

CLÁUDIA BATISTA SAMPAIO

**CONSUMO, DIGESTIBILIDADE E DINÂMICA RUMINAL EM BOVINOS
ALIMENTADOS COM FORRAGEM TROPICAL DE BAIXA QUALIDADE
SUPLEMENTADOS COM COMPOSTOS NITROGENADOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S192c
2007

Sampaio, Cláudia Batista, 1981-

Consumo, digestibilidade e dinâmica ruminal em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade suplementados com compostos nitrogenados / Cláudia Batista Sampaio. – Viçosa, MG , 2007.
x, 53f. : il. ; 29cm.

Orientador: Edenio Detmann.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Bovino - Alimentação e rações. 2. Rúmen - Fermentação.
3. Suplementos dietéticos. 4. Plantas forrageiras - Qualidade.
I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 636.2085

CLÁUDIA BATISTA SAMPAIO

**CONSUMO, DIGESTIBILIDADE E DINÂMICA RUMINAL EM BOVINOS
ALIMENTADOS COM FORRAGEM TROPICAL DE BAIXA QUALIDADE
SUPLEMENTADOS COM COMPOSTOS NITROGENADOS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de março de 2007

Prof. Mário Fonseca Paulino
(Co-Orientador)

Prof. Sebastião de Campos Valadares Filho
(Co-Orientador)

Prof^a. Rilene Ferreira Diniz Valadares

Prof. Augusto César de Queiroz

Prof. Edenio Detmann
(Orientador)

A Deus e Nossa Senhora pela presença constante em minha vida

A minha amada mãe, meu porto seguro a quem devo tudo

A meu pai, exemplo de força e trabalho

Aos meus queridos irmãos, Nice, Clayton e Gera

A Antônio Gomide,

pelo amor, companheirismo e por fazer parte da minha vida

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia, por tornar possível a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo.

À minha amada mãe pelos ensinamentos de vida, amor incondicional, pela compreensão, orgulho e confiança.

Ao meu pai, por ter dado a oportunidade de começar minha vida profissional.

À Nice, mais que minha irmã, minha amiga pra todas as horas, a quem confio minhas alegrias e tristezas.

Ao meu irmão “grandão”, pela alegria e carinho em todos os momentos.

A tia Fátima (Dindinha), meu espelho e exemplo de vida.

A meu amor, Antônio Gomide e família, por todo amor, respeito, compreensão e por fazerem parte da minha vida.

A Antônio Fernando Gomide (*in memorian*), pelos ensinamentos de vida, conselhos, carinho, por me tratar e receber como filha, por todos os inesquecíveis momentos de felicidade, muito obrigado por ter feito parte da minha vida.

Ao Professor Edenio Detmann, pela excelente orientação em todos os momentos deste trabalho, atenção, paciência, amizade e por ensinar com tanta vontade e sabedoria.

Ao Professor Mário Fonseca Paulino, pelos ensinamentos primordiais para realização deste trabalho.

Ao Professor Sebastião de Campos Valadares Filho, pela confiança e ensinamentos desde a formação acadêmica.

Aos demais Professores do Departamento de Zootecnia, pelos ensinamentos e agradável convivência.

Aos funcionários, Monteiro, Fernando, Valdir, Vera, Wellington, Pum, Celeste, Márcia, Edson, “Supimpa” e Fernandinha, pela amizade e colaboração.

Às amigas, Isis e Marjorrie, pela imprescindível colaboração neste trabalho, do início ao fim, pela amizade construída e por tantos momentos de alegria e descontração.

Aos amigos da ZOO, especialmente a Fabiana e também Daniella, pela companhia nas coletas de madrugada e pela amizade.

Aos estagiários Bolão, Felipe e Samuel pela colaboração durante o experimento.

Às amigas da antiga república, em especial Paloma, Manuella e minha irmã Alessandra, por fazerem parte de tantos momentos de alegria desde a graduação.

À Mel, minha “filhinha”, por sempre me receber com tanta alegria sem pedir nada em troca e me fazer companhia todos os dias.

BIOGRAFIA

Cláudia Batista Sampaio, filha de Maria das Graças Batista Sampaio e Euclides Sampaio dos Santos, nasceu em São Paulo, no dia 14 de maio de 1981.

Em julho de 2005, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Nutrição de Ruminantes, submetendo-se à defesa de dissertação em 14 de março de 2007.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4

CAPÍTULO 1 - Consumo, Digestibilidade e Síntese de Proteína Microbiana em Bovinos Alimentados com Forragem Tropical de Baixa Qualidade Suplementados com Compostos Nitrogenados

Resumo.....	6
Abstract.....	7
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	14
Conclusões.....	27
Literatura Citada.....	27

CAPÍTULO 2 - Dinâmica Ruminal da Fibra em Detergente Neutro em Bovinos Alimentados com Forragem Tropical de Baixa Qualidade Suplementados com Compostos Nitrogenados

Resumo.....	31
Abstract.....	32
Introdução.....	32
Material e Métodos.....	34
Resultados e Discussão.....	39
Conclusões.....	50
Literatura Citada.....	50

CONCLUSÕES GERAIS.....	53
------------------------	----

RESUMO

SAMPAIO, Cláudia Batista, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Março, 2007.
Consumo, digestibilidade e dinâmica ruminal em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade suplementados com compostos nitrogenados. Orientador: Edenio Detmann. Co-Orientadores: Mário Fonseca Paulino e Sebastião de Campos Valadares Filho

Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sobre o consumo, a digestibilidade, o balanço dos compostos nitrogenados, a eficiência de síntese de proteína microbiana e sobre a dinâmica ruminal da fibra em detergente neutro (FDN) em bovinos alimentados com forragem de baixa qualidade. Foram utilizadas cinco novilhas mestiças Holandês x Zebu, com peso vivo médio inicial de 191 kg, fistuladas no rúmen. A alimentação volumosa basal dos animais foi constituída por feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) com 4,86% de proteína bruta (PB) com base na matéria seca (MS), fornecido *ad libitum*. Os cinco tratamentos avaliados foram definidos de acordo com o nível de suplementação protéica (0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais acima do nível de PB da forragem). Como fonte de compostos nitrogenados empregou-se mistura de uréia, sulfato de amônia e albumina, nas proporções de 4,5:0,5:1,0, respectivamente. O experimento foi constituído de 5 períodos experimentais, segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5. Os níveis médios de PB nas dietas foram de 5,19, 7,11, 8,60, 11,67 e 13,02%, com base na MS. Verificou-se efeito quadrático ($P < 0,10$) dos níveis de PB na dieta sobre os consumos de MS, matéria orgânica (MO), FDN e FDN corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) (kg/dia), com respostas máximas sobre os níveis de 10,24%, 10,27%, 10,12% e 10,05% de PB, respectivamente. Os coeficientes de digestibilidade da MS e da FDNcp não foram afetados pelos níveis de PB na dieta ($P > 0,10$). A concentração média diária de nitrogênio amoniacal ruminal apresentou comportamento linear crescente ($P < 0,10$) em função dos níveis de PB na dieta, com valor estimado de 9,64 mg/dL equivalente ao máximo consumo de MS. O fluxo de compostos nitrogenados microbianos no intestino delgado relacionou-se linear e positivamente ($P < 0,10$) com os dos níveis de PB da dieta. Observou-se falta de relação ($P > 0,10$) entre os níveis de PB e a eficiência de síntese de proteína microbiana. Verificou-se elevação linear ($P < 0,10$) da fração potencialmente

degradável da FDN até o nível de 6,97% de PB, com platô em 47,87% da FDN. A taxa de degradação da fração potencialmente degradável da FDN elevou-se linearmente ($P<0,10$) com os níveis de PB da dieta. O fluxo ruminal de partículas fibrosas (L) apresentou relação *linear response-plateau* ($P<0,10$), com estabelecimento do platô (máximo) em 7,24% de PB. O tempo médio de retenção no rúmen-retículo e a repleção ruminal da fração indegradável da FDN apresentaram comportamento semelhante a L ($P<0,10$), com ponto crítico para o início do platô (mínimo) em 6,90 e 6,97% de PB, respectivamente.

ABSTRACT

SAMPAIO, Cláudia Batista, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2007.

Intake, digestibility, and rumen dynamics in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. Adviser: Edenio Detmann. Co-Advisers: Mário Fonseca Paulino and Sebastião de Campos Valadares Filho.

The aim of this work was to evaluate the effects of supplementation with nitrogenous compounds on intake, digestibility, nitrogenous compounds balance, efficiency of microbial synthesis, and neutral detergent fiber (NDF) rumen dynamics in cattle fed low-quality forage. Five crossbred heifers, with average live weight of 191 kg and fitted with rumen cannulae, were used. The animals were fed *ad libitum* with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) hay, which had crude protein (CP) content of 4.86% of dry matter (DM). The five treatments were defined according to the level of CP in the diet (0, 2, 4, 6, and 8 percentile points above the CP level of the roughage). The supplement was a mixture of urea, ammonium sulfate, and albumin (4.5:0.5:1.0, respectively). The experiment was carried out according to a 5 x 5 Latin square design, with five experimental periods. The average CP levels in the diets were: 5.19, 7.11, 8.60, 11.67, and 13.02% in DM basis. The intakes of DM, organic matter (OM), NDF, and NDF corrected for ash and nitrogenous compounds (NDFom(n)) showed a quadratic profile according to CP levels in the diet ($P < 0.10$) with maximum responses on 10.24%, 10.27%, 10.12%, and 10.05% of CP, respectively. The digestibility coefficients of DM and NDFom(n) were not affected by CP levels ($P > 0.10$). The average concentration of rumen ammonia nitrogen (RAN) was linearly increased with CP levels ($P < 0.10$). The RAN estimate associated with the maximum DM intake was 9.64 mg/dL. The microbial nitrogen flow in small intestine was linearly increased with the CP level in the diet ($P < 0.10$). The efficiency of microbial synthesis was not affected by supplementation ($P > 0.10$). The potentially degradable NDF was linearly increased ($P < 0.10$) according to CP levels in diet until 6.97% CP. From this point, there was stabilization of estimates (47.87% of NDF). The degradation rate of potentially degradable NDF has been increased linearly with CP levels in diet ($P < 0.10$). The rumen flow of fibrous particles (L) had a *linear response-plateau* according to CP levels in the diet ($P < 0.10$). The plateau

(maximum) for the estimates has begun on 7.24% of CP. The mean retention time in rumen-reticulum and the rumen fill effect of undegradable NDF was affected by CP levels similarly to (L) ($P < 0.10$), with plateau (minimum) beginning on 6.90 and 6.97% of CP, respectively.

INTRODUÇÃO GERAL

Em termos mundiais, o Brasil é o país que detém o maior rebanho comercial de bovinos. A produção de bovinos em regiões tropicais, como o Brasil, se baseia na utilização de pastagens, sendo estas a fonte de alimento de mais baixo custo na alimentação de ruminantes.

Entretanto, a maior área de pastagens no Brasil está localizada na região central, cujas características climáticas incorrem em distribuição inconstante das chuvas, levando à divisão das estações em seca e águas, o que acarreta variações na oferta qualitativa e quantitativa de forragem.

As gramíneas tropicais apresentam grande potencial de produção; mas, com o amadurecimento, o acúmulo de matéria seca ao longo do crescimento é acompanhado pelo espessamento e aumento da lignificação da parede celular, limitando a atividade microbiana sobre os polissacarídeos pela falta de acesso físico a estes, o que compromete a sua qualidade como alimento para ruminantes (Paulino et al., 2002).

Assim, a forragem, com a chegada da estação seca, decresce rapidamente em digestibilidade, ampliando-se o tempo de retenção da digesta no rúmen, implicando redução no consumo voluntário e perda excessiva de peso, sendo este o principal fator limitante para a produção animal (Leng, 1984).

Segundo Minson (1990), forragens tropicais normalmente apresentam níveis inferiores a 7% de proteína bruta (PB), valor considerado como limitante para atividade adequada dos microrganismos do rúmen, implicando condições sub-ótimas no ambiente ruminal (Ørskov, 2000), comprometendo os limites para a manutenção do crescimento microbiano e a utilização dos compostos fibrosos da forragem em condições tropicais. Segundo Hoover (1986), para forragens de baixa qualidade, limitações na taxa e extensão de degradação podem ser atribuídas à deficiência no suprimento de nutrientes essenciais como: nitrogênio, enxofre ou, em alguns casos, ácidos graxos de cadeia ramificada.

Segundo Köster et al. (1996), o consumo de proteína degradável pode ser considerado na dieta como primeiro componente limitante na utilização de forragens de baixa qualidade.

O fornecimento adicional de compostos nitrogenados para animais consumindo forragens de baixa qualidade favorece o crescimento das bactérias fibrolíticas, aumenta a taxa de degradação e a síntese de proteína microbiana e, desse modo, permite incrementar o consumo voluntário da forragem e melhorar a extração energética a partir dos carboidratos fibrosos da forragem, resultando em maior aporte de nutrientes para o intestino e ácidos graxos voláteis para o metabolismo energético (Detmann et al., 2004).

Nessas circunstâncias, estratégias de suplementação com compostos nitrogenados devem ser focadas sobre o aumento do teor protéico da dieta, fornecendo substratos essenciais à atividade microbiana ruminal, incrementando, conseqüentemente, o consumo e a digestibilidade da forragem basal; visando então satisfazer as exigências dos animais para que estes possam não somente manter o peso vivo, como também obter ganhos satisfatórios durante o período seco.

Segundo Costa (2006), os suplementos protéicos promovem o aumento do consumo de forragem devido ao fornecimento de nitrogênio amoniacal para os microrganismos ruminais. Esse aumento no consumo de forragem, em conseqüência da suplementação, proporciona acréscimo no consumo de energia pelo animal. O incremento no desempenho animal em função da suplementação protéica pode não ser devido apenas ao maior consumo de forragem, mas devido a mudanças na digestibilidade ou na eficiência de utilização dos nutrientes.

A eficiência de utilização dos nutrientes via suplementação surge a partir da otimização de utilização dos recursos nutricionais basais oriundos das forragens tropicais, que constituem os principais recursos nutricionais em sistemas de produção de bovinos em pastejo, provendo, principalmente, compostos energéticos de baixo custo (Paulino et al., 2006).

A maximização de utilização desses recursos energéticos pode ser alcançada pelo incremento na disponibilidade da porção degradada da fibra, ou seja, pela utilização da fibra em detergente neutro (FDN), a qual, em condições tropicais, constitui cerca de 60% da matéria seca (MS) total das forragens (Paulino et al., 2006).

A integração entre os recursos nutricionais basais e o suplemento a ser utilizado deve buscar ao máximo a aproximação entre a fração efetivamente degradada e a fração potencialmente degradável da FDN através dos processos de degradação e passagem em conjunto e através do incremento da taxa de passagem da porção indegradável, a qual, independentemente da situação alimentar, não poderá ser utilizada pelos microrganismos (Paulino et al., 2006).

Dessa forma, o desaparecimento da FDN do ambiente ruminal constitui a integração entre o processo de degradação da fração potencialmente degradável da FDN e da retirada da fração indegradável (FDNi) (Ellis et al., 1994); sendo estes processos determinantes do consumo voluntário sob dietas com predomínio de forragem (Detmann et al., 2003).

Por estas razões, os processos de degradação e trânsito ruminal devem ser avaliados de forma integrada no sentido de que na medida em que se amplia a velocidade de utilização dos compostos potencialmente degradáveis pelos microrganismos reduz-se o tempo necessário para que a partícula alcance a faixa de gravidade específica para a remoção do rúmen (Allen, 1996). Assim, sendo as frações potencialmente degradável e indegradável características do substrato, alterações no ambiente ruminal implicam variações na taxa de degradação do substrato basal pelos microrganismos (Ørskov, 2000).

Sendo a proteína limitante para utilização de forragem de baixa qualidade, a suplementação visando ofertar este nutriente mostra-se eficiente, pois nutre a população microbiana oferecendo condições para que estes microrganismos utilizem eficientemente os carboidratos fibrosos presentes na forragem basal.

Assim os sistemas de suplementação de bovinos em pastejo constituem uma opção viável para os pecuaristas, pois além de não requererem atividade agrícola intensiva para a produção de volumosos, como nos confinamentos, permitem melhorias significativas nos índices de produtividade do rebanho e melhoram as condições de manejo das pastagens (Paulino et al., 2001). Deve-se, no entanto, levar em consideração as condições das pastagens (qualidade e quantidade), categoria animal e consequentemente o balanço de nutrientes da dieta total proporcionada aos mesmos.

Em vários estudos verificaram-se relações positivas entre os compostos nitrogenados suplementares e o consumo voluntário, a digestibilidade e os eventos da dinâmica ruminal dos carboidratos fibrosos em forragens de baixa qualidade

(Delcurto et al., 1990; Hannah et al., 1991; e Köster et al., 1996). Contudo, tais associações são ainda escassas em condições tropicais, justificando-se, portanto, estudos complementares com intuito de gerar respostas específicas acerca do problema exposto, avaliando-se, principalmente, os feitos sobre a utilização dos carboidratos fibrosos da forragem basal.

Desta forma, objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sobre o consumo, a digestibilidade, o balanço dos compostos nitrogenados, a eficiência de síntese de proteína microbiana e sobre a dinâmica ruminal da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M.S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3063-3075, 1996.
- COSTA, V.A.C. **Dinâmica de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragens tropicais em função de suplementação protéica e/ou energética**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 52p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- DelCURTO, T.; COCHRAN, R.C.; HARMON, D.L. et al. Supplementation of dormant Tallgrass-Prarie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. **Journal of Animal Science**, v.68, p.515-531, 1990.
- DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C.; CECON, P.R. et al. Consumo de fibra em detergente neutro por bovinos em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.1763-1777, 2003 (Suplemento 1).
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiço em pastejo durante época seca: desempenho produtivo e característica de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.169-180, 2004.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994. p.682-756.
- HANNAH, S.M.; COCHRAN, R.C.; VANZANT, E.S. et al. Influence of protein supplementation on site and extent of digestion, forage intake, and nutrient flow characteristics in steers consuming dormant Bluestem-Range forage. **Journal of Animal Science**, v.69, p.2624-2633, 1991.
- HOOVER, W.H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.2755-2766, 1986.

- KÖSTER, H.H.; COCHRAN, R.C.; TITGEMEYER, E.S. et al. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality Tallgrass-Prarie forage by beef cows. **Journal of Animal Science**, v.74, p.2473-2481, 1996.
- LENG, R.A. Supplementation of tropical and subtropical pastures for ruminant production. In: GILCHRIST, F.M.C.; MACKIE, R.I. (Eds.) **Herbivore nutrition in the subtropics and tropics**. Craighall: The Science Press, 1984. p.129-144.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483p.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T. Suplementos múltiplos para recria e engorda de bovinos em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMCORTE, 2001. p.187-233.
- PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; MORAES, E.H.B.K. et al. Bovinocultura de ciclo curto em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3, 2002 Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMCORTE, 2002. p.153-196.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. Suplementação animal em pasto, energética ou protéica? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3, 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMFOR, 2006. p.359-392.
- ØRSKOV, E.R. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R.F.E. et al. (Eds.) **Forage evaluation in ruminant nutrition**. London: CAB International, 2000. p.175-188.

CAPÍTULO 1

Consumo, Digestibilidade e Síntese de Proteína Microbiana em Bovinos Alimentados com Forragem Tropical de Baixa Qualidade Suplementados com Compostos Nitrogenados

Resumo - Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sobre o consumo, a digestibilidade, o balanço dos compostos nitrogenados e a eficiência de síntese de proteína microbiana em bovinos alimentados com forragem de baixa qualidade. Foram utilizadas cinco novilhas mestiças Holandês x Zebu, com peso vivo médio inicial de 191 kg, fistuladas no rúmen. A alimentação volumosa basal dos animais foi constituída por feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) (4,86% de PB, com base na MS), fornecido *ad libitum*. Os cinco tratamentos avaliados foram definidos de acordo com o nível de suplementação protéica (0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais acima do nível de PB da forragem). Como fonte de compostos nitrogenados empregou-se mistura de uréia, sulfato de amônia e albumina, nas proporções de 4,5:0,5:1,0, respectivamente. O experimento foi constituído de 5 períodos experimentais, segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5. Os níveis médios de PB nas dietas foram de 5,19, 7,11, 8,60, 11,67 e 13,02%, com base na MS. Verificou-se efeito quadrático ($P < 0,10$) dos níveis de PB na dieta sobre os consumos de MS, MO, FDN e FDNcp (kg/dia), com respostas máximas sobre os níveis de 10,24%, 10,27%, 10,12% e 10,05% de PB, respectivamente. Os coeficientes de digestibilidade da MS e da FDNcp não foram afetados pelos níveis de PB na dieta ($P > 0,10$). A concentração média diária de nitrogênio amoniacal ruminal apresentou comportamento linear crescente ($P < 0,10$) em função dos níveis de PB na dieta, com valor estimado de 9,64 mg/dL equivalente ao máximo consumo de MS. O fluxo de compostos nitrogenados microbianos no intestino delgado relacionou-se linear e positivamente ($P < 0,10$) com os dos níveis de PB da dieta. Observou-se falta de relação ($P > 0,10$) entre os níveis de PB e a eficiência de síntese de proteína microbiana.

Palavras-chave: capim-braquiária, nitrogênio amoniacal ruminal, suplementação, uréia

Intake, Digestibility, and Microbial Protein Synthesis in Cattle Fed Low-Quality Tropical Forage and Supplemented with Nitrogenous Compounds

Abstract – The aim of this work was to evaluate the effects of supplementation with nitrogenous compounds on intake, digestibility, nitrogenous compounds balance, and efficiency of microbial synthesis in cattle fed low-quality forage. Five crossbred heifers, with average live weight of 191 kg and fitted with rumen cannulae, were used. The animals were fed *ad libitum* with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) hay, which had crude protein (CP) content of 4.86% of dry matter (DM). The five treatments were defined according to the level of CP in the diet (0, 2, 4, 6, and 8 percentile points above the CP level of the roughage). The supplement was a mixture of urea, ammonium sulfate, and albumin (4.5:0.5:1.0, respectively). The experiment was carried out according to a 5 x 5 Latin square design, with five experimental periods. The average CP levels in the diets were: 5.19, 7.11, 8.60, 11.67, and 13.02% in DM basis. The intakes of DM, OM, NDF, and NDFom(n) showed a quadratic profile according to CP levels in the diet ($P < 0.10$) with maximum responses on 10.24%, 10.27%, 10.12%, and 10.05% of CP, respectively. The digestibility coefficients of DM and NDFom(n) were not affected by CP levels ($P > 0.10$). The average concentration of rumen ammonia nitrogen (RAN) was linearly increased with CP levels ($P < 0.10$). The RAN estimate associated with the maximum DM intake was 9.64 mg/dL. The microbial nitrogen flow in small intestine was linearly increased with the CP level in the diet ($P < 0.10$). The efficiency of microbial synthesis was not affected by supplementation ($P > 0.10$).

Keywords: rumen ammonia nitrogen, signal grass, supplementation, urea,

Introdução

A produção de bovinos em regiões tropicais, como o Brasil, se baseia na utilização de pastagens; sendo estas a fonte de alimento de mais baixo custo na alimentação de ruminantes.

Entretanto, a maior área de pastagens no Brasil está localizada na região central, cujas características climáticas incorrem em distribuição inconstante das chuvas levando à divisão das estações em seca e águas, o que acarreta variações na oferta qualitativa e quantitativa de forragem.

Durante a estação chuvosa, as forragens tropicais apresentam elevada taxa de crescimento e na estação seca do ano apresentam elevados teores de constituintes de parede celular. Portanto, as pastagens tropicais na época seca raramente constituem dieta balanceada, no senso de que seus constituintes orgânicos e inorgânicos estejam presentes em concentrações e proporções que melhor satisfaçam as necessidades dos animais (Paulino et al., 2001).

Segundo Minson (1990), forragens tropicais normalmente apresentam níveis inferiores a 7% de proteína bruta (PB), valor considerado como limitante para atividade adequada dos microrganismos do rúmen, implicando condições sub-ótimas do ambiente ruminal (Ørskov, 2000), comprometendo os limites para a manutenção do crescimento microbiano e a utilização dos compostos fibrosos da forragem em condições tropicais.

Segundo Köster et al. (1996), o consumo de proteína degradável pode ser considerado na dieta como primeiro componente limitante na utilização de forragens de baixa qualidade.

O fornecimento adicional de compostos nitrogenados para animais consumindo forragens de baixa qualidade favorece o crescimento das bactérias fibrolíticas, aumenta a taxa de degradação e a síntese de proteína microbiana e, desse modo, permite incrementar o consumo voluntário da forragem e melhorar a extração energética a partir dos carboidratos fibrosos da forragem, podendo incrementar o aproveitamento dos substratos energéticos do próprio suplemento, resultando em maior aporte de nutrientes para o intestino e ácidos graxos voláteis para o metabolismo energético (Detmann et al., 2004).

Nessas circunstâncias, estratégias de suplementação com compostos nitrogenados devem ser focadas sobre o aumento do teor protéico da dieta, fornecendo substratos essenciais à atividade microbiana ruminal, incrementando, conseqüentemente, o consumo e a digestibilidade da forragem basal; visando então satisfazer as exigências dos animais para que estes possam não somente manter o peso vivo, como também obter ganhos satisfatórios durante o período seco.

Segundo Costa (2006), os suplementos protéicos promovem o aumento do consumo de forragem devido ao fornecimento de nitrogênio amoniacal para os microrganismos ruminais. Esse aumento no consumo de forragem, em consequência da suplementação, proporciona acréscimo no consumo de energia pelo animal. O incremento no desempenho animal em função da suplementação protéica pode não ser devido apenas ao maior consumo de forragem, mas devido a mudanças na digestibilidade ou na eficiência de utilização dos nutrientes.

Em vários estudos verificaram-se relações positivas entre compostos nitrogenados suplementares e o consumo voluntário e a digestibilidade de forragens de baixa qualidade (Delcurto et al., 1990a; Hannah et al., 1991; e Köster et al., 1996). Contudo, tais associações são ainda escassas em condições tropicais, justificando-se, portanto, estudos complementares com intuito de gerar respostas específicas acerca do problema exposto, avaliando-se, principalmente, os efeitos sobre a utilização dos carboidratos fibrosos da forragem basal.

Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos dos compostos nitrogenados suplementares sobre o consumo, a digestibilidade e a síntese de proteína microbiana em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade.

Material e Métodos

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Animais e do Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, entre os meses de dezembro de 2005 e fevereiro de 2006.

Foram utilizadas cinco novilhas mestiças Holandês x Zebu, com peso vivo (PV) médio inicial de 180 ± 21 kg, fistuladas no rúmen, mantidas em baias individuais cobertas, com piso de concreto, dispostas com comedouro e com acesso irrestrito a água e mistura mineral

A alimentação volumosa basal foi constituída por feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) de baixa qualidade, com nível de PB médio de 4,86 %, com base na matéria seca (MS), o qual foi fornecido *ad libitum*.

Os cinco tratamentos avaliados foram definidos de forma a elevar-se o nível de PB da forragem em 0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais, com base na MS. Como fonte de compostos nitrogenados empregou-se mistura de uréia, sulfato de amônia e albumina, nas proporções de 4,5:0,5:1,0, respectivamente. Os suplementos foram

calculados com base no consumo de matéria seca computado no dia anterior e introduzidos no rúmen dos animais.

A escolha dos componentes do suplemento utilizado se deu com base na ausência de carboidratos, permitindo avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sem que alguma fonte suplementar de fibra ou energia interferisse nas mensurações. A inclusão de albumina no suplemento buscou suprir as necessidades microbianas em termos de proteína degradável no rúmen de natureza orgânica, permitindo o fornecimento de substratos essenciais, como ácidos graxos voláteis de cadeia ramificada.

A alimentação volumosa foi fornecida diariamente *ad libitum*, permitindo-se aproximadamente 10% de sobras, sendo fracionada em duas porções de mesmo peso e fornecidas diariamente às 8h00 e 16h00. No momento do fornecimento do volumoso os suplementos foram introduzidos diretamente no rúmen dos animais em duas porções de pesos equivalentes. O volumoso ofertado e as respectivas sobras foram quantificados diariamente.

O experimento foi constituído de cinco períodos experimentais, com 16 dias cada, sendo os cinco primeiros dias destinados à adaptação dos animais aos níveis de suplementação.

Para efeito de quantificação e avaliação do consumo voluntário foram considerados os alimentos fornecidos entre o sexto e o nono dia de cada período experimental, sendo as sobras computadas entre o sétimo e o décimo dia.

As amostras de volumoso e sobras obtidas foram processadas em moinho de facas (1mm), acondicionadas em potes plásticos e armazenadas para posterior análise.

Para estimação dos coeficientes de digestibilidade foram realizadas coletas fecais diretamente do reto dos animais do sétimo ao décimo dia do período experimental, segundo a distribuição: 7º dia - 6h00 e 14h00; 8º dia - 8h00 e 16h00, 9º dia - 10h00 e 18h00; e 10º dia - 12h00 e 20h00. As amostras de fezes foram pré-secas em estufa de ventilação forçada (60°C/72 horas) e processadas em moinho de facas (1 mm). Posteriormente, elaboraram-se amostras compostas, com base no peso seco ao ar, por animal e período experimental.

Para avaliação do pH e da concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR) realizaram-se, no sexto dia do período experimental, coletas de líquido ruminal às 4h00, 8h00, 12h00, 16h00, 20h00 e 24h00. As amostras foram coletadas

manualmente na interface líquido:sólido do ambiente ruminal, filtradas por uma camada tripla de gaze e submetidas à avaliação do pH por intermédio de potenciômetro digital. Em seguida, separou-se alíquota de 40 mL, a qual foi fixada com 1 mL de H₂SO₄ (1:1) e congelada (-20°C) para posterior análise.

No décimo dia do período experimental realizou-se coleta de líquido ruminal com o objetivo de se isolar microrganismos ruminais. As amostras foram tomadas imediatamente antes e seis horas após o fornecimento da alimentação matinal, conforme técnica descrita por Cecava et al. (1990). Depois de centrifugadas e secas em estufa com ventilação forçada (60°), as amostras foram processadas em moinho tipo “bola” e armazenadas.

No décimo segundo, décimo quarto e décimo sexto dias foram realizadas coletas de urina, na forma de amostra *spot*, em micção espontânea dos animais, aproximadamente quatro horas após o fornecimento da alimentação matinal. As amostras foram filtradas em gaze e uma alíquota de 10 mL foi separada e diluída com 40 mL de ácido sulfúrico (0,036 N) (Valadares et al., 1999), a qual foi destinada à quantificação das concentrações urinárias de uréia, nitrogênio, creatinina, alantoína e ácido úrico.

No décimo sexto dia foi realizada coleta de sangue via veia jugular, aproximadamente quatro horas após o fornecimento da alimentação matinal, utilizando-se tubos de ensaio com gel separador e acelerador de coagulação. As amostras foram centrifugadas por 20 minutos a 2700 x g para obtenção do soro, que foi congelado para posterior avaliação dos teores de uréia.

As amostras de feno, sobras e fezes foram avaliadas quanto aos teores de MS, matéria orgânica (MO), PB, extrato etéreo (EE), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (H₂SO₄ 72% p/p), segundo técnicas descritas por Silva & Queiroz (2002). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram estimados segundo recomendações de Mertens (2002). As correções no tocante aos teores de cinzas e proteína contidos na FDN e na FDA foram conduzidos conforme recomendações de Mertens (2002) e Licitra et al. (1996), respectivamente. Os teores de lignina foram também expressos com correção para o teor de compostos nitrogenados, segundo especificações de Henriques et al. (2007).

Os procedimentos de avaliação dos teores de FDN e FDA foram conduzidos segundo a técnica de micro-extração, proposta por Pell & Schofield (1993).

As amostras de suplemento foram analisadas quanto aos teores de MS, MO e PB (Silva & Queiroz, 2002). A composição química da forragem e do suplemento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Teores médios de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), carboidratos não-fibrosos (CNF), fibra em detergente ácido corrigida para cinzas e proteína (FDACP), lignina, lignina corrigida para proteína (Lignina(p)) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) no feno e no suplemento

Item	Feno	Suplemento
MS ¹	89,96	89,64
MO ²	84,22	88,55
PB ²	4,86	251,20
EE ²	1,53	---
FDN ²	83,04	---
FDNcp ²	76,98	---
CNF ^{2 3}	0,85	---
FDACP ²	53,11	---
Lignina ²	7,96	---
Lignina(p) ²	7,25	---
PIDA ⁴	32,45	---

¹/ % da matéria natural. ²/ % da MS. ³/ CNF = MO – (PB + EE + FDNcp). ⁴/ % da PB.

As estimativas de excreção fecal foram obtidas utilizando-se a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) como indicador interno (Detmann et al., 2001). Amostras de feno, sobras e fezes foram incubadas por 144 horas em duplicata (20 mg MS/cm²) em sacos de tecido não-tecido (TNT - 100 g/m²) no rúmen de duas novilhas mestiças recebendo dieta mista. Após este período o material remanescente da incubação foi submetido à extração com detergente neutro (Mertens, 2002) para quantificação dos teores de FDNi. Os valores de excreção fecal foram obtidos por intermédio da relação entre consumo e concentração fecal de FDNi.

A concentração de NAR no líquido ruminal foi estimada pelo sistema micro-Kjeldahl, sem digestão ácida e utilizando-se como base para destilação o hidróxido de potássio (2 N), após centrifugação prévia da amostra a 1000 x g por 15 minutos. As concentrações obtidas nos diferentes tempos de amostragem foram combinadas por animal, produzindo-se, ao final, valor único, representativo da média diária de

concentração de NAR. Combinação similar foi conduzida sobre os valores de pH ruminal.

As amostras de microrganismos ruminais foram avaliadas quanto aos teores de PB (Silva & Queiroz, 2002) e bases púricas (Ushida et al., 1985).

As amostras de urina, após descongeladas, foram compostas por cada animal e período experimental. As concentrações de creatinina na urina e uréia na urina e soro foram estimadas utilizando-se kits comerciais. A conversão dos valores de uréia em nitrogênio uréico foi realizada pela multiplicação dos valores obtidos pelo fator 0,466. Os teores urinários de alantoína e ácido úrico foram estimados por intermédio de métodos colorimétricos, conforme sumarizações de Chen & Gomes (1992), sendo o teor de nitrogênio total estimado pelo método de Kjeldhal (Silva & Queiroz, 2002).

O volume total urinário foi estimado por intermédio da relação entre concentração de creatinina na urina a sua excreção por unidade de peso vivo, segundo equação descrita por Chizzotti (2004):

$$EC = 32,27 - 0,01093 \times PV \quad (1);$$

em que: EC = excreção diária de creatinina (mg/kg PV); e PV = peso vivo (kg).

A excreção de derivados de purinas foi calculada pela soma das quantidades de alantoína e ácido úrico excretadas na urina, expressas em mmol/dia.

As purinas absorvidas foram calculadas a partir da excreção de derivados de purinas por intermédio da equação (Verbic et al., 1990):

$$PA = \frac{DP - 0,385 \times PV^{0,75}}{0,85} \quad (2);$$

em que: PA = purinas absorvidas (mmol/dia); DP = excreção de derivados de purinas (mmol/dia); 0,85 = recuperação de purinas absorvidas como derivados de purina na urina; e 0,385 = excreção endógena de derivados de purina na urina (mmol) por unidade de tamanho metabólico.

A síntese de compostos nitrogenados microbianos no rúmen foi estimada em função das purinas absorvidas e da relação $N_{RNA}:N_{TOTAL}$ nas bactérias, segundo Chen & Gomes (1992):

$$N_{mic} = \frac{70 \times PA}{0,83 \times R \times 1000} \quad (3);$$

em que: N_{mic} = fluxo de compostos nitrogenados microbianos no intestino delgado (g/dia); R = relação $N_{RNA}:N_{TOTAL}$ nas bactérias; 70 = conteúdo de nitrogênio na purinas (mg/mol); e 0,83 = digestibilidade intestinal das purinas microbianas.

O experimento foi analisado segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5 com cinco tratamentos, cinco animais e cinco períodos experimentais. Para efeito de interpretação dos efeitos de tratamentos empregaram-se os níveis médios de PB nas dietas relativas a cada nível de suplementação.

Posteriormente à análise de variância procedeu-se à decomposição ortogonal da soma de quadrados de tratamentos em efeitos de ordem linear, quadrática, cúbica e quártica, com posterior ajuste de regressões lineares.

Todos os procedimentos estatísticos foram conduzidos por intermédio do programa SAS (*Statistical Analysis System*), adotando-se 0,10 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas do consumo médio diário em kg/dia e em g/kg PV em função dos níveis de PB das dietas, os quais foram calculados a partir da razão entre o consumo total de PB (forragem e suplemento) e o consumo total de MS, verificando-se os níveis médios de 5,19%, 7,11%, 8,60%, 11,67% e 13,02% de PB, com base na MS, para os níveis de suplementação 0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais, respectivamente. Antecipa-se que, em função de comportamento discrepante, uma das unidades experimentais foi descartada.

Verificou-se efeito quadrático ($P < 0,10$) dos níveis de PB na dieta sobre os consumos de MS, MO, FDN e FDNcp, em kg/dia, com pontos críticos e resposta máxima estimadas de: 10,24% PB e 3,13 kg/dia; 10,27% PB e 2,97 kg/dia; 10,12% PB e 2,55kg/dia; e 10,05% PB e 2,38kg/dia, respectivamente. Comportamento similar ($P < 0,10$) foi também foi verificado para os consumos de MS, MO, FDN e FDNcp, quando expressos em g/kg PV, com pontos críticos e respostas máximas estimadas de: 9,95% PB e 17,05 g/kg PV; 9,97% PB e 16,18 g/kg PV; 9,82% PB e 13,97 g/kg PV; e 9,82% de PB e 12,95 g/kg PV, respectivamente.

Por outro lado, o consumo de PB elevou-se linearmente ($P < 0,10$) com os níveis de PB na dieta, ao passo que o consumo de CNF decresceu de forma linear ($P < 0,10$) (Tabela 2). Este comportamento pode ser atribuído ao fato de o teor dietético total de CNF se reduzir à medida que se incrementou a suplementação com compostos nitrogenados.

Tabela 2 - Médias de quadrados mínimos, coeficiente de variação (CV) e indicativos de significância para os efeitos de ordem linear (L), quadrática (Q), cúbica (C) e quártica (QT) para os consumos de matéria seca (MS), de matéria orgânica (MO), de proteína bruta (PB), de fibra em detergente neutro (FDN), de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), de carboidratos não-fibrosos (CNF), de matéria seca digerida (MSD), de matéria orgânica digerida (MOD), de fibra em detergente neutro digerida (FDND), de nutrientes digestíveis totais (NDT) e de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) em função dos níveis de proteína bruta da dieta

Item	Nível de PB (%)					CV(%)	Efeito ¹			
	5,19	7,11	8,60	11,67	13,02		L	Q	C	QT
	kg/dia									
MS ²	2,429	2,667	3,069	3,228	3,072	16,9	*	*	ns	ns
MO ³	2,283	2,525	2,914	3,064	2,931	16,9	*	*	ns	ns
PB ⁴	0,123	0,188	0,262	0,365	0,391	28,1	***	ns	ns	ns
EE	0,042	0,044	0,050	0,051	0,050	15,9	ns	ns	ns	ns
FDN ⁵	2,030	2,206	2,518	2,623	2,511	16,7	ns	*	ns	ns
FDNcp ⁶	1,877	2,057	2,359	2,436	2,327	17,1	ns	*	ns	ns
CNF ⁷	0,239	0,235	0,244	0,211	0,163	27,8	**	ns	ns	ns
MSD ⁸	0,657	0,673	0,902	0,939	0,884	21,3	**	ns	ns	ns
MOD ⁹	0,655	0,716	0,935	0,979	0,935	19,2	***	ns	ns	ns
FDND ¹⁰	0,712	0,782	0,861	0,984	0,977	19,1	***	ns	ns	ns
NDT ¹¹	0,683	0,740	0,956	1,007	0,951	20,4	**	ns	ns	ns
FDNi ¹²	1,089	1,209	1,393	1,463	1,366	17,0	ns	**	ns	ns
	g/kg PV									
MS ¹³	12,8	15,0	16,6	17,0	15,3	14,7	*	**	ns	ns
MO ¹⁴	12,1	14,3	15,8	16,1	14,7	15,2	*	**	ns	ns
FDN ¹⁵	10,7	12,5	13,7	13,8	12,5	14,9	ns	**	ns	ns
FDNcp ¹⁶	10,0	11,7	12,8	12,8	11,8	15,9	ns	**	ns	ns
NDT ¹⁷	3,71	3,90	5,05	5,33	4,76	17,2	***	ns	ns	ns

^{1/} (ns), (*), (**) e (***): não-significativo (P>0,10) e significativo aos níveis de 0,10, 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{2/} $\hat{Y} = -0,06215 + 0,62252X - 0,03039X^2$ ($R^2 = 0,8184$).

^{3/} $\hat{Y} = -0,14176 + 0,60612X - 0,02952X^2$ ($R^2 = 0,8343$). ^{4/} $\hat{Y} = -0,04331 + 0,03353X$ ($r^2 = 0,9735$).

^{5/} $\hat{Y} = 0,09482 + 0,48531X - 0,02397X^2$ ($R^2 = 0,8015$). ^{6/} $\hat{Y} = -0,0323 + 0,4811X - 0,02394X^2$ ($R^2 =$

$0,7198$). ^{7/} $\hat{Y} = 0,3144 - 0,0011X$ ($r^2 = 0,6246$). ^{8/} $\hat{Y} = 0,49278 + 0,03486X$ ($r^2 = 0,6943$). ^{9/} $\hat{Y} =$

$0,48096 + 0,03976X$ ($r^2 = 0,7576$). ^{10/} $\hat{Y} = 0,53016 + 0,03648X$ ($r^2 = 0,9656$). ^{11/} $\hat{Y} = 0,537 +$

$0,0354X$ ($r^2 = 0,6248$). ^{12/} $\hat{Y} = -0,73210 + 0,46525X - 0,02414X^2$ ($R^2 = 0,5071$). ^{13/} $\hat{Y} = -2,21406 +$

$3,87231X - 0,19455X^2$ ($R^2 = 0,9354$). ^{14/} $\hat{Y} = -2,28827 + 3,70421X - 0,18568X^2$ ($R^2 = 0,9473$).

^{15/} $\hat{Y} = -1,37051 + 3,12528X - 0,15915X^2$ ($R^2 = 0,6694$). ^{16/} $\hat{Y} = -1,0817 + 2,8672X - 0,1460X^2$ ($R^2 =$

$0,9533$). ^{17/} $\hat{Y} = 2,87 + 0,1876X$ ($r^2 = 0,6627$).

Os incrementos no consumo voluntário verificados até limites próximos de 10% de PB corroboram a natureza prioritária dos compostos nitrogenados na suplementação de animais alimentados com forragem de baixa qualidade (Leng, 1990; Paulino et al., 2001).

Segundo McCollum & Gaylean (1985) e Köster et al. (2002), a ampliação do consumo reflete incrementos na digestibilidade dos compostos fibrosos com alto poder de repleção ruminal. Segundo estes autores, incrementos no consumo voluntário de forragens de baixa qualidade, como resultado da suplementação com compostos nitrogenados, freqüentemente estão associados a aumentos na taxa de passagem e digestão da forragem (Hannah et al., 1991), o que acelera o processo de remoção dos compostos indigestíveis da fibra e amplia o *turnover* da massa residente no rúmen (Allen, 1996).

Forragens de baixa qualidade apresentam deficiência não só em nutrientes para o desempenho animal, mas também em substratos para o metabolismo microbiano - neste caso, principalmente, compostos nitrogenados - fazendo com que a inclusão de suplementos protéicos à dieta apresente efeito benéfico sobre o ambiente ruminal (Dixon & Stockdale, 1999), incrementando o crescimento microbiano sobre os carboidratos fibrosos (Satter & Slyter, 1974). Costa (2006) verificou incremento médio de 22,4% no crescimento microbiano sobre os carboidratos fibrosos de forragem de baixa qualidade em função da suplementação com compostos nitrogenados.

Incrementos no consumo voluntário em função de compostos nitrogenados suplementares também foram observados por Hannah et al. (1991), Mathis et al. (2001) e Köster et al. (2002) em bovinos alimentados com forragem de baixa qualidade.

Por outro lado, reduções no consumo foram verificados em níveis superiores a 10% de PB (Tabela 2). Esta queda pode, em parte, ser justificada pela possível ocorrência de excesso de proteína para o metabolismo microbiano/animal, o qual implica em maior formação de uréia hepática. A síntese de uma molécula de uréia a nível hepático apresenta balanço negativo de 1 ATP (Brody, 1993). Nesse contexto, a energia necessária para a formação de uréia a partir do excesso de proteína decresce a razão energia líquida/energia metabolizável, sendo direcionada à formação de calor corporal (NRC, 1988). Segundo Poppi & McLennan (1995), a dissipação de calor corporal constitui limitação para a produção de bovinos nos trópicos, fazendo com que os animais, mesmo não demonstrando os sintomas óbvios deste estresse, passem a restringir o consumo como ferramenta para redução do metabolismo, adequando a produção de calor corporal a taxas na qual este possa ser dissipado confortavelmente.

Por outro lado, o ciclo da uréia depende diretamente do ciclo de Krebs para o fornecimento de energia e oxaloacetato, o qual, por sua vez, está envolvido na via metabólica, juntamente com o glutamato, no passo responsável pela introdução do segundo grupamento amina para formação da uréia (Brody, 1993). O excesso de amônia amplia a formação de glutamato inibindo a realização do ciclo de Krebs por intermédio da depleção de α -cetoglutarato, interrompendo, desta forma, o metabolismo energético e a síntese de ATP (Visek, 1984). Como alternativa à eliminação de amônia, o tecido pode promover a formação de glutamina a partir do glutamato, reação que envolve gasto de ATP (Brody, 1993), gerando dreno energético. Neste contexto, o excesso de amônia circulante conduz a um quadro de mau funcionamento do tecido cerebral por déficit energético, causando mal-estar aos animais, incorrendo em redução do consumo voluntário como mecanismo para redução deste sintoma (Detmann et al., 2007).

Por intermédio da união destas afirmações pode-se inferir que reduções no consumo possam ser observadas em animais suplementados com proteína em excesso. Esta suposição é suportada pelos resultados apresentados por DelCurto et al. (1990a) e (1990b) que encontraram redução no consumo de forragem por novilhos suplementados em nível de 0,4 e 0,5% do PV ao elevarem o nível protéico suplementar de 28 a 41% e de 25 a 39%, respectivamente; embora ampliações no consumo de forragem tenham sido observadas pela elevação dos níveis de PB dos suplementos de 12 a 28% e de 13 a 25%.

O coeficiente de digestibilidade dos CNF mostrou-se linear e negativamente associado aos níveis de PB da dieta ($P < 0,10$), com estimativas negativas em todos os níveis avaliados (Tabela 3). Este comportamento advém do baixo consumo de CNF (Tabela 2), situando-se em patamares inferiores à contribuição metabólica fecal, a qual, em bovinos em crescimento, é de cerca de 0,410 kg/dia (Detmann et al., 2006a), o que justifica os valores encontrados neste trabalho.

Os coeficientes de digestibilidade da MS e da FDNcp, não foram afetados pelos níveis de PB na dieta ($P > 0,10$), ao passo que, os coeficientes de digestibilidade da MO e PB associaram-se de forma linear e quadrática ($P < 0,10$) com os níveis de PB na dieta, respectivamente.

Tabela 3 - Médias de quadrados mínimos, coeficiente de variação (CV) e indicativos de significância para os efeitos de ordem linear (L), quadrática (Q), cúbica (C) e quártica (QT) para os coeficientes de digestibilidade da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), carboidratos não-fibrosos (CNF) e fibra em detergente neutro potencialmente degradável (FDNPD) e nível de nutrientes digestíveis totais na dieta (NDT) em função dos níveis de proteína bruta da dieta

Item	Nível de PB (%)					CV(%)	Efeito ¹			
	5,19	7,11	8,60	11,67	13,02		L	Q	C	QT
MS	27,3	25,2	29,1	28,9	27,5	12,3	ns	ns	ns	ns
MO ²	29,2	28,4	31,8	32,1	31,8	10,1	**	ns	ns	ns
PB ³	9,7	26,8	44,6	54,8	60,9	24,9	***	*	ns	ns
EE ⁴	54,3	42,2	36,7	46,5	52,0	35,0	ns	*	ns	ns
FDNcp	36,8	36,7	37,4	37,7	36,2	9,2	ns	ns	ns	ns
CNF ⁵	-88,7	-55,9	-40,1	-139,1	-202,3	106,0	*	ns	ns	ns
FDNPD ⁶	75,0	77,7	78,0	84,8	82,8	11,1	**	ns	ns	ns
NDT ⁷	28,9	27,8	30,8	31,3	31,4	10,5	**	ns	ns	ns

^{1/} (ns), (*), (**) e (***): não-significativo (P>0,10) e significativo aos níveis de 0,10, 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{2/} $\hat{Y} = 25,52 + 0,6076X$ ($r^2 = 0,7867$). ^{3/} $\hat{Y} = -67,77 + 18,1592X - 0,63673X^2$ ($R^2 = 0,9834$). ^{4/} $\hat{Y} = 128,64 - 20,0964X + 1,10855X^2$ ($R^2 = 0,9324$). ^{5/} $\hat{Y} = 46,71 - 16,8682X$ ($r^2 = 0,5771$). ^{6/} $\hat{Y} = 67,29 + 1,4151X$ ($r^2 = 0,9583$). ^{7/} $\hat{Y} = 25,08 + 0,5824X$ ($r^2 = 0,7766$).

O comportamento verificado para o coeficiente de digestibilidade da PB (Tabela 3) parece estar relacionado à ampliação nas perdas de compostos nitrogenados (Tabela 4), uma vez que as fontes suplementares apresentavam alta degradabilidade ruminal e nenhuma fonte energética prontamente degradável foi incorporada à dieta.

Por outro lado, a ausência de efeitos da PB suplementar sobre a digestibilidade da MS e FDN aparentemente contraria as pressuposições apresentadas anteriormente, em que a inclusão de compostos nitrogenados amplia a digestibilidade das forragens de baixa qualidade em função de estímulos sobre a atividade microbiana ruminal. Contudo, os efeitos benéficos da suplementação sobre a digestibilidade podem ser verificados sobre os consumos de MS e FDN digeridas, os quais foram incrementados linearmente (P<0,10) com os níveis de PB na dieta (Tabela 2).

A mensuração da massa ingerida efetivamente digerida permite integrar os efeitos da suplementação sobre o consumo e digestibilidade, justificando de forma concreta os argumentos apresentados anteriormente. Os benefícios da suplementação

também podem ser verificados sobre o coeficiente de digestibilidade da fração potencialmente degradável da FDN, o qual foi incrementado em função dos níveis de PB da dieta ($P<0,10$) (Tabela 3). A aplicação deste coeficiente permite identificar de forma mais apurada o estímulo de degradação microbiana sobre os carboidratos fibrosos, uma vez que não se considera a fração indegradável, a qual, independentemente da situação alimentar, não pode ser utilizada pelos microrganismos do rúmen (Paulino et al., 2006).

Segundo Allen (1996), os processos de degradação e trânsito devem ser avaliados de forma integrada, no sentido de que, à medida que se amplia a velocidade de utilização dos compostos potencialmente degradáveis pelos microrganismos, reduz-se o tempo necessário para que a partícula alcance a faixa de densidade específica capaz de habilitá-la à remoção ao trato posterior.

Os efeitos positivos da suplementação sobre o trânsito de partículas fibrosas no ambiente ruminal podem ser indiretamente verificados por intermédio do consumo de FDNi, o qual se comportou de forma quadrática ($P<0,10$), como máximo valor sobre o nível de 9,64% de PB (Tabela 2).

Portanto, nesse contexto, a suplementação com compostos nitrogenados, embora eleve a taxa de degradação, reduz, simultaneamente, o tempo disponível para ação microbiana sobre o substrato, causando um contra-balanceamento, indicando a aparente ausência de efeitos sobre os coeficientes de digestibilidade da MS e FDN.

Os valores de pH ruminal não foram influenciados pelos tratamentos ($P>0,10$), mantendo-se acima de 6,0-6,1 em todos os momentos de coleta (Figura 1), limite mínimo considerado por Hoover (1986) como não-inibitório à atividade adequada dos microrganismos celulolíticos, não havendo, portanto, efeitos prejudiciais à fermentação ruminal.

Por outro lado, a concentração média diária de NAR (Tabela 4; Figura 2) apresentou comportamento linear crescente ($P<0,10$) em função dos níveis de PB da dieta.

Segundo Leng (1990), o fornecimento de níveis adequados de NAR no fluido ruminal para que a maior parte das exigências para o crescimento microbiano sejam supridas deve constituir a primeira prioridade sob o aspecto de otimização do processo fermentativo.

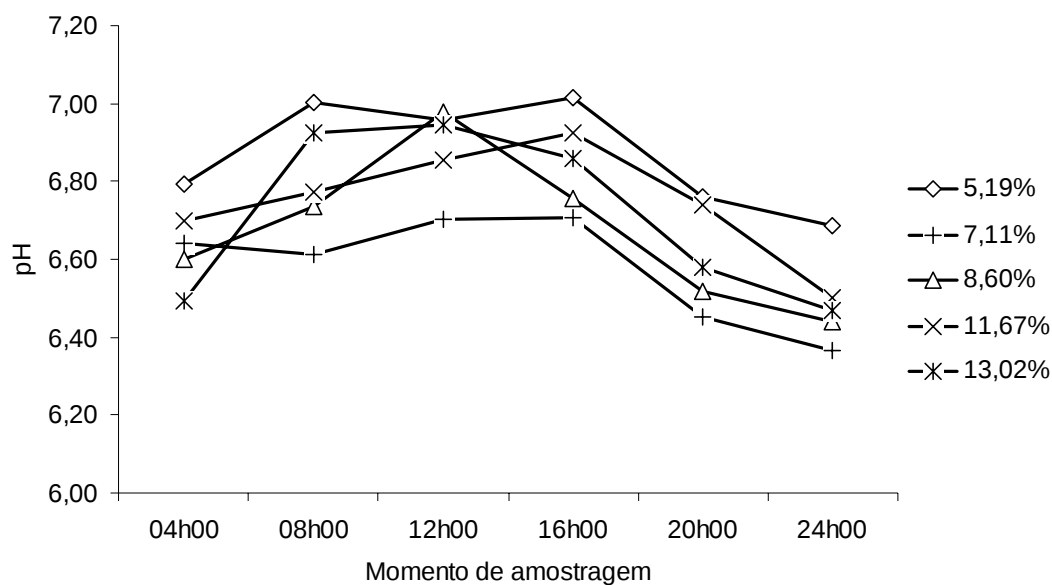


Figura 1 - Valores médios do pH ruminal em função do momento de amostragem e do nível de proteína bruta da dieta.

Diversos referenciais de concentração de NAR são verificados na literatura (Satter & Slyter, 1974; NRC, 1988; e Leng, 1990). Contudo, variações nas exigências microbianas em função do substrato basal, do pH ruminal e da espécie microbiana constituem empecilhos à aplicação universal de tais referências (McAllan & Smith, 1983; Hoover, 1986; e Leng, 1990).

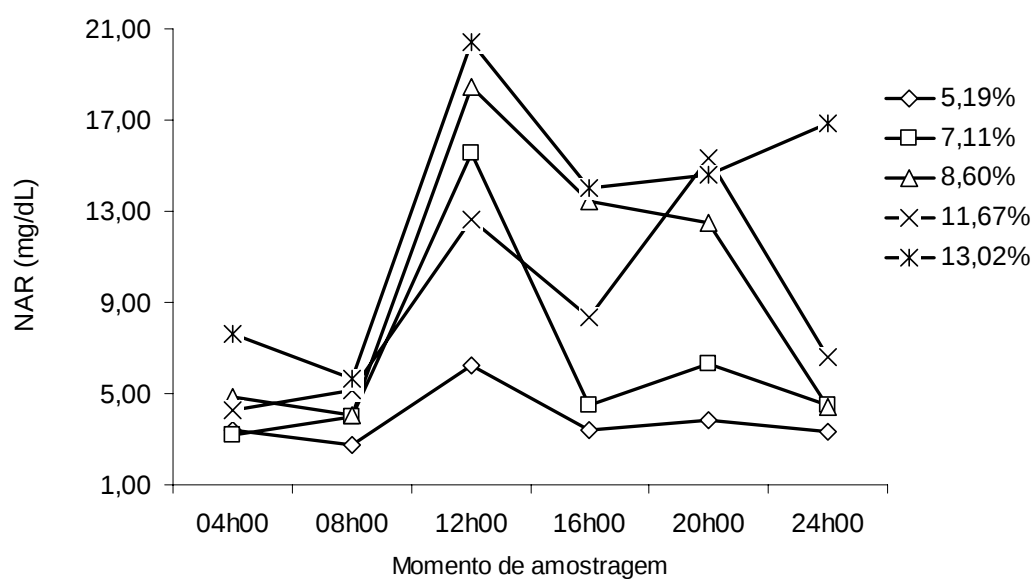


Figura 2 - Valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR) em função do momento de coleta e do nível de proteína bruta da dieta.

No contexto das condições experimentais deste estudo, a avaliação conjunta do comportamento do consumo voluntário de MS e da concentração de NAR, descrito por suas respectivas equações de regressão (Tabelas 2 e 4), permite evidenciar que a maximização do consumo voluntário se deu com a concentração de NAR de 9,64 mg/dL (Figura 3).

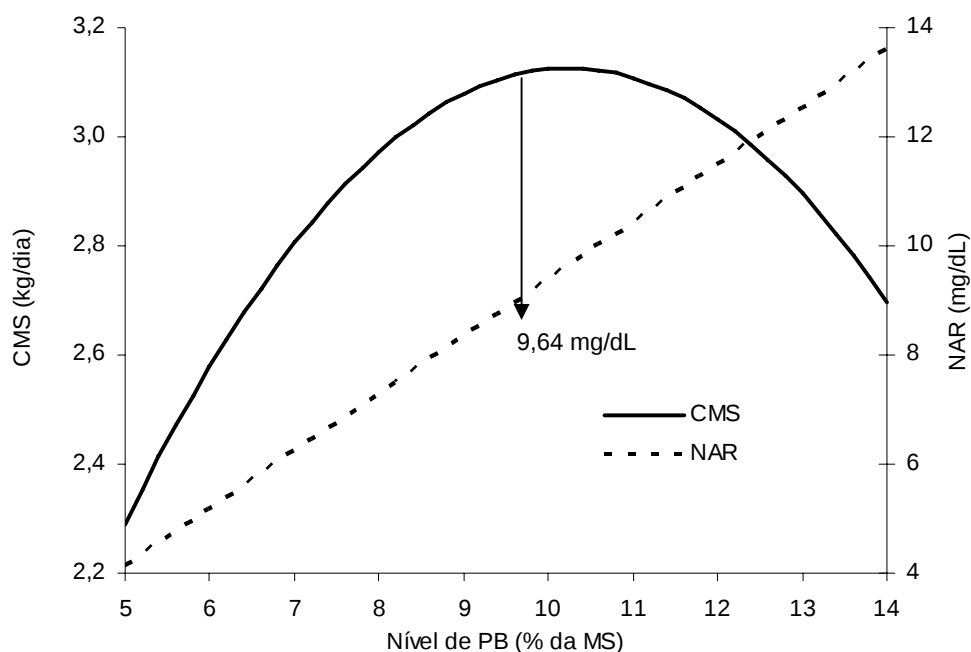


Figura 3 - Relação entre consumo voluntário de matéria seca (CMS) e concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR) em função do nível de proteína bruta da dieta.

Embora tal valor situe-se em patamar inferior ao descrito por Leng (1990) para otimização do consumo voluntário (20 mg/dL), níveis mais elevados de NAR foram associados a reduções no consumo (Figura 3). Logo, o incremento em relação ao ponto de otimização obtido neste trabalho pode não conduzir a benefícios produtivos, uma vez que o excesso de NAR poderia não ser utilizado em função da ausência de fontes de carboidratos de degradação rápida no ambiente ruminal, ocasionando perdas de nitrogênio excessivas no sistema. Assim, infere-se que o nível de 9,64 mg/dL poderia ser considerado adequado para a utilização de substratos basais de baixa qualidade.

O fluxo de compostos nitrogenados microbianos no intestino delgado (NMIC) relacionou-se linear e positivamente ($P < 0,10$) com os níveis de PB da dieta, refletindo diretamente o aumento no consumo de compostos nitrogenados (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias de quadrados mínimos, coeficiente de variação (CV) e indicativos de significância para os efeitos de ordem linear (L), quadrática (Q), cúbica (C) e quártica (QT) para o pH ruminal, nitrogênio amoniacal ruminal (NAR – mg/dL), consumo de nitrogênio (CN - g/dia), excreção fecal de nitrogênio (EFN - g/dia), excreção urinária de nitrogênio (EUN - g/dia), balanço nitrogenado aparente (BN – g/dia), excreção urinária de nitrogênio uréico (EUNU – g/dia), concentração de nitrogênio uréico no soro (NUS – mg/dL), relação NUS/CN, relação NUS/kg de matéria orgânica digerida (NUS/MOD), fluxo intestinal de nitrogênio microbiano (NMIC – g/dia), eficiência de síntese microbiana (EFIM), concentração de nitrogênio (NBAC) e relação nitrogênio purina: nitrogênio total nas bactérias (N_{RNA}:NT) em função dos níveis de proteína bruta da dieta

Item	Nível de PB (%)					CV(%)	Efeito ¹			
	5,19	7,11	8,60	11,67	13,02		L	Q	C	QT
pH	6,67	6,58	6,67	6,75	6,79	2,1	ns	ns	ns	ns
NAR ⁷	3,82	6,32	9,62	8,72	14,24	38,1	***	ns	ns	ns
CN ²	19,77	30,14	41,87	58,47	62,53	28,0	***	ns	ns	ns
EFN ³	17,97	21,64	23,02	25,35	22,56	19,6	ns	*	ns	ns
EUN ⁴	22,21	26,19	38,72	47,79	68,82	8,4	***	***	**	***
BN	-20,41	-17,69	-19,88	-14,66	-28,85	57,2	ns	ns	ns	ns
EUNU ⁵	12,66	19,19	27,75	36,22	58,89	25,1	***	ns	*	ns
NUS ⁶	10,97	12,17	16,18	20,91	23,52	16,0	***	ns	ns	ns
NUS/CN ⁸	0,676	0,417	0,448	0,403	0,494	33,7	ns	**	ns	ns
NUS/MOD ⁹	23,99	19,74	21,72	24,14	30,91	27,1	ns	**	ns	ns
NMIC ¹⁰	21,11	29,40	34,15	34,97	40,23	23,5	***	ns	ns	ns
EFIM										
11	218,8	258,2	245,0	230,6	288,4	33,8	ns	ns	ns	ns
12	114,4	145,6	149,8	146,9	175,9	28,8	ns	ns	ns	ns
NBAC ¹³	5,10	5,54	6,35	6,24	6,10	10,0	**	**	ns	ns
N _{RNA} :NT	0,165	0,134	0,150	0,133	0,132	18,5	ns	ns	ns	ns

^{1/} (ns), (*), (**) e (***): não-significativo (P>0,10) e significativo aos níveis de 0,10, 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ^{2/} $\hat{Y} = -6,92 + 5,3658X$ ($r^2 = 0,9735$). ^{3/} $\hat{Y} = 12,74 + 7,4867X - 0,37375X^2$ ($R^2 = 0,7326$). ^{4/} $\hat{Y} = 744,08 - 363,4127X + 65,40495X^2 - 4,99487X^3 + 0,13887X^4$ ($R^2 = 1,0000$). ^{5/} $\hat{Y} = -138,13 + 55,8431X - 6,54418X^2 + 0,26159X^3$ ($R^2 = 0,9781$). ^{6/} $\hat{Y} = 2,02 + 1,6001X$ ($r^2 = 0,9788$). ^{7/} $\hat{Y} = -1,12 + 1,0511X$ ($r^2 = 0,7921$). ^{8/} $\hat{Y} = 2,109 - 0,3499X + 0,01742X^2$ ($R^2 = 0,8635$). ^{9/} $\hat{Y} = 59,47 - 9,1440X + 0,53051X^2$ ($R^2 = 0,9069$). ^{10/} $\hat{Y} = 15,00 + 1,7928X$ ($r^2 = 0,8057$). ^{11/} g PB microbiana/kg NDT. ^{12/} g PB microbiana/kg NDT com base no conceito de digestibilidade verdadeira. ^{13/} $\hat{Y} = 1,34 + 0,9385X - 0,04415X^2$ ($R^2 = 0,9043$).

Ressalta-se que o consumo de nitrogênio (CN) para o menor nível de PB na dieta (5,19%) foi inferior ao NMIC (Tabela 4), indicando que grande parte das demandas microbianas por compostos nitrogenados pode ser atribuída à reciclagem de uréia ruminal, embora de forma ineficiente (Van Soest, 1994).

A comparação entre CN e NMIC por intermédio de suas respectivas equações de regressão (Tabela 4) indica que suas estimativas se tornaram equivalentes sobre o nível de 6,13% de PB na dieta, correspondendo a 5,32 mg NAR/dL (Figura 4).

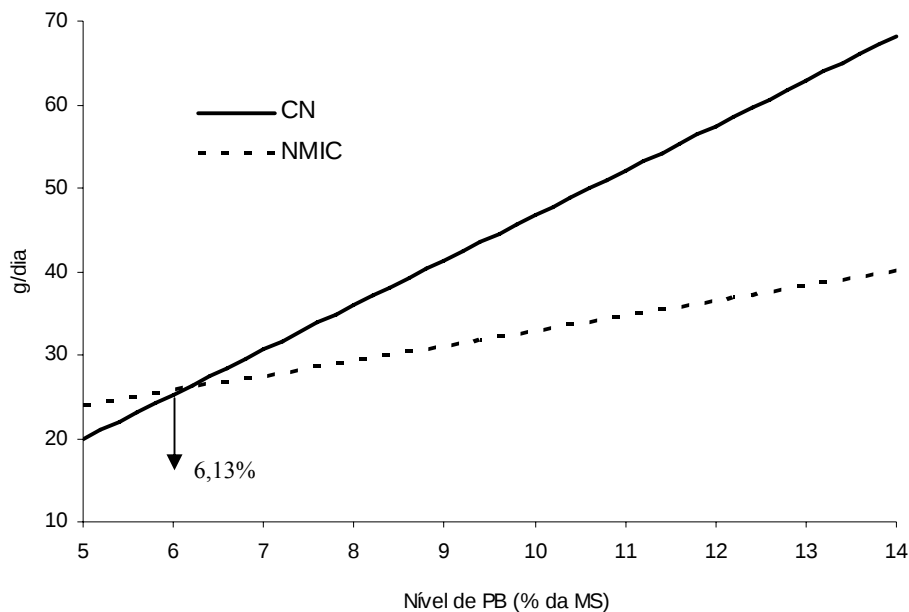


Figura 4 - Relação entre consumo de nitrogênio (CN) e fluxo intestinal de nitrogênio microbiano (NMIC) em função do nível de proteína bruta da dieta.

Segundo Van Soest (1994), níveis protéicos de 6 a 8% são necessários para que haja o fornecimento mínimo de compostos nitrogenados para o suprimento das exigências microbianas, considerando-se que a contribuição da reciclagem nitrogenada seja efetiva. Segundo este autor, em níveis inferiores a estes, a reciclagem não permite satisfazer de forma efetiva as demandas dos microrganismos, comprometendo o consumo e a digestibilidade.

Logo, infere-se que níveis de 6,13% de PB (ou 5,32 mg NAR/dL) sejam necessários para que o crescimento microbiano ocorra em patamares mínimos para a manutenção dos processos de síntese microbiana e degradação ruminal.

Verificou-se efeito de quarto grau ($P < 0,10$) sobre a excreção urinária de nitrogênio (EUN). Embora funções de quarta ordem sejam pouco convencionais na interpretação de dados biológicos, verifica-se que, dentro do domínio da função observaram-se incrementos em EUN em todos os intervalos entre níveis, garantindo associação positiva entre a perda urinária de nitrogênio e os níveis de PB da dieta. O incremento nas perdas urinárias corrobora os argumentos anteriormente apresentados no tocante ao comportamento de consumo e digestibilidade.

A excreção urinária de nitrogênio uréico, afetada de forma cúbica ($P<0,10$) pelos níveis de PB da dieta, exibiu comportamento similar à excreção urinária de nitrogênio (Tabela 4).

A excreção fecal de nitrogênio (EFN) comportou-se de forma quadrática ($P<0,10$), com máxima resposta localizada sobre o nível de 10,02% de PB. A queda observada em níveis de PB superiores a este indica resposta fisiológica do animal ao aumento nas excreções de nitrogênio urinário (Ørskov, 1988).

A concentração de nitrogênio uréico no soro (NUS) aumentou linearmente ($P<0,10$) com a elevação dos níveis de PB na dieta, indicando, conseqüentemente, aumento nas perdas nitrogenadas.

As estimativas de NUS têm sido empregadas para se diagnosticar a adequação da utilização de compostos nitrogenados no rúmen em função da disponibilidade de matéria orgânica degradável. Valores entre 5 e 8 mg/dL são consideradas indicativos de boa sincronização entre proteína e energia no ambiente ruminal (Vasconcelos et al., 2004). Valores acima destes, como os relatados neste estudo (Tabela 4), indicam excesso de compostos nitrogenados dietéticos em relação à disponibilidade de energia no rúmen.

Contudo, releva-se que as condições alimentares propiciadas neste estudo não representam efetivamente condições de produção, mas sim avaliação teórica da capacidade de aproveitamento de substrato de baixa qualidade em função da suplementação com compostos nitrogenados. Logo, valores absolutos de NUS podem não corresponder a indicativos do aproveitamento energético da forragem de baixa qualidade em função da limitada disponibilidade dos carboidratos fibrosos da parede celular (Tabela 3).

Neste contexto, relações funcionais entre NUS e variáveis indicadoras da disponibilidade de compostos nitrogenados e energia no rúmen podem prover informação relevante à interpretação da condição teórica estabelecida no experimento. A relação entre a concentração de NUS e o nitrogênio ingerido permite expressar indiretamente a perda relativa dos compostos nitrogenados no ambiente ruminal. Logo, menores relações indicam maior proporção do nitrogênio ingerido fixado na forma de proteína microbiana.

Verificou-se comportamento quadrático ($P<0,10$) para esta relação (NUS/CN), com ponto crítico localizado sobre o nível de 10,04% de PB, apresentando resposta mínima estimada de 0,352. Isto indica que ocorreram

incrementos na eficiência de fixação de proteína no rúmen, conseqüentemente, menores perdas relativas de nitrogênio, quando o nível protéico da dieta foi incrementado até o nível supracitado. Comportamento similar foi verificado por intermédio da relação NUS/matéria orgânica digerida (MOD) (Tabela 4).

Reflexo da maior eficiência em níveis próximos a 10% PB pode ser verificado sobre o balanço nitrogenado (Tabela 4). Embora não tenham sido verificados efeitos significativos dos níveis de PB sobre esta variável ($P>0,10$), verificou-se que os maiores valores são observados para os níveis intermediários de PB (7,11 a 11,67%). Por outro lado, o incremento das relações NUS/CN e NUS/MOD para os níveis mais elevados de PB indica que o processo de perda de compostos nitrogenados tornou-se mais acentuado acima de 10% PB, o que indica o estabelecimento dos limites efetivos de extração de energia a partir dos carboidratos fibrosos.

A relação $N_{RNA}:N_{TOTAL}$ nos microrganismos ruminais não foi afetada pelos níveis de PB da dieta ($P>0,10$), apresentando valor médio de 0,142 (Tabela 4). Por outro lado, o teor de PB nos microrganismos foi afetado de forma quadrática pelos níveis de PB na dieta ($P<0,10$). As menores concentrações protéicas foram observadas nos menores níveis dietéticos de PB (Tabela 4). Este comportamento possivelmente reflete efeito de diluição dos compostos nitrogenados microbianos em função do acúmulo de carboidratos intracelulares normalmente observado em meios deficientes em nitrogênio (Nocek & Russell, 1988).

Observou-se falta de relação ($P>0,10$) entre os níveis de PB e a eficiência de síntese de proteína microbiana (EFIM). O valor médio observado (248,2 g PB microbiana/kg NDT) situa-se em patamares aparentemente irreais frente aos referenciais verificados na literatura (NRC, 2001 – 130 g PB/kg NDT; Valadares Filho et al., 2006 - 120 g PB/kg NDT).

Contudo, ressalta-se que o consumo dos componentes não-fibrosos do NDT podem ser considerados baixos em relação a situações normais de alimentação (Tabelas 2), o que acarreta em alta representatividade da contribuição metabólica fecal, incorrendo baixos coeficientes de digestibilidade aparente (Tabela 3). Desta forma, os valores de EFIM foram estimados também com base no conceito de digestibilidade verdadeira, tomando-se como base as contribuições metabólicas fecais relatadas por Detmann et al. (2006a; 2006b; e 2006c) para bovinos em crescimento.

O valor médio encontrado (146,5 g PB microbiana/kg NDTv) situou-se em patamar pouco superior aos referenciais descritos anteriormente. Segundo o NRC (2001), situações onde o balanço nitrogenado ruminal é negativo (o que pode ser indiretamente percebido pela estimativa do balanço nitrogenado; Tabela 4), ocorre ganho líquido de compostos nitrogenados no ambiente ruminal a partir da reciclagem, implicando em elevação da eficiência de síntese de proteína microbiana, justificando a estimativa obtida neste estudo.

De forma geral, a integração entre as variáveis analisadas neste estudo permite inferir que benefícios sobre a utilização da forragem basal de baixa qualidade são obtidos com suplementos que permitam elevar o teor de PB da dieta a níveis próximos a 10%. Desta forma, ao momento da definição dos suplementos a serem fornecidos a animais mantidos em condições similares, a massa de PB suplementar deve ser analisada sob a ótica de dois diferentes *pools*.

O primeiro deve ser planejado para que se otimize a utilização dos substratos energéticos da forragem, o qual deve prover PB necessária para elevação do teor protéico da forragem basal a níveis próximos a 10%. Desta forma, propicia-se a obtenção de maior quantidade de energia de baixo custo ao metabolismo animal. O segundo *pool* protéico deverá, portanto, ser focado sobre a utilização das eventuais fontes de carboidratos presentes nos suplementos e, quando necessário, sobre o déficit protéico para que os níveis de ganho de peso planejados sejam efetivamente obtidos.

Conclusões

A suplementação com compostos nitrogenados em quantidades que permitam elevar o teor de proteína bruta da dieta em níveis próximos de 10% proporciona otimização da utilização de forragem tropical de baixa qualidade.

Concentrações de nitrogênio amoniacal ruminal de 5,32 e 9,64 mg/dL estão associadas ao fornecimento de substratos nitrogenados necessários para a manutenção da atividade microbiana e para a maximização do consumo voluntário de forragem, respectivamente.

Literatura Citada

ALLEN, M.S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3063-3075, 1996.

- BRODY, T. **Nutritional biochemistry**. San Diego: Academy Press, 1993. 658p.
- CECAVA, J.M; MERCHEN, N.R.; GAY, L.C. et al. Composition of ruminal bacteria harvested from steers as influenced by dietary energy level, feeding frequency, and isolation techniques. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.2480-2488, 1990.
- CHEN, X.B.; GOMES, M.J. **Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle basid on urinary excretion of purine derivatives-an overview of the technical details**. Buchsburnd Aberdeen: Rowett Research Institute. 1992. 21p.
- CHIZZOTTI, M.L. **Avaliação da casca de algodão para novilhos de origem leiteira e determinação da excreção de creatinina e produção de proteína microbiana em novilhas e vacas leiteiras**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 141p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- COSTA, V.A.C. **Dinâmica de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragens tropicais em função de suplementação protéica e/ou energética**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 52p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- DelCURTO, T.; COCHRAN, R.C.; HARMON, D.L. et al. Supplementation of dormant Tallgrass-Prarie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. **Journal of Animal Science**, v.68, p.515-531, 1990a.
- DelCURTO, T.; COCHRAN, R.C.; CORAH, L.R. et al. Supplementation of dormant Tallgrass-Prarie forage: II. Performance and forage utilization characteristics in grazing beef cattle receiving supplements of different protein concentrations. **Journal of Animal Science**, v.68, p.532-542, 1990b.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1600-1609, 2001.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiço em pastejo durante época seca: desempenho produtivo e característica de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.169-180, 2004.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos utilizando-se o conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.35, p.1479-1486, 2006a.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.35, p.1469-1478, 2006b.
- DETMANN, E.; PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2101-2109, 2006c.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Fatores controladores de consumo em suplementos múltiplos fornecidos *ad libitum* para

- bovinos manejados a pasto. **Caderno Técnico de Veterinária e Zootecnia**. 2007 (no prelo)
- DIXON, R.M.; STOCKDALE, C.R. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilization. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.50, p.757-73, 1999.
- HANNAH, S.M.; COCHRAN, R.C.; VANZANT, E.S. et al. Influence of protein supplementation on site and extent of digestion, forage intake, and nutrient flow characteristics in steers consuming dormant Bluestem-Range forage. **Journal of Animal Science**, v.69, p.2624-2633, 1991.
- HENRIQUES, L.T.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C. et al. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, 258-263, 2007.
- HOOVER, W.H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.2755-2766, 1986.
- KÖSTER, H.H.; COCHRAN, R.C.; TITGEMEYER, E.S. et al. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality Tallgrass-Prarie forage by beef cows. **Journal of Animal Science**, v.74, p.2473-2481, 1996.
- KÖSTER, H.H.; WOODS, B.C.; COCHRAN, R.C. et al. Effects of increasing proportion of supplemental N from urea in prepartum supplements on range beef cow performance and forage intake and digestibility by steers fed low-quality forage. **Journal of Animal Science**, v.80, p.1652-1662, 2002.
- LENG, R.A. Factors affecting the utilization of “poor-quality” forages by ruminants particularly under tropical conditions. **Nutritional Research and Review**, v.3, p.277-303, 1990.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, n.57, p.347-358, 1996.
- MATHIS, C.P.; COCHRAN, R.C.; HELDT, J.S. et al. Effects of supplemental degradable intake protein on utilization of medium- to low-quality forages. **Journal of Animal Science**, v.78, p.224-232, 2001.
- McALLAN, A.B.; SMITH, R.H. Factors influencing the digestion of dietary carbohydrates between the mouth and abomasum of steers. **British Journal of Nutrition**, v.50, p.445-454, 1983.
- McCOLLUM, F.T.; GALYEAN, M.L. Influence of cottonseed meal supplementation on voluntary intake, rumen fermentation and rate of passage of prairie hay in beef steers. **Journal of Animal Science**, v.60, p.570-577, 1985.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL-NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 6^a ed. Washington, DC: Academic Press, 1988. 158p.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL-NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7^a ed. Washington, DC: National Academic Press. 2001. 381p.
- NOCEK, J.E.; RUSSELL, J.B. Protein and energy as an integrated system. Relation of ruminal protein and carbohydrates availability to microbial synthesis and milk production. **Journal of Dairy Science**, n.71, p.2070-2107, 1988.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T. Suplementos múltiplos para recria e engorda de bovinos em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMCORTE, 2001. p.187-233.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. Suplementação animal em pasto: energética ou protéica? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3, 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMFOR, 2006. p.359-392.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.
- POPPI, D.P.; McLENNAN, S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. **Journal of Animal Science**, v.73, p.278-290, 1995.
- ØRSKOV, E.R. **Nutrición proteica de los rumiantes**. Zaragoza: Acribia, 1988. 178p.
- ØRSKOV, E.R. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E. et al. (Eds.) **Forage evaluation in ruminant nutrition**. London: CAB International, 2000. p.175-188.
- SATTER, L.D.; SLYTER, L.L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. **British Journal of Nutrition**, v.32, p.199-208, 1974.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3^a ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- USHIDA, K.; LASSALAS, B.; JOUANY, J.P. Determination of assay parameters for RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry. Influence of treatment and preservation. **Reproduction Nutrition Development**, v.25, p.1037-1046. 1985.
- VALADARES, R.F.D.; BRODERICK, G.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.2686-2696, 1999.
- VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S.; CHIZZOTTI, M.L. et al. Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. In: VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R.; MAGALHÃES, K.A. (Eds.) **Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos**. Viçosa: DZO-UFV, 2006. p.13-44.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2^a ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.

- VASCONCELOS, J.T.; GREENE, L.W.; COLE, N.A. et al. Effects of phase feeding of protein on performance, blood urea nitrogen, and carcass characteristics of finishing beef cattle: ii.group fed steers. **Beef Cattle Research in Texas**, p.135-139, 2004.
- VERBIC, J.; CHEN, X.B.; MacCLEOD, N.A. et al. Excretion of purine derivatives by ruminants. Effect of microbial nucleic acid infusion on purine derivative excretion by steers. **Journal of Agricultural Science**, v.114, p.243-248, 1990.
- VISEK, W.L. Ammonia: its effects on biological systems, metabolic hormones, and reproduction. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.481-498, 1984.

CAPÍTULO 2

Dinâmica Ruminal da Fibra em Detergente Neutro em Bovinos Alimentados com Forragem Tropical de Baixa Qualidade Suplementados com Compostos Nitrogenados

Resumo - Objetivou-se avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sobre a dinâmica ruminal da fibra em detergente neutro (FDN) em bovinos alimentados com forragem de baixa qualidade. Foram utilizadas cinco novilhas mestiças Holandês x Zebu, com peso vivo médio inicial de 180 ± 21 kg, fistuladas no rúmen. A alimentação volumosa basal dos animais foi constituída por feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) (4,86% de PB, com base na MS), fornecido *ad libitum*. Os cinco tratamentos avaliados foram definidos de acordo com o nível de suplementação protéica (0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais acima do nível de PB da forragem). Como fonte de compostos nitrogenados empregou-se mistura de uréia, sulfato de amônia e albumina, nas proporções de 4,5:0,5:1,0, respectivamente. O experimento foi constituído de 5 períodos experimentais, segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5. Os níveis médios de PB nas dietas foram de 5,19, 7,11, 8,60, 11,67 e 13,02%, com base na MS. Verificou-se elevação linear ($P < 0,10$) da fração potencialmente degradável da FDN até o nível de 6,97% de PB, com platô estimado de 47,87% da FDN. A taxa de degradação da fração potencialmente degradável da FDN elevou-se linearmente ($P < 0,10$) com os níveis de PB da dieta. O fluxo ruminal de partículas fibrosas (L) apresentou relação *linear response-plateau* ($P < 0,10$), com estabelecimento do platô (máximo) em 7,24% de PB. O tempo médio de retenção no rúmen-retículo e a repleção ruminal da fração indegradável da FDN apresentaram comportamento semelhante a L ($P < 0,10$), com ponto crítico para o início do platô (mínimo) em 6,90 e 6,97% de PB, respectivamente.

Palavras-chave: capim-braquiária, degradação ruminal, suplementação, repleção ruminal, uréia

Rumen Dynamics of Neutral Detergent Fiber in Cattle Fed Low-Quality Tropical Forage and Supplemented with Nitrogenous Compounds

Abstract – The aim of this work was to evaluate the effects of supplementation with nitrogenous compounds on rumen dynamics parameter of neutral detergent fiber (NDF) in cattle fed low-quality forage. Five crossbred heifers, with average live weight of 191 kg and fitted with rumen cannulae, were used. The animals were fed *ad libitum* with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) hay, which had crude protein (CP) content of 4.86% of dry matter (DM). The five treatments were defined according to the level of CP in the diet (0, 2, 4, 6, and 8 percentile points above the CP level of the roughage). The supplement was a mixture of urea, ammonium sulfate, and albumin (4.5:0.5:1.0, respectively). The experiment was carried out according to a 5 x 5 Latin square design, with five experimental periods. The average CP levels in the diets were: 5.19, 7.11, 8.60, 11.67, and 13.02% in DM basis. The potentially degradable NDF was linearly increased ($P < 0.10$) according to CP levels in diet until 6.97% CP. From this point, there was stabilization of estimates (47.87% of NDF). The degradation rate of potentially degradable NDF has been increased linearly with CP levels in diet ($P < 0.10$). The rumen flow of fibrous particles (L) showed a *linear response-plateau* according to CP levels in the diet ($P < 0.10$). The plateau (maximum) for the estimates has begun on 7.24% of CP. The mean retention time in rumen-reticulum and the rumen fill effect of undegradable NDF was affected by CP levels similarly to (L) ($P < 0.10$), with plateau (minimum) beginning on 6.90 and 6.97% of CP, respectively.

Keywords: rumen degradation, rumen fill, signal grass, supplementation, urea

Introdução

As gramíneas tropicais apresentam grande potencial de produção; mas, com o amadurecimento, o acúmulo de matéria seca ao longo do crescimento é acompanhado pelo espessamento e aumento da lignificação da parede celular, limitando a fermentação microbiana ou hidrólise enzimática dos polissacarídeos pela falta de acesso físico a estes, o que compromete a sua qualidade como alimento para ruminantes (Paulino et al., 2002).

Portanto, os pastos tropicais na época seca raramente constituem dieta balanceada, no senso de que seus constituintes orgânicos e inorgânicos estejam presentes em concentrações e proporções que melhor satisfaçam as necessidades dos animais (Paulino et al., 2001). Assim, a forragem, com a chegada da estação seca, decresce rapidamente em digestibilidade, aumentando o tempo de retenção da digesta no rúmen, implicando redução no consumo voluntário e levando à perda excessiva de peso, sendo este o principal fator limitante para a produção animal (Leng, 1984).

Segundo Minson (1990), forragens tropicais normalmente apresentam níveis inferiores de 7% de proteína bruta (PB), valor considerado como limitante para atividade adequada dos microrganismos do rúmen, implicando condições sub-ótimas do ambiente ruminal (Ørskov, 2000), comprometendo-se os limites para a manutenção do crescimento microbiano e a utilização dos compostos fibrosos da forragem em condições tropicais. Segundo Hoover (1986), em forragens de baixa qualidade, limitações na taxa e extensão de degradação podem ser atribuídas à deficiência no suprimento de nutrientes essenciais como: nitrogênio, enxofre ou, em alguns casos, ácidos graxos de cadeia ramificada.

A ampliação da eficiência de utilização dos nutrientes via suplementação surge a partir da otimização de utilização dos recursos nutricionais basais oriundos das forragens tropicais, que constituem os principais recursos nutricionais em sistemas de produção de bovinos em pastejo e provêm, principalmente, compostos energéticos de baixo custo (Paulino et al., 2006).

A maximização no uso desses recursos energéticos pode ser alcançada pelo incremento na utilização da porção potencialmente degradável da fibra em detergente neutro (FDN) que, em condições tropicais, constitui cerca de 60% da matéria seca (MS) total das forragens (Paulino et al., 2006).

A integração entre os recursos nutricionais basais e o suplemento a ser utilizado deve buscar ao máximo a aproximação entre a fração efetivamente degradada e a fração potencialmente degradável da FDN através dos processos de degradação e passagem em conjunto, e através do incremento da taxa de passagem da porção indegradável; que independentemente da situação alimentar, não poderá ser utilizada pelos microrganismos (Paulino et al., 2006).

Sendo a proteína limitante para utilização de forragem de baixa qualidade, a suplementação visando ofertar este nutriente mostra-se eficiente, pois nutre a

população microbiana oferecendo condições para que estes microrganismos utilizem eficientemente os carboidratos fibrosos presentes na forragem basal.

Em vários estudos verificaram-se relações positivas entre o nitrogênio suplementar e o consumo voluntário e a digestibilidade de forragens de baixa qualidade (Delcurto et al., 1990; Hannah et al., 1991; e Köster et al., 1996), contudo, são escassas as informações sobre o estudo da dinâmica ruminal dos carboidratos fibrosos em forragens tropicais de baixa qualidade. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos dos compostos nitrogenados suplementares sobre a dinâmica ruminal da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade.

Material e Métodos

O experimento foi realizado nas dependências do Laboratório de Animais e do Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, entre os meses de dezembro de 2005 e fevereiro de 2006.

Foram utilizadas cinco novilhas mestiças Holandês x Zebu, com peso vivo (PV) médio inicial de 180 ± 21 kg, fistuladas no rúmen, mantidas em baias individuais cobertas, com piso de concreto, dispostas com comedouro e com acesso irrestrito a água e mistura mineral

A alimentação volumosa basal foi constituída por feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) de baixa qualidade, com nível de PB médio de 4,86 %, com base na MS, o qual foi fornecido *ad libitum*.

Os cinco tratamentos avaliados foram definidos de forma a elevar-se o nível de PB da forragem em 0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais, com base na MS. Como fonte de compostos nitrogenados empregou-se mistura de uréia, sulfato de amônia e albumina, nas proporções de 4,5:0,5:1,0, respectivamente. Os suplementos foram calculados com base no consumo de matéria seca computado no dia anterior e introduzidos no rúmen dos animais.

A escolha dos componentes do suplemento utilizado se deu com base na ausência de carboidratos, permitindo avaliar os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sem que alguma fonte suplementar de fibra ou energia fosse adicionada à dieta. A introdução de albumina no suplemento buscou suprir as necessidades microbianas em termos de proteína degradável no rúmen de natureza

orgânica, permitindo-se o fornecimento de substratos essenciais, como ácidos graxos voláteis de cadeia ramificada.

A alimentação volumosa foi fornecida diariamente *ad libitum*, permitindo-se aproximadamente 10% de sobras, sendo fracionada em duas porções de mesmo peso, as quais foram fornecidas diariamente às 8h00 e 16h00. No momento do fornecimento do volumoso, os suplementos foram introduzidos diretamente no rúmen dos animais em duas porções de mesmo peso. O volumoso ofertado e as respectivas sobras foram quantificados diariamente.

O experimento foi constituído de cinco períodos experimentais, com 16 dias cada, sendo os cinco primeiros dias destinados à adaptação dos animais aos níveis de suplementação.

Para efeito de quantificação e avaliação do consumo voluntário de MS e fibra em detergente neutro (FDN) foram considerados os alimentos fornecidos entre o sexto e o nono dia de cada período experimental, sendo as sobras computadas entre o sétimo e o décimo dia.

As amostras de volumoso e sobras obtidas foram processadas em moinho de facas (1mm), acondicionadas em potes plásticos e armazenadas para posterior análise.

Para avaliação da concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR) realizaram-se, no sexto dia do período experimental, coletas de líquido ruminal às 4h00, 8h00, 12h00, 16h00, 20h00 e 24h00. As amostras foram coletadas manualmente na interface líquido:sólido do ambiente ruminal e filtradas por uma camada tripla de gaze. Em seguida, separou-se alíquota de 40 mL, a qual foi fixada com 1 mL de H₂SO₄ (1:1) e congelada (-20°C) para posterior análise.

Do décimo primeiro ao décimo sexto dia do período experimental realizou-se procedimento para avaliação da cinética de trânsito gastrointestinal de partículas fibrosas, que se baseou no fornecimento de indicador externo, em procedimento de dose única (Ellis et al., 1994), sendo empregado como indicador o cromo mordente à fibra, produzido conforme descrição de Udén et al. (1980).

A base fibrosa para produção do indicador foi retirada de amostras do volumoso fornecido. Foram fornecidos, para cada animal, 100 g de fibra mordente às 8h00 do décimo primeiro dia, sendo as amostras fecais obtidas diretamente do reto dos animais em 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72, 84, 96, 120 e 144

horas após o fornecimento do indicador. As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada (60°C/72 horas) e processadas em moinho de facas (1 mm).

Simultaneamente a esta avaliação foi conduzido procedimento de incubação *in situ* para quantificação dos eventos da dinâmica de degradação ruminal dos carboidratos fibrosos.

Amostras de feno foram processadas em moinho de facas (2 mm). O material foi acondicionado em sacos de tecido não-tecido (TNT – 100 g/m²), obedecendo-se à relação de 20 mg de MS/cm² de superfície (Nocek, 1988). As amostras, em duplicata, foram introduzidas diretamente do rúmen dos animais. Os tempos de incubação avaliados foram: 0, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 72, 96 e 120 horas. A disposição das amostras em relação aos tempos de incubação foi realizada de forma inversa, permitindo assim a retirada de todas as amostras simultaneamente, sendo submetidas à lavagem até o clareamento total da água, conduzidas à estufa de ventilação forçada (60°C, 72 horas), e posteriormente analisadas no tocante dos teores de FDN em equipamento analisador de fibras (TE 149/Tecnal).

As amostras de feno e sobras foram avaliadas quanto aos teores de MS, matéria orgânica (MO) e PB, segundo técnicas descritas por Silva & Queiroz (2002). Os teores de FDN foram estimados segundo recomendações de Mertens (2002), omitindo-se, contudo, as correções no tocante às cinzas insolúveis em detergente neutro.

As amostras de suplemento foram analisadas quanto aos teores de MS, MO e PB (Silva & Queiroz, 2002). A composição química da forragem e suplemento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Teores médios de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) para o feno e o suplemento

Item	Item	
	Feno	Suplemento
MS ¹	89,96	89,64
MO ²	84,22	88,55
PB ²	4,86	251,20
FDN ²	83,04	---

¹/% da matéria natural. ²/% da MS.

A concentração de NAR no líquido ruminal foi estimada pelo sistema micro-Kjeldahl, sem digestão ácida e utilizando-se como base para destilação o hidróxido de potássio (2 N), após centrifugação prévia da amostra a 1000 x g por 15 minutos. As concentrações obtidas nos diferentes tempos de amostragem foram combinadas por animal, produzindo-se, ao final, valor único, representativo da média diária de concentração de NAR.

As amostras de fezes relativas aos procedimentos para quantificação de parâmetros da cinética de trânsito foram analisadas quanto aos teores de MS (Silva & Queiroz, 2002) e cromo (Williams et al., 1962).

Os parâmetros da cinética de trânsito foram estimados por intermédio do ajustamento à curva de excreção fecal do indicador do modelo gama-2 tempo-dependente descrito por Ellis et al. (1994):

$$C_t = Z \times (t - \tau) \times L \times \exp[-L \times (t - \tau)] \quad (1);$$

em que: C_t = concentração fecal do indicador no tempo “t” (ppm); t = tempo após o fornecimento do indicador (h); L = parâmetro taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas (h^{-1}); Z = parâmetro sem interpretação biológica direta (ppm.h); e τ = tempo decorrido entre a aplicação e o aparecimento do indicador nas fezes (h).

Os tempos médios de retenção no rúmen-retículo e no trato gastrintestinal total foram estimados pelas equações (Ellis et al., 1994):

$$TMRR = \frac{2}{L} \quad (2);$$

$$TMRT = TMRR + \tau \quad (3);$$

em que: TMRR = tempo médio de retenção no rúmen-retículo (h); TMRT = tempo médio de retenção total (h); e L e τ como definidos anteriormente.

As amostras de volumosos submetidas à degradação ruminal foram avaliadas quanto aos teores de MS (Silva & Queiroz, 2002) e FDN (Mertens, 2002). Os perfis de degradação da FDN foram interpretados, por intermédio do modelo logístico descrito por Van Milgen et al. (1991):

$$R_t = B \times (1 + \lambda \times t) \times \exp(-\lambda \times t) + I \quad (4);$$

em que: R_t = resíduo não-degradado de FDN no tempo t (%); B = fração potencialmente degradável (%); I = fração indegradável (%); e λ = taxa fracional conjunta de latência e degradação (h^{-1}).

A taxa fracional de degradação da FDN foi estimada a partir de λ utilizando-se as propriedades da distribuição gama-2 (Ellis et al., 1994):

$$k = 0,59635 \times \lambda \quad (5);$$

em que: k = taxa fracional de degradação da fração potencialmente degradável da FDN (h^{-1}).

As estimativas de latência discreta foram obtidas segundo derivações de Vieira et al. (1997):

$$LAG = \frac{R(0) - R(t_i)}{R'(t_i)} + t_i \quad (6);$$

em que: LAG = latência discreta (h); $R(0)$ = resíduo de FDN não-degradado em $t = 0$ (%); $R(t_i)$ = resíduo não-degradado de FDN obtido no ponto de inflexão da curva de degradação (%); $R'(t_i)$ = derivada da curva ajustada de degradação para o ponto de inflexão (máxima taxa de degradação do substrato) (h^{-1}); e t_i = tempo equivalente ao ponto de inflexão da curva de degradação (h).

Os valores de t_i foram obtidos segundo derivações de Vieira et al. (1997):

$$t_i = \frac{1}{\lambda} \quad (7).$$

As frações B e I foram expressas na forma padronizada, segundo sugestões de Waldo et al. (1972).

$$Bp = \frac{B}{B + I} \quad (8);$$

$$Ip = \frac{I}{B + I} \quad (9).$$

A fração efetivamente degradada da FDN foi obtidas em adequação às sugestões de Ørskov & McDonald (1979), segundo a equação:

$$FED = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [f(t) \times (-\frac{dRt}{dt})] dt \quad (10);$$

em que: FED = fração efetivamente degradada da FDN (%); $f(t)$ = função relativa ao deslocamento de sólidos no ambiente ruminal.

A função $f(t)$ foi obtida por re-parametrização de (1), re-interpretando-se o perfil excretório obtido por partículas emergentes para partículas residentes (Ellis et al., 1994):

$$f(t) = (1 + L \times t) \times \exp(-L \times t) \quad (11).$$

As estimativas do efeito de repleção ruminal da FDN foram obtidas por adaptações às proposições de Waldo et al. (1972), segundo as equações:

$$RR_1 = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [Bp \times (1 + \lambda \times t) \times \exp(-\lambda \times t) \times (1 + L \times t) \times \exp(-L \times t)] dt \quad (12);$$

$$RR_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t [Ip \times (1 + L \times t) \times \exp(-L \times t)] dt \quad (13);$$

$$RR_t = RR_1 + RR_2 \quad (14);$$

em que: RR_t = efeito de repleção ruminal total (h); RR_1 = efeito de repleção ruminal atribuído à fração potencialmente degradável da FDN (h); e RR_2 = efeito de repleção ruminal atribuído à fração indegradável da FDN (h).

O experimento foi analisado segundo delineamento em quadrado latino 5 x 5, com cinco tratamentos, cinco animais e cinco períodos experimentais. Para efeito de interpretação dos efeitos de tratamentos empregaram-se os níveis médios de PB nas dietas equivalentes a cada nível de suplementação. O comportamento das médias foi interpretado com o auxílio de técnicas de regressão e correlação lineares (Myers, 1990). Todos os procedimentos de regressão não-linear aplicados para o ajustamento de modelos foram conduzidos segundo o algoritmo iterativo de Gauss-Newton (Souza, 1998).

Todos os procedimentos estatísticos foram conduzidos por intermédio do programa SAS (*Statistical Analysis System*), adotando-se 0,10 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

Resultados e Discussão

Os níveis médios de PB nas dietas, produzidos a partir da razão entre consumo total de PB (forragem e suplemento) e o consumo total de MS, foram de 5,19%, 7,11%, 8,60%, 11,67% e 13,02%, com base na MS, para os níveis de suplementação 0, 2, 4, 6 e 8 pontos percentuais, respectivamente.

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas para a fração padronizada potencialmente degradável da FDN (Bp), fração padronizada indegradável da FDN (Ip), taxa fracional de degradação da fração potencialmente degradável da FDN (k), latência discreta (LAG), fração efetivamente degradada da FDN (FED), parâmetro taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas (L), tempo decorrido

entre a aplicação e o aparecimento do indicador nas fezes (τ), tempo médio de retenção no rúmen-retículo (TMRR), tempo médio de retenção no trato gastrointestinal total (TMRT), efeito de repleção ruminal atribuído à fração potencialmente degradável da FDN (RR_1), efeito de repleção ruminal atribuído à fração indegradável da FDN (RR_2) e efeito de repleção ruminal total da FDN (RR_t) em função dos diferentes níveis de PB na dieta.

Tabela 2 - Médias de quadrados mínimos e coeficientes de variação (CV) para as frações padronizadas potencialmente degradável (Bp - %) e indegradável (Ip - %) da FDN, taxa fracional de degradação da fração potencialmente degradável da FDN ($k - h^{-1}$), latência discreta (LAG - h), fração efetivamente degradada da FDN (FED - %), parâmetro taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas fibrosas ($L - h^{-1}$), tempo decorrido entre a aplicação e o aparecimento do indicador nas fezes ($\tau - h$), tempo médio de retenção no rúmen-retículo (TMRR - h), tempo médio de retenção no trato gastrointestinal total (TMRT - h), efeito de repleção ruminal atribuído à fração potencialmente degradável da FDN ($RR_1 - h$), efeito de repleção ruminal atribuído à fração indegradável da FDN ($RR_2 - h$), efeito de repleção ruminal total da FDN ($RR_t - h$), consumo voluntário de FDN (g/kg PV) e concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR - mg/dL) em função dos níveis de PB na dieta

Item	Nível de PB (%)					CV (%)
	5,19	7,11	8,60	11,67	13,02	
Bp	30,09	49,32	50,03	44,45	49,13	10,4
Ip	69,90	50,68	49,97	55,55	50,86	8,6
k	0,1394	0,1998	0,1896	0,2072	0,2438	8,2
LAG	1,25	0,84	0,90	0,83	0,69	8,7
FED	29,73	48,64	49,35	43,80	48,28	10,3
L	0,0102	0,0130	0,0129	0,0128	0,0139	19,1
τ	8,62	8,11	7,75	8,04	7,61	10,1
TMRR	220,04	155,58	161,94	170,46	155,61	30,6
TMRT	228,66	163,70	169,69	178,51	163,22	29,6
RR_1	2,38	2,69	2,92	2,36	2,19	18,0
RR_2	132,62	76,02	75,81	88,86	75,18	32,3
RR_t	135,01	78,72	78,73	91,21	77,35	31,0
CFDN	10,7	12,5	13,7	13,8	12,5	14,9
NAR	3,82	6,32	9,62	8,72	14,24	38,1

Os efeitos da suplementação com compostos nitrogenados sobre a fração potencialmente degradável da FDN podem ser visualizados por intermédio da função *linear-response-plateau* (LRP) apresentada na Figura 1. Verificou-se elevação linear ($P < 0,10$) de Bp até o nível de 6,97% de PB, a partir do qual, passou a manter-se estável, assumindo o platô de 47,87% da FDN. Por ser complementar a Bp,

comportamento similar, mas com relação linear inversa, foi verificado sobre as estimativas de I_p ($P < 0,10$) ($\hat{Y} = 121,8539 - 10,010X$; $\forall X \leq 6,9655$; $\hat{Y} = 52,1267$; $\forall X > 6,9655$; $R^2 = 0,9364$).

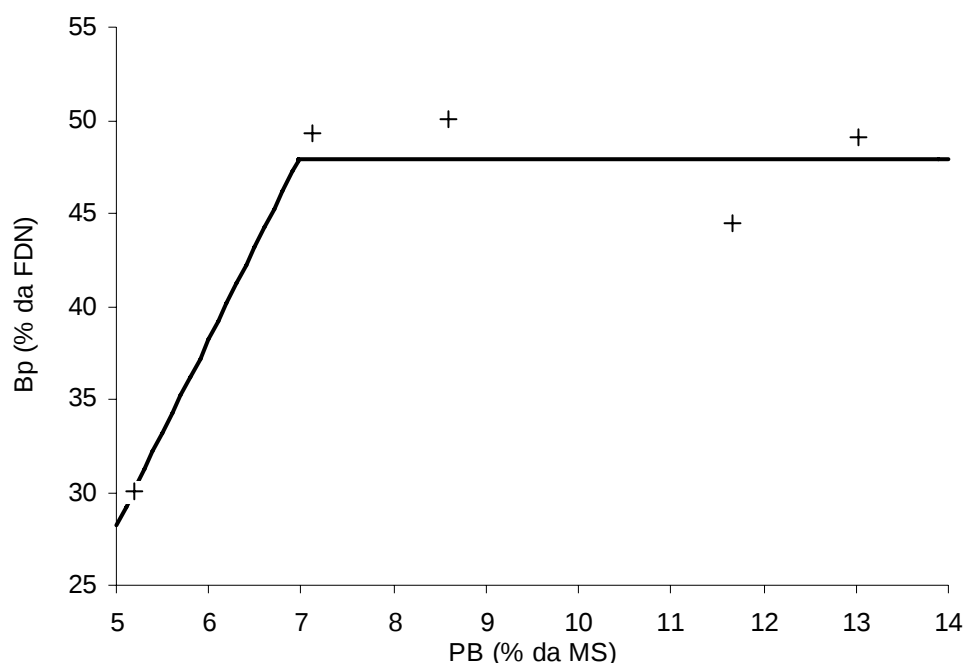


Figura 1 - Comportamento descritivo e função ajustada para a relação entre o nível de proteína bruta da dieta (PB) e a estimativa da fração potencialmente degradável padronizada (Bp) da FDN ($\hat{Y} = -21,8909 + 10,016X$; $\forall X \leq 6,9652$; $\hat{Y} = 47,8700$; $\forall X > 6,9652$; $R^2 = 0,9365$).

Este comportamento aparentemente contradiz a definição de fração potencialmente degradável (e indegradável), uma vez que a dimensão desta é característica única e exclusiva do substrato (Ørskov, 2000), não sendo ou podendo ser, em tese, afetada por características do meio de crescimento microbiano.

Contudo, segundo Van Soest (1994), as exigências de compostos nitrogenados dos microrganismos ruminais deixam de ser atendidas em níveis dietéticos de PB inferiores a 6-8%, comprometendo a utilização dos substratos energéticos disponíveis. Desta forma, a queda da fração Bp da FDN em níveis inferiores a 6,97% de PB (aproximadamente 7%) não indica redução real, mas somente a transformação de parte da fração potencialmente degradável em fração aparentemente indegradável por deficiência de sistemas enzimáticos microbianos em degradar tal porção. Assim, a dimensão real de Bp mantém-se constante,

independentemente das condições ruminais ou nível de proteína dietética, uma vez que é característica do substrato (Ørskov, 2000).

Os pressupostos básicos normalmente direcionados à interpretação da dinâmica de degradação ruminal assumem que os eventos podem ser descritos por reação de primeira ordem, ou seja, estes são dependentes de um único *pool* (Mertens, 2005), assumindo-se o substrato como limitante e o sistema enzimático microbiano como não-limitante. Desta forma, as características intrínsecas do substrato seriam os únicos limitantes do processo de degradação, considerando-se excesso de enzimas no meio.

Contudo, o comportamento definido na Figura 1 indica que duas fases distintas de interpretação da dinâmica de degradação podem ser definidas. Em concentrações superiores a 7% de PB na dieta, a obtenção de estimativas “completas” da fração potencialmente degradável indica que não ocorreram limitações quanto ao *pool* enzimático no ambiente ruminal, caracterizando, portanto, reação de primeira ordem.

Por outro lado, a obtenção de estimativas “incompletas” para a fração potencialmente degradável em níveis de PB inferiores a 7% indica que o processo de degradação tornou-se não só dependente das características do substrato, havendo limitação de sistemas enzimáticos no ambiente ruminal.

Desta forma, a elevação do teor de PB da dieta caracteriza a dinâmica de degradação da FDN no ambiente ruminal como processo de segunda ordem (ou processo cinético de *Michaelis-Menten*) (Mertens, 2005), ou seja, a carência de sistemas enzimáticos em níveis inferiores a 7% de PB implica em reações de ordem zero, as quais são convertidas em ordem um à medida que compostos nitrogenados são adicionados ao meio. Desta forma, a suplementação com compostos nitrogenados implica em ampliação dos sistemas enzimáticos microbianos no ambiente ruminal.

Indicativos de que a degradação ruminal da FDN constitui processo de segunda ordem foram também verificados por Detmann et al. (2005) ao conduzirem ensaio de produção cumulativa de gases *in vitro*. Estes autores verificaram que a incubação da forragem basal em conjunto com o suplemento elevou a taxa de degradação da FDN em comparação à incubação isolada desses substratos.

Ortiz-Rubio et al. (2007), ao trabalharem com bovinos alimentados com pontas de cana (5,38% de PB) recebendo níveis crescentes de compostos

nitrogenados suplementares, verificaram ampliação da fração potencialmente degradável da MS da forragem basal em função da elevação do nível de PB na dieta, corroborando os resultados aqui obtidos.

A diferença entre os valores estimados de Bp para níveis inferiores a 7% de PB e aquele que realmente representa esta fração (47,87% da FDN) converge ao conceito de energia latente salientado por Paulino et al. (2001), que afirmaram que, em condições de carência de compostos nitrogenados na dieta, parte dos substratos energéticos da forragem potencialmente utilizáveis deixam de ser efetivamente aproveitados por deficiência dos sistemas enzimáticos microbianos.

Desta forma, pode-se inferir que o nível mínimo de 7% de PB na dieta seja demandado para que os microrganismos tenham condições plenas de utilização dos substratos energéticos fibrosos da forragem ingerida.

A concentração de NAR se relacionou positivamente com o nível de PB na dieta ($P < 0,10$) ($\hat{Y} = -1,12 + 1,0511X$; $r^2 = 0,7921$). A conversão do nível de PB na dieta em NAR indica que a estabilização na estimativa de Bp (Figura 1) ocorreu com o nível de 6,24 mg NAR/dL, a qual pode ser interpretada como a concentração mínima necessária para manutenção adequada da atividade microbiana sobre a FDN da forragem basal.

Esta estimativa se situa acima do limite de 5,32 mg/dL relatado por Sampaio et al. (s.d.) para a manutenção da atividade microbiana no ambiente ruminal e abaixo de 9,64 mg/dL, valor indicado por estes autores para maximização do consumo de forragem. Este valor mostrou-se superior ao limite mínimo preconizado por Satter & Slyter (1974) (5 mg/dL) para que o crescimento microbiano ocorra de forma satisfatória.

A taxa de degradação da fração potencialmente degradável da FDN elevou-se linearmente ($P < 0,10$) com os níveis de PB da dieta ($\hat{Y} = 0,1007 + 0,0104X$; $r^2 = 0,7979$). Por outro lado, a latência discreta apresentou comportamento linear decrescente ($P < 0,10$) em função dos níveis de PB da dieta ($\hat{Y} = 1,3907 - 0,0535X$; $r^2 = 0,6971$) (Tabela 2).

O comportamento linear da taxa de degradação em função dos níveis de PB na dieta concorda com os relatos de Satter & Slyter (1974), que afirmaram que produção de proteína e o rendimento microbiano sobre o substrato energético são linearmente incrementados com a elevação dos níveis de PB da dieta até limites em

torno de 13 a 14%. Sendo a produção de proteína microbiana diretamente relacionada à velocidade de utilização dos substratos energéticos, e sendo esta velocidade intimamente associada à taxa de degradação da FDN em dietas baseadas em forragens, suporta-se o comportamento verificado neste estudo.

A latência discreta estima, por aproximação, o tempo necessário para que os eventos preparatórios às atividades de degradação ocorram, envolvendo aspectos físicos (e.g. hidratação) e microbiológicos (e.g. fixação, síntese de enzimas, etc). Desta forma, a redução na latência corrobora o fato de o meio tornar-se mais adequado ao crescimento microbiano com a elevação dos níveis de PB na dieta.

Embora a fração potencialmente degradável da FDN possa ser plenamente contabilizada como recurso energético para produção animal, deve-se relevar que esta constitui um conceito assintótico (Mertens, 2005), ou seja, somente pode ser considerado válido se avaliado sob escala de tempo infinita. Contudo, em termos práticos, os eventos de degradação ruminal ocorrem em escalas de tempo finitas.

Neste contexto, a otimização dos recursos nutricionais basais, no contexto da interação com os recursos dos suplementos, deve se basear na máxima aproximação entre a fração efetivamente degradada (FED) e a fração potencialmente degradável da FDN (Bp), sem, contudo, implicar comprometimento sobre o consumo voluntário (Paulino et al., 2006).

O comportamento da FED em relação à suplementação com compostos nitrogenados mostrou-se similar ao verificado para a Bp, verificando-se redução desta fração ($P < 0,10$) em níveis inferiores a 6,95% de PB. Desta forma, a máxima aproximação entre FED e Bp foi verificada em níveis superiores a 7% de PB na dieta (Figura 2).

A relação entre o fluxo ruminal de partículas fibrosas, representado pelo parâmetro L, e o nível de PB na dieta é apresentada na Figura 3. Verificou-se relação LRP ($P < 0,10$), com ponto crítico para o início do platô localizado sobre o nível de 7,24% de PB, estimativa próxima às verificadas para as frações Bp, Ip e FED.

Os processos de degradação e trânsito ruminal devem ser avaliados de forma integrada no sentido de que, na medida em que se amplia a velocidade de utilização dos compostos potencialmente degradáveis pelos microrganismos, reduz-se o tempo necessário para que a partícula alcance a faixa de gravidade específica para a remoção do rúmen (Allen, 1996). Logo, ressalta-se que o comportamento verificado

sobre L constitui, ao menos em parte, reflexo do comportamento verificado sobre a dinâmica de degradação da FDN.

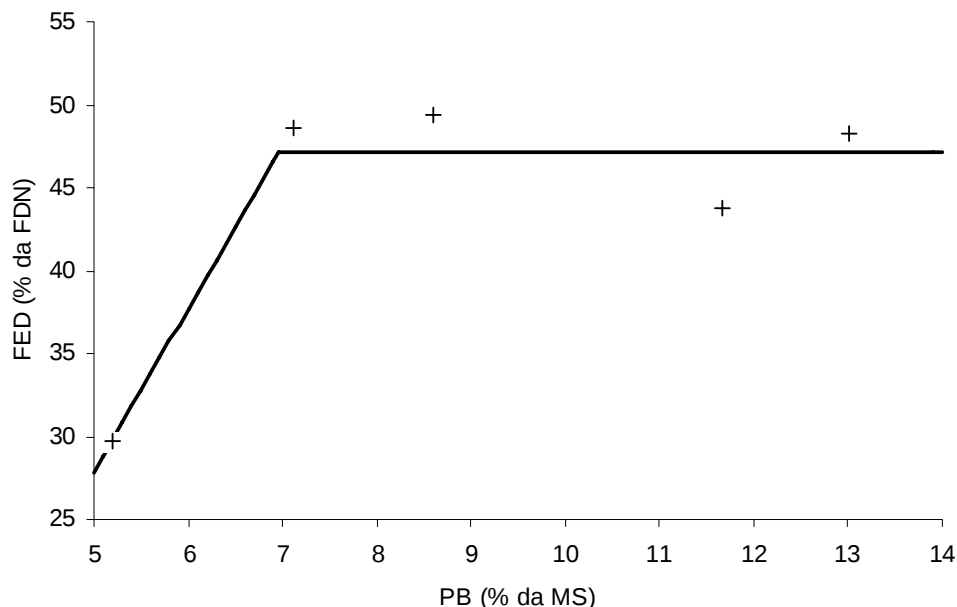


Figura 2 - Comportamento descritivo e função ajustada para a relação entre o nível de proteína bruta da dieta (PB) e a estimativa da fração efetivamente degradada (FED) da FDN (FED: $\hat{Y} = -21,3862 + 9,849X$; $\forall X \leq 6,9580$; $\hat{Y} = 47,1433$; $\forall X > 6,95$; $R^2 = 0,9363$).

Por se tratarem de parâmetros obtidos a partir da recíproca de L (Equações 2 e 3) o tempo médio de retenção no rúmen-retículo ($\hat{Y} = 394,28 - 33,5730X$; $\forall X \leq 6,90$; $\hat{Y} = 162,67$; $\forall X > 6,90$; $R^2 = 0,9623$) e o tempo médio de retenção total ($\hat{Y} = 404,25 - 33,8330X$; $\forall X \leq 6,91$; $\hat{Y} = 170,47$; $\forall X > 6,91$; $R^2 = 0,9610$) apresentaram comportamento semelhante ao fluxo ruminal de partículas fibrosas ($P < 0,10$). Ressalta-se que tempo médio de retenção no intestino (τ) não foi influenciado pelo nível de PB na dieta ($P > 0,10$) (Tabela 2).

O desaparecimento da FDN do ambiente ruminal constitui processo tempo-dependente, no qual integram-se as velocidades de degradação da fração potencialmente degradável da FDN e de retirada das frações não-degradada e indegradável da FDN (FDNi) do ambiente ruminal (Ellis et al., 1994), as quais, em conjunto com a baixa densidade da FDN, constituem os principais determinantes do consumo voluntário sob dietas com predomínio de forragem (Detmann et al., 2003).

A dinâmica do desaparecimento da FDN do ambiente ruminal pode ser mensurada de forma integrada por sua capacidade de repleção ruminal (Waldo et al., 1972).

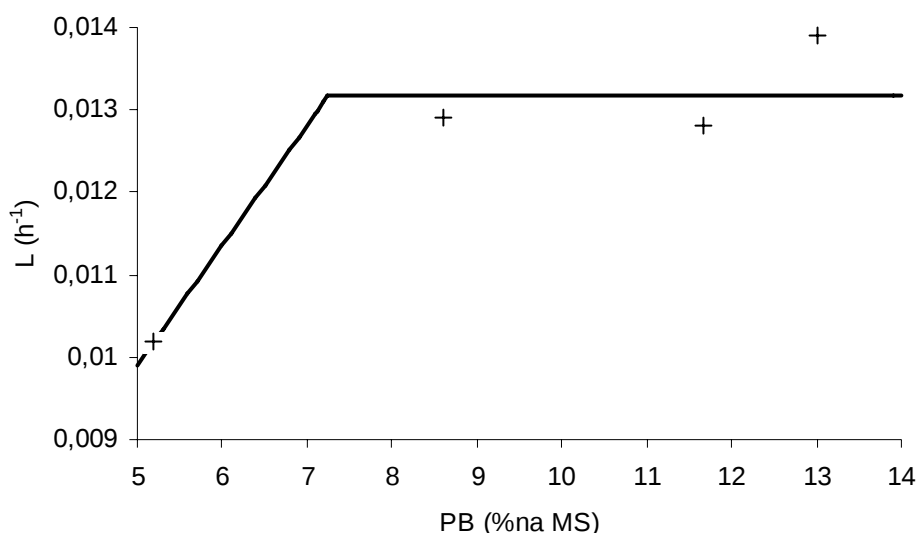


Figura 3 - Comportamento descritivo e função ajustada para a relação entre o nível de proteína bruta da dieta (PB) e as estimativas para o parâmetro taxa relativo ao fluxo ruminal de partículas fibrosas (L) ($L: \hat{Y} = 0,0026 + 0,00146X; \forall X \leq 7,2471; \hat{Y} = 0,0132; \forall X > 7,24; R^2 = 0,8965$).

Pressupondo-se condições de *steady state* no ambiente ruminal, pode-se assumir que em dietas com predomínio de alimentos fibrosos, como em animais em pastejo nos trópicos, a massa rúmen residente de FDN seja representada por um valor constante. Desta forma, novos *inputs* de substratos fibrosos oriundos da forragem basal somente serão permitidos quando parte da massa residente seja removida do ambiente por degradação ou passagem (Paulino et al., 2006). Assim, a maximização da utilização da FDNpd disponível ao pastejo tem como ponto primário a maximização de seu *input* no ambiente ruminal, o qual pode também ser entendido como a minimização do efeito de repleção ruminal (Equações 12, 13 e 14).

Embora a suplementação não tenha afetado o efeito de repleção ruminal da fração potencialmente degradável da FDN (RR_1) ($P > 0,10$), verificou-se relação LRP ($P < 0,10$) entre os níveis de PB da dieta sobre a repleção ruminal da fração indegradável da FDN (RR_2 ; Figura 4), implicando comportamento similar sobre o efeito de repleção ruminal total da FDN (RR_t) ($\hat{Y} = 287,1685 - 29,3180; \forall X \leq 6,98; \hat{Y} = 82,43; \forall X > 6,98; R^2 = 0,9518$). Estes resultados mais uma vez corroboram o

mínimo de 7% de PB para que ocorra a definição de níveis adequados de atividade microbiana sobre a FDN de forragem de baixa qualidade.

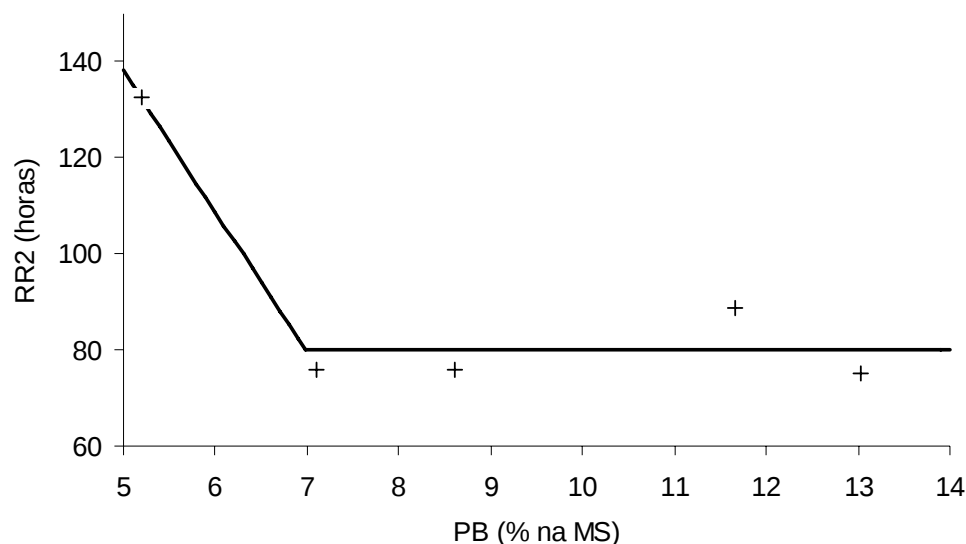


Figura 4 - Comportamento descritivo e função ajustada para a relação entre o nível de proteína bruta da dieta (PB) e a estimativa do efeito de repleção ruminal da fração indegradável da FDN (RR₂) (RR₂: $\hat{Y} = 285,6166 - 29,479X$; $\forall X \leq 6,97$; $\hat{Y} = 79,95$; $\forall X > 6,97$; $R^2 = 0,9510$).

Segundo os resultados expressos na Tabela 2, verifica-se que RR₂ mostrou-se de 26,0 a 55,7 vezes superiores a RR₁. Logo, para que se permita a ampliação do consumo de FDN da forragem basal, a dinâmica ruminal da fração indegradável da FDN deve ser considerada prioritária no entendimento da interação entre forragem e suplemento.

Embora tenha se percebido estabilidade em RR₂ a partir de 7% de PB, resultados obtidos por Sampaio et al. (s.d.) permitem evidenciar que a maximização no consumo voluntário ocorre em níveis próximos a 10% de PB. Neste ponto, estes autores verificaram, simultaneamente, maximização no consumo de FDNi. Assim, este comportamento corrobora o fato de a retirada dos resíduos indegradáveis assumir papel preponderante na maximização do consumo de forragem de baixa qualidade.

O consumo de FDN da forragem basal (CFDN) deve constituir parâmetro a ser maximizado em sistemas produção de animais em pastejo, uma vez que, segundo Paulino et al. (2006), esta constitui a fonte de energia de menor custo.

Neste contexto, a inspeção das correlações lineares entre os parâmetros avaliados neste estudo (Tabela 3) permite evidenciar que o CFDN mostrou-se positivamente correlacionado ($P < 0,10$) com as frações potencialmente degradável e efetivamente degradada da FDN e com o fluxo ruminal de partículas fibrosas; e negativamente correlacionada com RR_2 ($P < 0,10$).

Embora não se tenha verificado correlação significativa ($P > 0,10$) entre CFDN e NAR, percebe-se que este último correlacionou-se positivamente ($P < 0,10$) com a taxa de degradação da FDN potencialmente degradável, a qual, por sua vez, correlacionou-se ($P < 0,10$) positivamente com FED e negativamente com RR_2 . Logo, percebe-se que, de forma indireta, NAR relaciona-se positivamente com CFDN.

Neste contexto, este grupo de variáveis deve ser focado no sistema de produção para que se propicie máximo CFDN.

Sendo a dimensão das frações potencialmente degradável e indegradável características inerentes ao substrato (Ørskov, 2000), a ampliação do CFDN pode ser obtida a partir de conceitos de manejo para qualidade da massa forrageira disponível ao pastejo (Paulino et al., 2001), ampliando-se a proporção da fração potencialmente degradável da FDN da forragem.

Por outro lado, a interação entre suplementos e FDN da forragem basal deve priorizar, a partir do fornecimento de compostos nitrogenados, o estabelecimento de níveis ótimos de NAR e a maximização do fluxo ruminal de partículas fibrosas e da taxa de degradação da fração potencialmente degradável da FDN.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis: fração padronizada potencialmente degradável da FDN (Bp - %), fração padronizada indegradável da FDN (Ip - %), taxa fracional de degradação da fração potencialmente degradável da FDN (k - h⁻¹), latência discreta (Lag - h), fração efetivamente degradada da FDN (FED - %), parâmetro taxa tempo-dependente relativo ao fluxo ruminal de partículas (L - h⁻¹), tempo médio de retenção no rúmen – retículo (TMRR - h), efeito de repleção ruminal atribuído à fração potencialmente degradável da FDN (RR₁ - h), efeito de repleção ruminal atribuído à fração indegradável da FDN (RR₂ - h), efeito de repleção ruminal total (RR_t - h), consumo de FDN (CFDN - g/kg PV) e concentração de nitrogênio amoniacal ruminal (NAR – mg/dL)

Variável ¹	Variável ¹										
	Ip	Kd	Lag	FED	L	TMRR	RR1	RR2	RRt	CFDN	NAR
Bp	-1,0000 <0,0001	0,6488 0,0008	-0,7682 <0,0001	0,9999 <0,0001	0,3633 0,0883	-0,5075 0,0134	0,4149 0,0490	-0,7912 <0,0001	-0,7895 <0,0001	0,4770 0,0213	0,3142 0,1442
Ip	---	-0,6488 0,0008	0,7682 <0,0001	-0,9999 <0,0001	-0,3633 0,0883	0,5075 0,0134	-0,4149 0,0490	0,7913 <0,0001	0,7895 <0,0001	-0,4770 0,0213	-0,3142 0,1442
k		---	-0,9731 <0,0001	0,6413 0,0010	0,3001 0,1640	-0,3113 0,1481	-0,4071 0,0538	-0,5097 0,0130	-0,5189 0,0112	0,3294 0,1247	0,6121 0,0019
Lag			---	-0,7626 <0,0001	-0,3382 0,1144	0,4001 0,0585	0,2428 0,2641	0,6253 0,0014	0,6326 0,0012	-0,3385 0,1141	-0,5770 0,0039
FED				---	0,3554 0,0960	-0,5021 0,0146	0,4229 0,0444	-0,7874 <0,0001	-0,7855 <0,0001	0,4721 0,0229	0,3076 0,1534
L					---	-0,9274 <0,0001	0,1223 0,5783	-0,8067 <0,0001	-0,8093 <0,0001	0,6144 0,0018	0,3017 0,1618
TMRR						---	-0,2927 0,1752	0,9262 <0,0001	0,9268 <0,0001	-0,5915 0,0029	-0,2296 0,2919
RR ₁							---	-0,3771 0,0761	-0,3641 0,0876	0,1682 0,4429	-0,3264 0,1285
RR ₂								---	0,9999 <0,0001	-0,6109 0,0020	-0,3090 0,1513
RR _t									---	-0,6116 0,0019	-0,3158 0,1422
CFDN										---	0,0856 0,6977

^{1/} Os valores sub-escritos correspondem aos níveis descritivos de probabilidade para o erro tipo I associado às hipóteses: H₀: p = 0; H_a: p ≠ 0.

Conclusões

Nível mínimo de 7% de proteína bruta na dieta, com base na matéria seca, se faz necessário para que os microrganismos ruminais apresentem capacidade plena de utilização de forragem basal de baixa qualidade. A conversão dos níveis de proteína bruta dietética em concentração de nitrogênio amoniacal ruminal indicam que as atividades acima descritas demandam concentração mínima de 6,24 mg/dL.

Literatura citada

- ALLEN, M.S. **Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants.** *Journal of Animal Science*, v.74, p.3063-3075, 1996.
- DelCURTO, T.; COCHRAN, R.C.; HARMON, D.L. et al. Supplementation of dormant Tallgrass-Prarie forage: I. Influence of varying supplemental protein and (or) energy levels on forage utilization characteristics of beef steers in confinement. **Journal of Animal Science**, v.68, p.515-531, 1990.
- DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C.; CECON, P.R. et al. Consumo de fibra em detergente neutro por bovinos em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.1763-1777, 2003 (Suplemento 1).
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; CABRAL, L.S. et al. Simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva em novilhos mestiços suplementados a pasto por intermédio de sistema *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.2112-2122, 2005.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization.** Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994. p.682-756.
- HANNAH, S.M.; COCHRAN, R.C.; VANZANT, E.S. et al. Influence of protein supplementation on site and extent of digestion, forage intake, and nutrient flow characteristics in steers consuming dormant Bluestem-Range forage. **Journal of Animal Science**, v.69, p.2624-2633, 1991.
- HOOVER, W.H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.2755-2766, 1986.
- KÖSTER, H.H.; COCHRAN, R.C.; TITGEMEYER, E.S. et al. Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality Tallgrass-Prarie forage by beef cows. **Journal of Animal Science**, v.74, p.2473-2481, 1996.
- LENG, R.A. Supplementation of tropical and subtropical pastures for ruminant production. In: GILCHRIST, F.M.C.; MACKIE, R.I. (Eds.) **Herbivore nutrition in the subtropics and tropics.** Craighall: The Science Press, 1984. p.129-144.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.

- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.) **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. 2ª ed. Wallingford: CABI Publishing, 2005. p.13-47.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483p.
- MYERS, R. H. **Classical and modern regression with applications**. Boston: PWS-Kent Publishing Co, 1990. 488p.
- NOCEK, J.E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2051-2069, 1988.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Suplementos múltiplos para recria e engorda de bovinos em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2, 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMCORTE, 2001. p.187-233.
- PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; MORAES, E.H.B.K. et al. Bovinocultura de ciclo curto em pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 3, 2002 Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMCORTE, 2002. p.153-196.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. Suplementação animal em pasto: energética ou protéica? In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3, 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SIMFOR, 2006. p.359-392.
- ØRSKOV, E.R. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R.F.E. et al. (Eds.) **Forage evaluation in ruminant nutrition**. London: CAB International, 2000. p.175-188.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed weighted according to rate passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.
- ORTIZ-RUBIO, M.A.; ØRSKOV, E.R.; MILNE, J. et al. Effect of different sources of nitrogen on *in situ* degradability and feed intake of Zebu cattle fed sugarcane tops (*Saccharum officinarum*). **Animal Feed Science and Technology**, 2007 (*in press*).
- SAMPAIO, C.B.; DETMANN, E.; PAULINO, M.F. et al. Consumo, digestibilidade e síntese de proteína microbiana em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade suplementados com compostos nitrogenados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, s.d. (submetido).
- SATTER, L.D.; SLYTER, L.L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production *in vitro*. **British Journal of Nutrition**, v.32, p.199-208, 1974.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 505p.
- UDÉN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal of Science Food and Agricultural**, v.31, p.625-632, 1980.

- Van MILGEN, J.; MURPHY, L.L.; BERGER, L.L. et al. A compartmental model to analyze ruminal digestion. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.2515-2529, 1991.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2^a ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, A.M et al. The influence of elephant grass (*Pennisetum purpurem* Schum. Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.66, p.197-210, 1997.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agricultural Science**, v.59, p.381-385, 1962.
- WALDO, D. R.; SMITH, L. W.; COX, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.125- - 129, 1972.

CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos nesta Dissertação, destacam-se como principais conclusões e implicações:

1. A suplementação com compostos nitrogenados em quantidades que permitam elevar o teor de proteína bruta da dieta em níveis próximos de 10% proporciona otimização da utilização de forragem tropical de baixa qualidade;
2. Concentrações de nitrogênio amoniacal ruminal de 5,32 e 9,64 mg/dL estão associadas ao fornecimento de substratos nitrogenados necessários para a manutenção da atividade microbiana e à maximização do consumo voluntário de forragem, respectivamente; e
3. Nível mínimo de 7% de proteína bruta na dieta, com base na matéria seca, se faz necessário para que os microrganismos ruminais apresentem capacidade plena de utilização de forragem basal de baixa qualidade. A conversão dos níveis de proteína bruta dietética em concentração de nitrogênio amoniacal ruminal indicam que as atividades acima descritas demandam concentração mínima de 6,24 mg/dL.