			1,85	1,73	85,41	1,76	1,64	52,67
			(0,47)	(0,05)	(6,52)	(0,45)	(0,05)	(3,81)

APÊNDICE 18. Análise de variância para o consumo de matéria orgânica digestível (CMOD) expressa em % PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	CMOD
		Q.M.
Linear	1	0,0238 *
Quadrática	1	0,0085 NS
Cúbica	1	0,0020 NS
Períodos	1	0,0118 NS
Resíduo	18	0,0058
Total	22	

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\* :  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 19. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de nitrogênio expressos em g/dia e g/kg de PV/dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo			Excreção fecal/dia		
			g/dia	g/kg PV	g/UTM	g	g/kg PV	g/UTM
96	0	I	40,00	0,53	1,54	15,52	0,20	0,60
90	0	II	56,00	0,56	1,77	20,64	0,21	0,65
89	0	III	76,80	0,59	2,01	26,56	0,21	0,69
Média (DP)			57,60 (18,45)	0,56 (0,03)	1,77 (0,24)	20,91 (5,52)	0,21 (0,01)	0,65 (0,05)
92	10	I	40,00	0,53	1,58	11,84	0,16	0,47
86	10	II	54,40	0,58	1,79	17,28	0,18	0,57
87	10	III	88,00	0,61	2,10	28,32	0,19	0,68
Média (DP)			60,80 (24,63)	0,57 (0,04)	1,82 (0,26)	19,15 (8,40)	0,18 (0,02)	0,57 (0,11)
91	20	I	49,60	0,61	1,82	17,12	0,21	0,63
95	20	II	56,00	0,56	1,77	18,40	0,18	0,58
85	20	III	56,00	0,56	1,78	17,44	0,18	0,55
Média (DP)			53,87 (3,70)	0,58 (0,03)	1,79 (0,03)	17,65 (0,67)	0,19 (0,02)	0,59 (0,04)
94	30	I	44,80	0,53	1,61	14,72	0,18	0,53
93	30	II	54,40	0,58	1,79	18,08	0,19	0,60
88	30	III	75,20	0,61	2,03	23,84	0,19	0,64
Média (DP)			58,13 (15,54)	0,57 (0,04)	1,81 (0,21)	18,88 (4,61)	0,19 (0,01)	0,59 (0,06)



APÊNDICE 20. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de nitrogênio expressos em g/dia e g/kg de PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo			Excreção fecal/dia		
			g/dia	g/kg PV	g/UTM	g	g/kg PV	g/UTM
94	0	I	46,68	0,53	1,62	17,92	0,20	0,62
90	0	II	53,68	0,51	1,64	20,96	0,20	0,64
85	0	III	53,93	0,50	1,62	21,12	0,20	0,63
Média (DP)			51,43 (4,11)	0,51 (0,01)	1,63 (0,01)	20,00 (1,80)	0,20 (0,00)	0,63 (0,01)
91	10	I	36,61	0,44	1,32	14,24	0,17	0,51
86	10	II	52,76	0,53	1,68	19,20	0,19	0,61
89	10	III	73,1	0,52	1,80	25,12	0,18	0,62
Média (DP)			54,16 (18,29)	0,50 (0,05)	1,60 (0,25)	19,52 (5,45)	0,18 (0,01)	0,58 (0,06)
92	20	I	45,83	0,56	1,69	17,60	0,22	0,65
93	20	II	48,99	0,50	1,57	17,92	0,18	0,57
87	20	III	84,90	0,54	1,91	31,36	0,20	0,71
Média (DP)			59,91 (21,70)	0,53 (0,03)	1,72 (0,17)	22,29 (7,85)	0,20 (0,02)	0,64 (0,07)
96	30	I	45,07	0,55	1,65	16,64	0,20	0,61
95	30	II	54,87	0,53	1,68	21,12	0,20	0,65
88	30	III	75,79	0,57	1,92	28,16	0,21	0,71
Média (DP)			58,58 (15,69)	0,55 (0,02)	1,75 (0,15)	21,97 (5,81)	0,20 (0,01)	0,66 (0,05)

APÊNDICE 21. Análise de variância para a excreção fecal de nitrogênio expressa em g/kg PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	g/kg PV/dia
		Q.M.
Linear	1	0,000008 NS
Quadrática	1	0,0008700 **
Cúbica	1	0,0007500 NS
Blocos	2	0,000014 NS
Períodos	1	0,00024 NS
Blocos X Períodos	2	0,000034 NS
Resíduo	15	0,00018
Total	23	

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*:  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 22. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de fósforo expressos em g/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			g	mg/kg PV	mg/UTM	g	mg/kg PV	mg/UTM
96	0	I	7,75	110,70	320,24	4,77	68,09	196,96
90	0	II	10,36	117,80	360,72	6,67	75,81	232,20
89	0	III	14,20	118,40	391,78	7,06	58,81	194,65
Média (DP)			10,77 (3,24)	115,63 (4,28)	357,58 (35,87)	6,17 (1,23)	67,57 (8,51)	207,94 (21,04)
92	10	I	7,15	103,60	298,61	4,35	63,05	181,72
86	10	II	9,63	110,00	336,45	5,46	62,41	190,88
87	10	III	15,67	117,40	399,07	9,38	70,25	238,78
Média (DP)			10,82 (4,38)	110,33 (6,91)	344,71 (50,74)	6,40 (2,64)	65,24 (4,35)	203,79 (30,64)
91	20	I	9,26	125,10	366,85	4,24	57,29	168,03
95	20	II	10,66	115,30	357,46	5,86	63,38	196,54
85	20	III	10,54	112,20	349,23	5,41	57,55	179,21
Média (DP)			10,15 (0,78)	117,53 (6,73)	357,85 (8,82)	5,17 (0,84)	59,41 (3,44)	181,26 (14,37)
94	30	I	8,29	106,30	315,78	3,62	46,35	137,74
93	30	II	10,01	115,10	351,40	5,21	59,86	182,81
88	30	III	13,82	123,90	402,66	5,01	44,96	146,09
Média (DP)			10,71 (2,83)	115,10 (8,80)	356,61 (43,67)	4,61 (0,87)	50,39 (8,23)	155,55 (23,98)

APÊNDICE 23. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de fósforo expressos em g/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			g	mg/kg PV	mg/UTM	g	mg/kg PV	mg/UTM
94	0	I	10,13	114,48	351,12	5,17	58,43	179,21
90	0	II	11,79	112,29	359,47	3,99	37,97	121,56
85	0	III	11,91	111,27	357,85	4,97	46,49	149,53
Média (DP)			11,28 (0,99)	112,68 (1,64)	356,15 (4,43)	4,71 (0,63)	47,63 (10,28)	150,10 (28,83)
91	10	I	7,98	95,06	287,78	1,90	22,62	68,47
86	10	II	11,09	112,05	353,45	4,70	47,43	149,62
89	10	III	15,34	109,59	376,97	9,34	66,74	229,59
Média (DP)			11,47 (3,69)	105,57 (9,18)	339,40 (46,23)	5,31 (3,76)	45,60 (22,12)	149,23 (80,56)
92	20	I	9,79	120,10	360,86	5,40	66,28	199,14
93	20	II	10,53	106,87	336,69	3,99	40,53	127,67
87	20	III	18,73	118,92	421,28	10,71	67,99	240,85
Média (DP)			13,02 (4,96)	115,30 (7,32)	372,94 (43,57)	6,70 (3,54)	58,27 (15,38)	189,22 (57,24)
96	30	I	9,62	116,60	351,41	3,52	42,69	128,66
95	30	II	11,69	112,38	358,88	5,43	52,22	166,75
88	30	III	15,89	118,60	403,52	7,02	52,41	178,32
Média (DP)			12,40 (3,19)	115,86 (3,18)	371,27 (28,18)	5,32 (1,75)	49,11 (5,56)	157,91 (25,98)

APÊNDICE 24. Análise de variância para a excreção fecal de fósforo expressa em g/kg PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	g/kg PV/dia
		Q.M.
Linear	1	93,20 NS
Quadrática	1	136,77 NS
Cúbica	1	232,99 NS
Blocos	2	52,57 NS
Períodos	1	508,55 *
Blocos X Períodos	2	160,59 NS
Resíduo	14	138,18
Total	22	

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*:  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 25. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de enxofre expressos em g, mg/kg de PV e mg/UTM dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			g	mg/kg PV	mg/UTM	g	mg/kg PV	mg/UTM
96	0	I	3,04	43,41	0,126	1,50	21,40	0,062
90	0	II	4,08	46,34	0,142	2,01	22,85	0,070
89	0	III	5,64	47,04	0,156	2,80	23,32	0,077
Média (DP)			4,25 (1,31)	45,60 (1,93)	0,14 (0,02)	2,10 (0,66)	22,52 (1,00)	0,07 (0,01)
92	10	I	2,87	41,58	0,120	1,14	16,51	0,048
86	10	II	3,90	44,61	0,136	1,96	22,36	0,069
87	10	III	6,39	47,86	0,163	2,77	20,78	0,071
Média (DP)			4,39 (1,81)	44,68 (3,14)	0,14 (0,02)	1,96 (0,82)	19,88 (3,03)	0,06 (0,01)
91	20	I	3,84	51,94	0,152	1,96	26,52	0,078
95	20	II	4,39	47,47	0,147	1,92	20,81	0,064
85	20	III	4,34	46,16	0,144	1,70	18,04	0,056
Média (DP)			4,19 (0,30)	48,52 (3,03)	0,15 (0,00)	1,86 (0,14)	21,79 (4,32)	0,07 (0,01)
94	30	I	3,61	46,33	0,138	1,61	20,60	0,061
93	30	II	4,37	50,21	0,153	2,10	24,14	0,074
88	30	III	6,04	54,15	0,176	2,56	22,98	0,075
Média (DP)			4,67 (1,24)	50,23 (3,91)	0,16 (0,02)	2,09 (0,48)	22,57 (1,80)	0,07 (0,01)

APÊNDICE 26. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de enxofre expressos em g, mg/kg de PV e mg/UTM dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			g	mg/kg PV	mg/UTM	g	mg/kg PV	mg/UTM
94	0	I	3,38	38,18	0,117	1,85	20,93	0,064
90	0	II	3,92	37,38	0,120	2,04	19,41	0,062
85	0	III	3,95	36,96	0,119	2,20	20,56	0,066
Média (DP)			3,75 (0,32)	37,51 (0,62)	0,12 (0,002)	2,03 (0,18)	20,30 (0,79)	0,064 (0,002)
91	10	I	2,69	32,06	0,097	1,57	18,72	0,057
86	10	II	3,77	38,13	0,120	1,93	19,48	0,061
89	10	III	5,22	37,32	0,128	2,83	20,20	0,069
Média (DP)			3,89 (1,27)	35,84 (3,30)	0,12 (0,016)	2,11 (0,65)	19,47 (0,74)	0,06 (0,006)
92	20	I	3,44	42,17	0,127	1,83	22,43	0,067
93	20	II	3,69	37,43	0,118	2,04	20,66	0,065
87	20	III	6,58	41,75	0,148	3,25	20,65	0,073
Média (DP)			4,57 (1,75)	40,45 (2,62)	0,13 (0,015)	2,37 (0,77)	21,25 (1,02)	0,07 (0,004)
96	30	I	3,56	43,14	0,130	2,11	25,61	0,077
95	30	II	4,33	41,64	0,133	2,43	23,41	0,075
88	30	III	5,88	43,88	0,149	3,51	26,21	0,089
Média (DP)			4,59 (1,18)	42,89 (1,14)	0,14 (0,010)	2,68 (0,73)	25,08 (1,47)	0,08 (0,008)

APÊNDICE 27. Análise de variância para a excreção fecal de enxofre expressa em g/kg PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	g/kg PV/dia
		Q.M.
Linear	1	0,000024 ***
Quadrática	1	0,000028 ***
Cúbica	1	0,000001 NS
Blocos	2	0,0000037 NS
Períodos	1	0,0000002 NS
Blocos X Períodos	2	0,000009 NS
Resíduo	13	0,0000023
Total	21	

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*:  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 28. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de cobre expressos em mg/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			mg	mg/kg PV	mg/UTM	mg	mg/kg PV	mg/UTM
96	0	I	38,40	0,5486	1,59	51,07	0,7296	2,11
90	0	II	50,45	0,5733	1,76	64,89	0,7374	2,26
89	0	III	65,42	0,5451	1,80	85,18	0,7098	2,35
Média (DP)			51,42 (13,54)	0,56 (0,02)	1,72 (0,11)	67,05 (17,16)	0,73 (0,01)	2,24 (0,12)
92	10	I	42,61	0,6176	1,78	34,70	0,5029	1,45
86	10	II	53,18	0,6077	1,86	54,61	0,6241	1,91
87	10	III	82,88	0,6209	2,11	80,57	0,6035	2,05
Média (DP)			59,56 (20,88)	0,62 (0,01)	1,92 (0,17)	56,63 (23,00)	0,58 (0,06)	1,80 (0,31)
91	20	I	42,94	0,5803	1,70	51,03	0,6896	2,02
95	20	II	53,29	0,5762	1,79	58,62	0,6338	1,97
85	20	III	53,14	0,5653	1,76	58,14	0,6185	1,93
Média (DP)			49,79 (5,93)	0,57 (0,01)	1,75 (0,05)	55,93 (4,25)	0,65 (0,04)	1,97 (0,05)
94	30	I	42,74	0,5480	1,63	42,85	0,5493	1,63
93	30	II	49,58	0,5699	1,74	49,56	0,5696	1,74
88	30	III	64,91	0,5822	1,89	74,64	0,6694	2,18
Média (DP)			52,41 (11,35)	0,57 (0,02)	1,75 (0,13)	55,68 (16,76)	0,60 (0,06)	1,85 (0,29)

APÊNDICE 29. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de cobre expressos em mg/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			mg	mg/kg PV	mg/UTM	mg	mg/kg PV	mg/UTM
94	0	I	47,83	0,54	1,66	63,29	0,72	2,19
90	0	II	56,51	0,54	1,72	66,45	0,63	2,03
85	0	III	57,85	0,54	1,74	65,05	0,61	1,96
Média (DP)			54,06 (5,44)	0,54 (0,00)	1,71 (0,04)	64,93 (1,58)	0,65 (0,06)	2,06 (0,12)
91	10	I	48,46	0,58	1,75	43,24	0,51	1,56
86	10	II	60,87	0,61	1,94	55,34	0,56	1,76
89	10	III	83,52	0,60	2,05	82,38	0,59	2,02
Média (DP)			64,28 (17,78)	0,60 (0,02)	1,91 (0,15)	60,32 (20,04)	0,55 (0,04)	1,78 (0,23)
92	20	I	45,03	0,55	1,66	49,03	0,60	1,81
93	20	II	52,07	0,53	1,67	61,05	0,62	1,95
87	20	III	86,24	0,55	1,94	94,88	0,60	2,13
Média (DP)			61,11 (22,04)	0,54 (0,01)	1,76 (0,16)	68,32 (23,77)	0,61 (0,01)	1,96 (0,16)
96	30	I	42,75	0,52	1,56	43,83	0,53	1,60
95	30	II	53,89	0,52	1,65	64,60	0,62	1,98
88	30	III	71,00	0,53	1,80	79,33	0,59	2,01
Média (DP)			55,88 (14,23)	0,52 (0,01)	1,67 (0,12)	62,59 (17,84)	0,58 (0,05)	1,86 (0,23)

APÊNDICE 30. Análise de variância para a excreção fecal de cobre expressa em g/kg PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	g/kg PV/dia
		Q.M.
Linear	1	0,01896 ***
Quadrática	1	0,01545 ***
Cúbica	1	0,01711 ***
Blocos	2	0,0025 NS
Períodos	1	0,0048 NS
Blocos X Períodos	2	0,00115 NS
Consumo de Cu (covar.)	1	-
Resíduo	14	0,0020
Total	22	

NS: não significativo; \*\*\*:  $P < 0,01$ ; \*\* :  $P < 0,05$ ; \* :  $P < 0,10$

APÊNDICE 31. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de zinco expressos em mg/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no primeiro período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			mg	mg/kg PV	mg/UTM	mg	mg/kg PV	mg/UTM
96	0	I	152,65	2,18	6,31	155,25	2,22	6,42
90	0	II	201,10	2,29	7,00	193,75	2,20	6,74
89	0	III	262,35	2,19	7,24	223,89	1,87	6,18
Média (DP)			205,37 (54,97)	2,22 (0,06)	6,85 (0,48)	190,96 (34,40)	2,10 (0,20)	6,45 (0,28)
92	10	I	164,58	2,39	6,87	111,35	1,61	4,65
86	10	II	207,06	2,37	7,24	179,31	2,05	6,27
87	10	III	323,37	2,42	8,23	254,92	1,91	6,49
Média (DP)			231,67 (82,21)	2,39 (0,03)	7,45 (0,70)	181,86 (71,82)	1,86 (0,22)	5,80 (1,00)
91	20	I	175,92	2,38	6,97	166,44	2,25	6,60
95	20	II	216,46	2,34	7,26	194,24	2,10	6,51
85	20	III	216,02	2,30	7,16	186,53	1,98	6,18
Média (DP)			202,80 (23,28)	2,34 (0,04)	7,13 (0,15)	182,40 (14,35)	2,11 (0,14)	6,43 (0,22)
94	30	I	169,14	2,17	6,44	136,57	1,75	5,20
93	30	II	196,53	2,26	6,90	151,19	1,74	5,31
88	30	III	258,58	2,32	7,54	218,34	1,96	6,36
Média (DP)			208,08 (45,83)	2,25 (0,08)	6,96 (0,55)	168,70 (43,61)	1,82 (0,12)	5,62 (0,64)



APÊNDICE 32. Médias observadas de consumo e de excreção fecal de zinco expressos em mg/dia e mg/kg de PV/dia dos animais (A) no segundo período experimental de acordo com os tratamentos (T) e blocos (B).

A	T	B	Consumo/dia			Excreção fecal/dia		
			mg	mg/kg PV	mg/UTM	mg	mg/kg PV	mg/UTM
94	0	I	168,16	1,90	5,83	171,33	1,94	5,94
90	0	II	198,62	1,89	6,06	193,16	1,84	5,89
85	0	III	203,13	1,90	6,11	186,55	1,74	5,61
Média (DP)			189,97 (19,02)	1,90 (0,01)	6,00 (0,15)	183,68 (11,19)	1,84 (0,10)	5,81 (0,18)
91	10	I	167,99	2,00	6,05	155,91	1,86	5,62
86	10	II	210,65	2,13	6,71	182,80	1,85	5,82
89	10	III	289,13	2,07	7,10	250,82	1,79	6,16
Média (DP)			222,59 (61,45)	2,07 (0,07)	6,62 (0,53)	196,51 (48,92)	1,83 (0,04)	5,87 (0,27)
92	20	I	163,05	2,00	6,01	150,42	1,85	5,55
93	20	II	189,38	1,92	6,06	169,85	1,72	5,43
87	20	III	312,02	1,98	7,02	277,87	1,76	6,25
Média (DP)			221,48 (79,50)	1,97 (0,04)	6,36 (0,57)	199,38 (68,67)	1,78 (0,07)	5,74 (0,44)
96	30	I	151,47	1,84	5,53	139,31	1,69	5,09
95	30	II	190,65	1,83	5,85	178,83	1,72	5,49
88	30	III	250,89	1,87	6,37	248,40	1,85	6,31
Média (DP)			197,67 (50,08)	1,85 (0,02)	5,92 (0,42)	188,85 (55,23)	1,75 (0,09)	5,63 (0,62)

APÊNDICE 33. Análise de variância para a excreção fecal de zinco expressa em g/kg PV/dia.

Fontes de variação	G.L.	g/kg PV/dia
		Q.M.
Linear	1	0,0667 *
Quadrática	1	0,007 NS
Cúbica	1	0,053 NS
Blocos	2	0017 NS
Períodos	1	0,223 NS
Blocos X Períodos	2	0,0063 NS
Resíduo	13	0,017
Total	21	

NS: não significativo; \*\*\*: P<0,01; \*\* : P<0,05; \* : P<0,10

## VITA

Diego Langwinski, filho de Ricardo Langwinski e Alice Anita Langwinski, nascido em 26 de dezembro de 1976, em Taquara, Rio Grande do Sul e casado com Andreia Antonia Schmitt Langwinski.

Estudou na Escola Estadual Estadual de 1º Grau Emília Viega da Rocha onde concluiu o 1º Grau em 1990. Em 1994, concluiu o 2º Grau e recebeu o Título de Técnico em Agropecuária na Escola Estadual de 1º e 2º Graus Daniel de Oliveira Paiva, em Cachoeirinha. Neste ano, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre. Durante o curso, desenvolveu atividades de Iniciação Científica nas áreas de bovinocultura de corte e leite, suinocultura, avicultura e citricultura. Em 2000, graduou-se como Engenheiro Agrônomo e ingressou no Curso de Mestrado em Zootecnia, também na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Dr. Harold Ospina Patiño. Neste período, desenvolveu trabalhos na área de nutrição de ruminantes, estudando a utilização de minerais quelados e a utilização de gordura protegida.