

LUCIANO DA SILVA CABRAL

AVALIAÇÃO DE ALIMENTOS PARA RUMINANTES POR INTERMÉDIO  
DE MÉTODOS *IN VIVO* E *IN VITRO*

Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Zootecnia, para  
obtenção do título de “Doctor  
Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2002

LUCIANO DA SILVA CABRAL

AVALIAÇÃO DE ALIMENTOS PARA RUMINANTES POR INTERMÉDIO  
DE MÉTODOS *IN VIVO* E *IN VITRO*

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

Aprovada: 28 de fevereiro de 2002.

---

Prof. Rogério de Paula Lana  
(Conselheiro)

---

Prof. Odilon Gomes Pereira

---

Prof. José F. Coelho da Silva

---

Prof. Paulo Roberto Cecon

---

Prof. Sebastião de Campos Valadares Filho  
(Orientador)

Ao meu pai (*in memoriam*).

À minha mãe Vera Lúcia.

Aos meus irmãos David e Lúcio.

Aos meus sobrinhos Renan, Lóisy e Thauan.

Aos meus sogros Sr. Jorge e Dona Amélia.

À minha esposa Luciana e à minha querida filha Thainá.

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal de Viçosa, particularmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade para realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Sebastião de Campos Valadares Filho, pelos ensinamentos, pelo exemplo de conduta e ética, pela paciência, compreensão e sabedoria na orientação e elaboração deste trabalho.

Aos professores, Rogério de Paula Lana, Marcelo Teixeira Rodrigues, José Fernando Coelho da Silva, Odilon Gomes Pereira e Paulo Roberto Cecon pelas valiosas críticas e sugestões.

Ao caro amigo Edênio Detmann, pela amizade sincera, pelas inestimáveis contribuições estatísticas e pelo aprendizado no decorrer do curso, e por dispor de senso comum, quanto à seriedade, consciência e motivação na tentativa de desvendar os enigmas intrínsecos da nutrição de ruminantes.

Ao caríssimo amigo, Joanis Tilemahos, pelo convívio fraterno e alegre, pelos valiosos ensinamentos na área de maior importância e impacto na pecuária no Brasil, que é a suplementação de bovinos.

Aos amigos Poliana Nunes e Rafael Veloso, pelas inestimáveis contribuições na condução dos experimentos, pela troca de experiências e conhecimentos e, por não terem sido apenas estagiários, pois, participaram de

forma efetiva na condução deste trabalho, com entusiasmo, iniciativa, boa vontade e paciência.

Aos amigos e colegas, Acir, Alan, Alberto Magno, Alessandra, Alexandre “Bodão”, Alfredo, André Magalhães, André Viana, André Luigi, Bevaldo, Carla, Cádio Samara, Cristina Veloso, Deolindo Stradiotti Júnior, Ednaldo Bezerra, Eduardo Gaúcho, Eduardo Kling, Elisa Modesto, Émerson, Fabiano, Fernanda, Fernando Londoño, Flávio Vieitres, Jailson, Jefferson, Karina, Luciano Mello, Luís Ítavo, Marco Aurélio, Marco Lana, Marquinhos, Poliana, Pedro, Renata, Ricardo Vieira, Salete, Sherlânea, Vicente, Viviane, pelo convívio fraterno, sugestões e aprendizado.

Ao amigo Pedro Antônio Muniz Malafaia, pelo seu exemplo de conduta como Professor, Pesquisador e Pai; por pregar a verdade absoluta, e nos fazer acreditar que com trabalho e sabedoria pode-se mudar o mundo.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, Faustino Monteiro, Valdir Adilson, Márcia, Vera Lúcia da Silva, Wellinton, Marcelo Cardoso, José Geraldo, Joelson, Cláudio Paulon, Édson, Mário, Raimundo, Celeste e Sr. Antônio, pela colaboração, paciência e amizade.

Aos demais professores, colegas de Curso e funcionários do Departamento de Zootecnia, pelo convívio fraterno.

## **BIOGRAFIA**

LUCIANO DA SILVA CABRAL, filho de Aristeu de Araújo Cabral e Vera Lúcia da Silva Cabral, nasceu em 25 de setembro de 1971, na cidade do Rio de Janeiro-RJ.

Em Março de 1996, concluiu o Curso de Graduação em Zootecnia, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

Em outubro de 1996, foi aprovado no concurso para Professor Substituto na área de Bovinocultura de Leite/Manejo Animal, do Departamento de Produção Animal do Instituto de Zootecnia/ UFRRJ, onde atuou até julho de 1997.

Em agosto de 1997, foi admitido no Curso de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, na área de Nutrição de Ruminantes, da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 22 de Março de 1999.

Em Março de 1999 foi admitido no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, na área de Nutrição de Ruminantes, da Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 28 de fevereiro de 2002.

## ÍNDICE

|                                                                                                                                                                                                 | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| RESUMO .....                                                                                                                                                                                    | ix     |
| ABSTRACT .....                                                                                                                                                                                  | xiv    |
| INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                                                                | 1      |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                                                                                | 8      |
| Cinética Ruminal das Frações de Carboidratos, Produção de Gás,<br>Digestibilidade <i>In Vitro</i> da Matéria Seca e NDT Estimado da Silagem<br>de Milho com Diferentes Proporções de Grãos..... | 11     |
| Resumo .....                                                                                                                                                                                    | 11     |
| Abstract .....                                                                                                                                                                                  | 12     |
| Introdução .....                                                                                                                                                                                | 13     |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                                                        | 14     |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                                                    | 18     |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                                | 27     |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                                                         | 27     |
| Composição Químico-Bromatológica, Produção de Gás,<br>Digestibilidade <i>In Vitro</i> da Matéria Seca e NDT Estimado da Silagem<br>de Sorgo com Diferentes Proporções de Panículas.....         | 29     |
| Resumo .....                                                                                                                                                                                    | 29     |
| Abstract .....                                                                                                                                                                                  | 30     |
| Introdução .....                                                                                                                                                                                | 31     |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Material e Métodos .....                                                                                                                                        | 33 |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                    | 36 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                | 44 |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                         | 45 |
| Consumo e Digestibilidade em Bovinos Alimentados com Dietas à Base de Silagens de Milho e de Capim-Elefante e de Feno de Capim Tifton-85.....                   | 47 |
| Resumo .....                                                                                                                                                    | 47 |
| Abstract .....                                                                                                                                                  | 48 |
| Introdução .....                                                                                                                                                | 49 |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                        | 51 |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                    | 55 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                | 63 |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                         | 63 |
| Eficiência Microbiana e Parâmetros Ruminais em Bovinos Alimentados com Dietas à Base de Silagens de Milho e de Capim-Elefante e de Feno de Capim Tifton-85..... | 66 |
| Resumo .....                                                                                                                                                    | 66 |
| Abstract .....                                                                                                                                                  | 67 |
| Introdução .....                                                                                                                                                | 68 |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                        | 70 |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                    | 72 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                | 80 |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                         | 80 |
| Taxas de Digestão das Frações Protéicas e de Carboidratos para as Silagens de Milho e de Capim-Elefante, o Feno de Capim Tifton-85 e o Farelo de Soja.....      | 83 |
| Resumo .....                                                                                                                                                    | 83 |
| Abstract .....                                                                                                                                                  | 84 |
| Introdução .....                                                                                                                                                | 85 |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                        | 87 |

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                                                       | 88  |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                                   | 96  |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                                                            | 97  |
| Estimação da Digestão Total e Ruminal da Matéria Seca e<br>Carboidratos, e do Fluxo de Compostos Nitrogenados Microbianos no<br>Abomaso por Intermédio de Métodos <i>In Vitro</i> : Validação..... | 99  |
| Resumo .....                                                                                                                                                                                       | 99  |
| Abstract .....                                                                                                                                                                                     | 100 |
| Introdução .....                                                                                                                                                                                   | 101 |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                                                           | 103 |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                                                       | 105 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                                   | 112 |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                                                            | 113 |
| Estimação da Digestibilidade e Excreção Fecal em Bovinos por<br>Intermédio de Indicadores Internos e Externos.....                                                                                 | 115 |
| Resumo .....                                                                                                                                                                                       | 115 |
| Abstract .....                                                                                                                                                                                     | 116 |
| Introdução .....                                                                                                                                                                                   | 117 |
| Material e Métodos .....                                                                                                                                                                           | 118 |
| Resultados e Discussão .....                                                                                                                                                                       | 120 |
| Conclusões .....                                                                                                                                                                                   | 123 |
| Literatura Citada .....                                                                                                                                                                            | 123 |
| CONCLUSÕES GERAIS.....                                                                                                                                                                             | 124 |

## RESUMO

CABRAL, Luciano da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro*.** Orientador: Sebastião de Campos Valadares Filho. Conselheiros: Rogério de Paula Lana e Marcelo Teixeira Rodrigues.

O presente trabalho teve os seguintes objetivos: (1) determinar as alterações na composição químico-bromatológica e nas frações protéicas e de carboidratos, determinar as taxas de digestão das frações de carboidratos e avaliar o valor nutricional de silagens de milho e de sorgo, com diferentes proporções de grãos e panículas, respectivamente, por meio da técnica de produção de gases e da digestibilidade *in vitro* da matéria seca e, estimar o teor em nutrientes digestíveis totais (NDT); (2) determinar o consumo e a digestibilidade aparente total e parcial dos nutrientes em bovinos alimentados com dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85; (3) determinar a eficiência microbiana e parâmetros ruminais em bovinos alimentados com dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85; (4) determinar as taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante, o feno de capim tifton-85 e o farelo de soja; (5) validar as estimativas relativas à digestão total da matéria seca, à digestão ruminal dos carboidratos totais, digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos e do fluxo de compostos nitrogenados (N) microbianos no abomaso pela utilização da técnica de produção de gases e (6) determinar a digestibilidade e a excreção fecal em bovinos por intermédio de indicadores internos e externos. As

silagens de milho e de sorgo foram confeccionadas em silos de PVC com proporções de zero, 15, 30, 45 e 60% de grãos e, zero, 20, 40, 60, 80 e 100% de panículas, respectivamente. Foram determinados nas silagens de milho e sorgo, bem como nos alimentos avaliados na experimentação *in vivo*, os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), carboidratos totais (CT), fibra em detergente neutro (FDN), FDN corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), lignina, compostos nitrogenados não protéicos (NNP), proteína solúvel em detergente neutro (B1+B2), nitrogênio insolúvel nos detergentes neutro (NIDN) e ácido (NIDA), carboidratos não fibrosos (CNF), FDN potencialmente digestível (fração B2) e indigestível (fração C). As taxas de digestão das frações dos carboidratos foram estimadas por intermédio da técnica de produção de gás *in vitro*, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca por meio da técnica de dois estágios, o NDT por meio das equações do NRC (2001) e, as taxas de digestão das frações protéicas dos alimentos utilizados na experimentação *in vivo* foram estimadas pela incubação com proteases ruminais. A experimentação *in vivo* foi realizada por meio da utilização de seis bovinos, fistulados no rúmen e abomaso, distribuídos em delineamento em quadrado latino 3x3 duplo, para avaliação de dietas à base de silagens de silagem de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85, as quais foram suplementadas com 10% de farelo de soja. Cada período experimental constou de 18 dias, sendo os 10 primeiros destinados à adaptação dos animais às dietas, seis dias para determinação do consumo e digestibilidade aparente total e parcial dos nutrientes, onde foram coletadas amostras de sobras, digesta abomasal e de fezes; no 17<sup>o</sup> dia foi determinado pH ruminal e coletadas amostras de fluido ruminal antes da alimentação e 2, 4 e 8 horas após, para a determinação da concentração N-NH<sub>3</sub>; e no último dia de cada período, foi coletado conteúdo ruminal para isolamento e determinação da composição microbiana. A excreção fecal e o fluxo de matéria seca no abomaso foram determinados pela utilização da FDN indigestível (FDNI) como indicador, a qual foi determinada nas amostras dos alimentos, sobras, fezes e de digesta abomasal e, o fluxo de compostos microbianos no abomaso foi determinado pela utilização das bases purinas como

indicador microbiano. Para avaliação da FDN indigestível (FDNI), da fibra em detergente ácido indigestível (FDAI) e do cromo como indicadores da excreção fecal e da digestibilidade aparente, a FDNI e a FDAI foram determinadas *in vitro* após 144 horas de incubação, tendo como referência, a coleta total, realizada durante três dias nos dois últimos períodos do experimento. Os dados relativos às silagens de milho e sorgo com diferentes proporções de grãos e panículas, respectivamente, foram avaliados por meio de análise de regressão; os dados de consumo, digestibilidade aparente total e parcial dos nutrientes e eficiência microbiana foram avaliados por meio de análise de variância; os dados relativos ao pH e à concentração de N-NH<sub>3</sub> ruminal foram analisados pelo esquema de parcelas subdivididas, tendo nas subparcelas o tempo de coleta; a validação das predições relativas à degradação ruminal dos carboidratos totais, da digestão total da matéria seca, da digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos e do fluxo de compostos nitrogenados microbianos no abomaso, obtidos por intermédio das estimativas oriundas da técnica de produção de gases, foi feita pela regressão dos valores preditos sobre os observados, sendo as estimativas dos parâmetros da regressão  $\beta_0$  e  $\beta_1$  testados de modo a identificar se as estimativas foram subestimadas ou superestimadas, por intermédio de análise de regressão linear simples; a comparação dos indicadores foi feita por meio de análise de regressão dos valores preditos sobre os observados e análise de variância pelo teste de Dunnett. O acréscimo de grãos à silagem de milho aumentou linearmente a MST, PB e CNF e, reduziu a MM, FDN, FDA e lignina. O NNP e as frações B<sub>3</sub> e C da PB da silagem de milho variaram de 34,04 a 54,62%, de 6,63 a 2,61 e de 7,83 a 1,32% da PB. Os teores dos CNF e das frações B<sub>2</sub> e C dos carboidratos totais foram influenciados linearmente pela adição de grãos à silagem de milho, as quais variaram de 153,55 a 585,10, 489,57 a 203,29 e de 233,50 a 85,51 g/kg de MS, respectivamente. As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> foram quadraticamente afetadas, apresentando valores máximos de 0,2723 e 0,02771 h<sup>-1</sup>, para as silagens com 40,08 e 14,57% de grãos, respectivamente. O volume final de gás, a DIVMS e o NDT aumentaram linearmente em função da porcentagem de grãos à silagem de milho, os quais variaram de 20,03 a 28,47

mL, de 62,19 a 83,21% e de 56,08 a 81,40%, respectivamente. O acréscimo de panículas à silagem de sorgo aumentou linearmente os teores de MS, PB, CNF, EE e lignina e reduziu os teores de MM e FDN. O NNP e as frações B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C variaram de 9,19 a 21,24, de 67,63 a 75,98, de 3,85 a 6,09 e de 5,09 a 10,98% do N total. Os teores dos CNF aumentaram linearmente e da fração B<sub>2</sub> dos carboidratos totais foram reduzidos pela adição de panículas à silagem de sorgo, os quais variaram de 208,18 a 564,07 e de 381,29 a zero g/kg de MS, respectivamente. As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> variaram de 0,1358 a 0,1563h<sup>-1</sup> e de 0,0247 a 0,0294 h<sup>-1</sup>. O volume final de gás não foi influenciado pela adição de panículas, variando de 23,09 a 25,26 mL e, a DIVMS máxima de 69,52% foi obtida com 60,10% de panículas. Embora o NDT estimado tenha aumentado linearmente com o acréscimo de panículas, considerando a não alteração da produção de gás e o comportamento quadrático da DIVMS, pode-se inferir que a utilização destas estimativas não parecem ser adequadas. Na experimentação *in vivo*, embora as dietas à base de silagem de milho e de feno de capim tifton-85 não tenham apresentando diferenças quanto à ingestão de matéria seca, a primeira permitiu maior ingestão de nutrientes digestíveis totais. A dieta de feno de capim tifton-85 apresentou maior consumo de FDN (4,52 kg/dia), enquanto a dieta de silagem de milho resultou em maior ingestão de carboidratos não fibrosos (1,95 kg/dia). A dieta de silagem de milho apresentou maior digestão aparente total da matéria seca (66,3%), da matéria orgânica (68,9%), da fibra em detergente neutro (55,7%) e dos carboidratos totais (68,2%). O rúmen foi o principal local de digestão dos carboidratos totais e da FDN para todas as dietas. Foi verificada uma relação inversa entre a digestibilidade total da matéria seca e a ingestão de FDN e, desta forma, pode-se inferir que essa fração possa ser utilizada na estimação da digestibilidade de gramíneas tropicais. As dietas à base de silagem de milho e feno de capim tifton-85 proporcionaram maior fluxo de compostos nitrogenados no abomaso. As bactérias isoladas do rúmen apresentaram em média 8,89% de N total e 18,40 para a relação N-RNA:N-total. A dieta à base de silagem de milho proporcionou maior degradação ruminal da matéria orgânica (2,96 kg/dia) e dos carboidratos

totais (3,07 kg/dia) e maior fluxo de massa microbiana no abomaso (788,28 g/dia). As dietas à base de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante apresentaram maior eficiência microbiana, cujos valores foram 28,10 e 30,39 g de N microbiano/kg de carboidratos degradados no rúmen. A dieta à base de silagem de milho proporcionou menores concentrações de N-NH<sub>3</sub> e pH ruminal em função do tempo após a alimentação o que, possivelmente, afetou negativamente a eficiência microbiana. As silagens de milho e de capim-elefante destacaram-se pela maior proporção dos seus compostos nitrogenados (N) na forma de NNP, o feno de capim tifton-85 destacou-se pela elevada proporção de PSDN e de fração B3 e, o farelo de soja pela elevada proporção de PSDN (B1+B2). Quanto às frações dos carboidratos (% dos CT), a silagem de milho e o farelo de soja destacaram-se pela elevada proporção de CNF (37,05 e 75,75%), e o feno de capim tifton-85 e a silagem de capim-elefante pelo elevado teor das frações B2 (51,20 e 51,70%) e C (41,77 e 33,56%). As taxas de digestão das frações PSDN (B1+B2) e B3 da PB variaram de 0,0469 a 0,1512 h<sup>-1</sup> para o farelo de soja e silagem de capim-elefante e de 0,0081 a 0,0757 h<sup>-1</sup> para o feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante, respectivamente. As taxas de digestão estimadas para os CNF e a fração B2 variaram de 0,1294 a 0,1905 h<sup>-1</sup> e de 0,0254 a 0,0300 h<sup>-1</sup> para o feno de capim tifton-85 e a silagem de milho, respectivamente. As estimativas foram acuradas na predição da digestão ruminal dos carboidratos totais, da digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos e do fluxo de N microbiano no abomaso. A digestão aparente total da matéria seca também foi acuradamente predita pela diferença entre o gás da dieta e das fezes. A excreção fecal e a digestibilidade aparente da matéria seca foram acuradamente preditas a partir do cromo e da FDNI, entretanto, com a utilização da FDAI, houve subestimação da digestibilidade e superestimação da excreção fecal para a dieta contendo feno de capim tifton-85.

## ABSTRACT

CABRAL, Luciano da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, february, 2002. **Evaluation of feeds for ruminants by *in vivo* and *in vitro* procedures.** Adviser: Sebastião de Campos Valadares Filho. Committee Members: Rogério de Paula Lana and Marcelo Teixeira Rodrigues.

The present work had the following objectives: (1) to determine the chemical composition and protein and carbohydrates fractions alteration, to determine the digestion rate of carbohydrate fractions and to evaluate the nutritional value of corn and sorghum silages with different grains and steam+leaf/head proportions, respectively, by *in vitro* gas production technique and *in vitro* dry matter digestibility and to estimate the content of total digestible nutrients (TDN); (2) to determine the intake and the total apparent and partial digestibility of nutrients in cattle fed diets based on corn silage, tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage; (3) to determine the microbial efficiency and ruminal parameters of cattle fed diets based with corn silage, tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage; (4) to determine the digestion rates of protein and carbohydrates fractions for the corn silage, the tifton-85 bermudagrass hay, elephant-grass silage and soybean meal; (5) to validate the estimates of total dry matter digestion, ruminal digestion of total carbohydrate, total and ruminal digestion of fiber carbohydrates and microbial nitrogen compounds in the abomasum by the gas production technique and (6) to determine the digestibility and faecal excretion in cattle by internal and external markers. The corn and sorghum silages were done in silos of PVC with zero, 15,

30, 45 and 60% of grains and zero, 20, 40, 60, 80 and 100% of steam+leaf/head, respectively. The content of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, total carbohydrates (TC), neutral detergent fiber (NDF), NDF corrected for ash and protein (NDFcp), lignin, non-protein nitrogen compounds (NPN), neutral detergent soluble protein (NDSP), neutral and acid detergent insoluble protein (NDIN and ADIN), non fiber carbohydrates, potentially digestible (B2) and indigestible (C) NDF were determined in corn and sorghum silages, as well in the feeds evaluated in *in vivo* experimentation. The digestion rate of carbohydrate fractions were estimated by *in vitro* gas production technique, the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) by two-stage technique, the TDN by NRC (2001) equations and the digestion rate of protein fractions of feeds utilized in the *in vivo* experimentation by ruminal proteases incubation. The *in vivo* experimentation was realized by utilization of six rumen and abomasum fistulated cattle arranged in a double 3x3 latin square, in order to evaluate diets based on corn silage, tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage supplemented with 10% of soybean meal (in dry matter). Each experimental period had duration of 18 days, in which the 10 first days were destined for animal adaptation to the diets, the next six days for determination of intake and apparent total and partial digestibilities of nutrients by collection of orts, abomasal digesta and faecal samples; in 17th day for determination of ruminal pH and samples collection of ruminal fluid before and 2, 4 and 8 hours after feeding for N-NH<sub>3</sub> concentration determination; and in the 18th day of each period for collection of ruminal content for isolation and microbial composition determination. The fecal excretion and the dry matter flow in the abomasum were determined by the utilization of indigestible NDF (INDF) as marker, being determined in samples of feeds, orts, faeces and abomasal digesta, and the microbial compounds flow in the abomasum was determined by utilization of purinas as microbial marker. For evaluation of INDF, IADF and chrome as markers of faecal excretion and apparent digestibility, the INDF and IADF were determined *in vitro* after 144 hours of incubation, having as reference the total collection, realized during three days in the last two periods. The data related to

corn and sorghum silage with different grains and steam+leaf/proportions were evaluated by regression analysis; the intake, total apparent and partial digestibilities of nutrients and microbial efficiency were evaluated by variance analysis; the data related to pH and ruminal N-NH<sub>3</sub> concentration were evaluated by split plot design, with time of sampling as subplot; the validation of predictions related to total carbohydrates ruminal degradation, total dry matter digestion, total and ruminal digestion of fiber carbohydrates and microbial nitrogen compounds flow in the abomasum obtained by estimatives from *in vitro* gas production technique was realized by regression of predicted values over the observed values. The estimative of the regression parameters  $\beta_0$  and  $\beta_1$  were tested for identifying if the estimatives were under or overestimated by analysis of simple linear regression. The comparison of markers was realized by regression analysis of predicted values over the observed values and by variance analysis using Dunnett test. The addition of grains in the corn silage increased linearly the total DM, CP and NFC and reduced the ash, NDF, ADF and lignin. The NPN and the B3 and C protein fractions of corn silage ranged from 34.04 to 54.62%, from 6.63 to 2.61 and from 7.83 to 1.32% of CP. The content of NFC and of B2 and C fractions of TC were linearly influenced by grains addition in the corn silage, that ranged from 153.55 to 585.10, from 489.57 to 203.29 and from 233.50 to 85.51g/kg of DM, respectively, for silage with zero and 60% of grains. The digestion rates of NFC and B2 fraction of TC were quadratically affected, presenting maximum values of 0.2723 and 0.02771 h<sup>-1</sup>, for corn silage with 40.08 and 14.57% of grains, respectively. The total gas production, IVDMD and estimated TDN linearly increased in function of grains percentage in the corn silage, that ranged from 20.03 to 28.47 mL, from 62.19 to 83.21% and from 56.08 to 81.40%, respectively. The addition of steam+leaf/head in the sorghum silage increased linearly the amounts of DM, CP, NFC, EE and lignin and reduced the ash and NDF. The NPN and B1+B2, B3 and C nitrogen fractions ranged from 9.19 to 21.24, from 67.63 to 75.98, from 3.85 to 6.09 and from 5.09 to 10.98% of total N. The contents of NFC increased linearly and of B<sub>2</sub> fraction of total carbohydrates reduced by addition of steam+leaf/head in sorghum silage,

that ranged from 208.18 to 564.07 and from 381.29 to zero g/kg of DM, respectively. The digestion rates of NFC and of B<sub>2</sub> fraction ranged from 0.1358 to 0.1563h<sup>-1</sup> and from 0.0247 to 0.0294 h<sup>-1</sup>. The total gas production was not affected by steam+leaf/head addition ranging from 23.09 to 25.26 mL, and the maximum IVDMD from 69.52% was obtained with 60.10% of steam+leaf/head. Even though he estimated TDN had increased linearly with the steam+leaf/head addition, considering the non alteration in total gas production and the quadratical behaviour for IVDMD, it can be inferred that the utilization of these estimatives are not correct. In the *in vivo* experimentation, despite of the corn silage and tifton-85 bermudagrass hay diets had not presented differences for the dry matter intake, the first allowed higher intake of total digestive nutrients. The tifton-85 bermudagrass hay diet presented the highest NDF intake (4.52 kg/day), while corn silage diet resulted in the highest NFC intake (1.95 kg/day). The corn silage diet presented the highest total apparent digestibility of dry matter (66.3%), organic matter (68.9%), NDF (55.7%) and total carbohydrates (68.2%). The rumen was the main site of digestion of total carbohydrates and NDF for all diets. It was verified a inverse relationship between the total dry matter digestibility and the INDF intake, and therefore, it can be inferred that this fraction may be utilized in the digestibility estimation of tropical grasses. The corn silage and tifton-85 bermudagrass hay diets provided the highest nitrogen compounds flow in the abomasum. The isolated rumen bacteria presented average of 8.89% of total N and 18.40 for the N-RNA:N-total relation. The corn silage diet provided the highest ruminal degradation of organic matter (2.96 kg/day) and total carbohydrate (3.07 kg/day) and the highest microbial mass flow in the abomasum (788.28 g/day). The tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage diets presented the highest microbial efficiency, with values of 28.10 and 30.39 g of microbial N/kg of rumen degraded carbohydrate. The corn silage diet provided the smallest N-NH<sub>3</sub> concentration and ruminal pH in function of time after feeding, possible affecting negatively the microbial efficiency. The corn silage and the elephant-grass silage presented the highest NPN proportions in the CP, the tifton-85 bermudagrass hay presented the highest NDSP proportion

and B3 fraction and the soybean meal the highest NDSP proportion. For the carbohydrate fractions, the corn silage and the soybean meal presented the largest NFC proportion, whose values were 37.05 and 75.75%, and the tifton-85 bermudagrass hay and the elephant-grass silage presented the highest content of B2 and C fractions, whose values were 51.20 and 51.70% and 41.77 and 33.56%, respectively. The digestion rates of NDSP and of B3 fraction of CP ranged from 0.0469 to 0.1512 h<sup>-1</sup> for the soybean meal and elephant-grass silage and from 0.0081 to 0.0757 h<sup>-1</sup> for the tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage, respectively. The estimated digestion rate of NFC and B2 fraction of TC ranged from 0.1294 to 0.1905 h<sup>-1</sup> and from 0.0254 to 0.0300 h<sup>-1</sup> for the tifton-85 bermudagrass hay and corn silage, respectively. The estimates were accurate in prediction of ruminal digestion of total carbohydrates, total and ruminal digestion of fiber carbohydrates and microbial nitrogen flow in the abomasum. The total apparent dry matter digestion also was predicted accurately by difference between diet and faeces gas production. The fecal excretion and the apparent digestibility of dry matter were predicted accurately by chrome and INDF, however, with the IADF utilization, there was underestimation of digestibility and overestimation of faecal excretion for the tifton-85 bermudagrass hay diet.

## **1. INTRODUÇÃO**

Dentre as causas da baixa produtividade dos rebanhos nacionais, as deficiências nutricionais respondem com a maior parcela de contribuição, pois, embora as gramíneas tropicais apresentem maior eficiência fotossintética que as temperadas e, conseqüentemente, maior produção de massa verde por hectare, estas apresentam menor valor nutricional (VAN SOEST, 1994). Adicionalmente, em decorrência da estacionalidade na produção das forrageiras no Brasil, ocorre redução da disponibilidade e qualidade destas, contribuindo ainda mais para o agravamento dessa situação.

Para que se atinja o potencial produtivo, ou seja, a produção de leite ou ganho de peso dos animais, a concentração em nutrientes disponíveis da dieta deve atender os requisitos destes para as atividades de manutenção e produção, sendo, a energia e a proteína os mais limitantes. Desta forma, tornam-se necessários estudos para determinação das exigências nutricionais para as diversas atividades produtivas, bem como a composição dos alimentos em termos de energia e proteínas. As exigências nutricionais dos ruminantes têm normalmente sido calculadas com base nos sistemas nutricionais americano (NRC, 1989; NRC, 1996; NRC, 2001) e britânico (ARC, 1965; AFRC, 1993), que embora tenham sido confeccionados para animais de raças diferentes das criadas no Brasil, a sua utilização parece não induzir a erros expressivos, salvo sob condições de pastejo, onde as exigências de manutenção podem ser aumentadas em até 120% (VAN SOEST, 1994).

Contrariamente, a utilização de tabelas de composição de alimentos oriundas de países tais como, os EUA e os do Reino Unido, não é adequada, devido à grande discrepância existente no valor nutricional entre os alimentos oriundos daqueles países e as gramíneas tropicais utilizadas na alimentação dos ruminantes no Brasil. Desta forma, o conhecimento do valor nutricional é de fundamental importância na adequação dietética, objetivando-se o atendimento dos requisitos para as atividades produtivas em questão. Neste contexto, a disponibilidade de energia merece destaque, uma vez que é o principal fator limitante à produção.

Nos sistemas predominantes no Brasil, a produção de ruminantes baseia-se na utilização de volumosos, os quais apresentam elevado teor de fibra. Esta última, representada pelos polímeros da parede celular vegetal, ou carboidratos fibrosos (CF), celulose e hemicelulose, juntamente com a lignina, apresentam lenta taxa de degradação nos compartimentos fermentativos dos ruminantes, ocupam espaço no trato gastrointestinal (TGI) e apresentam disponibilidade incompleta e variável (VAN SOEST, 1967; MERTENS, 1996). Estes polissacarídeos são a principal fonte de variação na disponibilidade de energia das forrageiras, uma vez que representam a maior reserva da energia fotossintética nestas plantas, sendo a espécie forrageira e a idade da planta, os principais que afetam a disponibilidade de energia (MERTENS, 1993).

A quantidade total de energia (EB) de um alimento pode ser mensurada facilmente por meio de bomba calorimétrica, entretanto, a variação na digestibilidade e no metabolismo entre os alimentos, impede o uso da EB para a formulação de dietas ou comparação de alimentos (WEISS, 1993). Dentre as fontes de variação, destacam-se: o animal, o alimento e os fatores dietéticos. A energia disponível dos alimentos pode ser expressa como energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida (EL) e nutrientes digestíveis totais (NDT). A ED ou NDT são determinados por meio de ensaios de digestão; a EM por meio de ensaios de metabolismo, onde se mensura as perdas de energia na forma de metano e através da excreção urinária; e a EL é determinada através de estudos de calorimetria. Embora, a EL seja a forma mais correta de expressar a energia útil dos alimentos, por ser a sua determinação de elevado custo e labor e, por ser a energia perdida nas fezes, a maior e mais variável dentre todas as perdas de um alimento, o conhecimento da ED ou NDT é de fundamental importância, uma vez que

os valores de EL são, em sua maioria, estimados a partir do NDT (NRC, 1989; WEISS, 1993; NRC, 1996; NRC, 2001).

O sistema de análise proximal de Weende, tem sido a base para a determinação dos nutrientes digestíveis totais (NDT) dos alimentos por mais de um século. Originalmente, o NDT tem sido calculado pela seguinte expressão:  $NDT (\%) = PBD + EED * 2,25 + FBD + ENND$ , onde, PBD, representa a proteína bruta digestível; EED, o extrato etéreo digestível; FBD, a fibra bruta digestível e ENND, o extrativo não-nitrogenado digestível. Entretanto, a utilização desta equação, principalmente para os alimentos utilizados na alimentação dos ruminantes, apresenta sérias limitações. Pois, a análise de FB, a qual foi desenvolvida para determinação do conteúdo dos componentes da parede celular vegetal, os quais são resistentes à digestão pelas enzimas dos mamíferos, solubiliza parte da hemicelulose e lignina, sendo estes, inclusos no ENN. Desta forma, o ENN, o qual deveria representar o conteúdo celular, cuja digestibilidade é quase que completa no trato gastrintestinal, neste sistema, apresenta digestibilidade aparente inferior à FB, para muitos alimentos (VAN SOEST, 1994). Adicionalmente, o fator de correção do valor energético do EE de 2,25 superestima a sua contribuição energética, uma vez que no EE, além de lipídeos, outros compostos estão presentes, tais como carotenos, xantofilas, bem como outras substâncias solúveis em éter.

VAN SOEST (1967), baseado no conceito de entidade nutricional ideal de Lucas (1964), citado por VAN SOEST (1994), desenvolveu o sistema de detergentes, por meio do qual, foi possível separar os constituintes da parede celular daqueles do conteúdo celular, cujos valores de fibra em detergente neutro (FDN), foram semelhantes aos observados por Einhof (1808) citado por VAN SOEST (1994) e superiores aos valores de FB. Portanto, a classificação dos carboidratos em FDN e fração solúvel em detergente neutro (SDN), soluciona o problema da utilização da FB, pois, os carboidratos são agora separados em completamente disponíveis e com disponibilidade incompleta. Com isso, a FB foi abolida dos protocolos de análises de alimentos, particularmente os dos ruminantes.

A determinação da digestibilidade ou do NDT dos alimentos requer a utilização de animais, o que é muito laborioso e apresenta elevado custo (WEISS, 1993). Portanto, existe uma constante busca no desenvolvimento de métodos para sua estimação, a qual tem sido feita, normalmente, por intermédio de métodos químicos ou biológicos. Os métodos químicos baseiam-

se em equações de regressão, as quais normalmente, utilizam a fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) ou neutro (FDN). A primeira limitação da utilização da FDA, concerne à necessidade de diferentes equações para cada grupo de alimentos, ou seja, equações distintas são utilizadas para gramíneas, leguminosas, silagens ou concentrados, pois a FDA não é uma fração uniforme entre os alimentos (WEISS, 1993).

A utilização da FDN na estimação da digestibilidade tem o mesmo problema da FDA, uma vez que também não é uma fração uniforme, mas, a utilização da fração solúvel em detergente neutro (SDN), por ser uniforme, com digestibilidade constante entre e dentre alimentos, tem embasamento teórico (GOERING e VAN SOEST, 1970). GOERING e VAN SOEST (1970) desenvolveram uma equação, na qual o alimento é dividido em SDN (100% disponível) e FDN potencialmente digestível. A limitação desta equação é que a FDN potencialmente digestível não pode ser mensurada quimicamente, sendo então estimada a partir da FDA e lignina. Esta relação entre lignina e FDN potencialmente digestível pode ser acurada para forrageiras temperadas, entretanto, para gramíneas tropicais, tem subestimado a fração indigestível da fibra. Isto decorre, provavelmente, pelo fato de que nestas espécies, somente o aspecto químico não explica a indigestibilidade da fibra e, desta forma, os aspectos físicos e anatômicos da parede celular devem ser considerados (WILSON, 1994; WILSON e MERTENS, 1995; JUNG e DEETZ, 1993).

No NRC (2001), o teor de NDT dos alimentos, em nível de manutenção, é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$\text{NDT (\%)} = \text{CNFD} + \text{PBD} + \text{AGD} * 2,25 + \text{FDND} - 7,$$

onde, CNFD, representa os carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis (CNF do alimento \* 0,98); PBD, representa a PB verdadeiramente digestível ( $\text{PB} * \exp[-1,2 * (\text{PIDA}/\text{PB})]$ ), para forragens e, concentrados  $[1 - (0,4 * (\text{PIDA}/\text{PB})) * \text{PB}]$ ; AGD, representa os ácidos graxos verdadeiramente digestíveis ( $\text{EE} - 1$ ); FDND, representa a FDN digestível ( $0,75 * (\text{FDNp} - \text{Lignina}) * [1 - (\text{lignina}/\text{FDNp})^{0,667}]$ ), e, -7, representa o NDT metabólico fecal. A estimação da digestibilidade da FDN através da lignina, tem superestimado a disponibilidade desta fração, principalmente para gramíneas tropicais. Desta forma, a utilização de ensaios biológicos deve ser preferida para esta finalidade. No NRC (2001), é sugerido como alternativa para determinação da digestibilidade da FDN, a incubação *in vitro* durante 48 horas. Entretanto, este tempo de incubação pode subestimar a

digestibilidade da FDN de gramíneas tropicais, as quais apresentam lenta taxa de digestão e elevado tempo de retenção nos compartimentos fermentativos dos ruminantes. Considerando que algumas fontes protéicas de origem animal não possuem celulose, hemicelulose ou lignina, mas apresentam substanciais quantidades de resíduo insolúvel em detergente neutro, sugere-se a seguinte equação para a estimação do NDT destes alimentos:  $NDT = PB \text{ digestível} * PB + AG * 2,25 + 0,98 * (100 - PB - MM - EE) - 7$ .

Embora a digestibilidade e, conseqüentemente o NDT, sejam função das características intrínsecas dos alimentos, determinadas pela composição de seus polímeros (parede celular), bem como dos aspectos físicos e anatômicos, os fatores extrínsecos exercem grande influência sobre o valor energético (MERTENS, 1993). Neste contexto, o nível de ingestão de alimentos, merece destaque, uma vez que o seu incremento, por aumentar a taxa de passagem das partículas no TGI, tende a reduzir a digestibilidade e o valor energético dos alimentos (TYRRELL e MOE, 1975). Desta forma, como o teor de NDT dos alimentos é determinado em nível de manutenção, algumas correções têm sido sugeridas em função do nível de ingestão. O NRC (1989) sugere que o NDT dos alimentos, ou da dieta, seja reduzido em 4% para cada múltiplo acima do nível de manutenção. Entretanto, o NRC (2001), usa a seguinte equação:  $DNDT = [(NDTm - [(0,18 * NDTm) - 10,3]) * NI] / NDTm$ , onde DNDT, representa o desconto no NDT, e NDTm, o NDT em nível de manutenção e, NI, o nível de ingestão. Desta forma, a redução no NDT em função da ingestão não é constante, pois, aumenta a uma taxa decrescente com o aumento do NDTm da dieta.

A utilização da equação acima implica que uma dieta com 57,2% de NDTm não apresentaria redução no NDT com o aumento do nível de ingestão. Entretanto, deve ser salientado que a maioria das dietas utilizadas para a obtenção desta equação, apresenta NDT muito superior ao dos volumosos tropicais e, das dietas as quais estes compõem a maior proporção da matéria seca ingerida. Desta forma, provavelmente, o comportamento do NDT em função do nível de ingestão seja diferente em nossas condições. Com base nisso, a obtenção de equações para as gramíneas tropicais é importante, bem como a verificação da acurácia dos métodos de estimação do NDT em função do nível de ingestão, principalmente para animais zebuínos, cuja literatura carece de dados.

Os métodos biológicos consistem da incubação dos alimentos com microrganismos do rúmen por intermédio de ensaios *in vitro* (TILLEY e TERRY, 1963; PELL e SCHOFIELD, 1993) ou *in situ* (ORSKOV e McDONALD, 1979; NOCEK, 1988), cujo desaparecimento da massa de amostra incubada ou os produtos finais da fermentação (células microbianas, ácidos graxos voláteis ou gases) são utilizados na avaliação. Os métodos convencionais (gravimétricos), por permitirem a exposição dos alimentos por longos períodos de tempo (96 horas), tendem a superestimar a digestibilidade e, não são sensíveis às alterações da digestibilidade em função do aumento da taxa de passagem, devido ao processamento ou aumento do nível de concentrados.

A técnica de produção de gases tem sido grandemente utilizada na avaliação de alimentos (PELL e SCHOFIELD, 1993, THEODOROU et al., 1994; MALAFAIA, 1997; CABRAL et al., 2000) para a estimação das taxas de digestão dos carboidratos fibrosos e não fibrosos, objetivando-se prever a degradação ruminal dos carboidratos totais, entretanto, ainda requer sua validação.

Embora, no CNCPS - *The Cornell Net Carbohydrate and Protein System*, o NDT seja estimado a partir da composição química da dieta, a utilização de conceitos mecanicistas a respeito da dinâmica dos nutrientes no trato gastrointestinal (TGI), permite a estimação mais acurada do valor energético dos alimentos em diferentes condições dietéticas. Neste sistema, os carboidratos totais (CT) e os compostos nitrogenados (N) são subdivididos em frações, as quais diferenciam-se quanto às características químicas, taxas de degradação ruminal, utilização pelos microrganismos do rúmen e digestão pós-ruminal.

Desta forma, o NDT é calculado com base nas frações de carboidratos e proteínas, considerando-se a sua degradação ruminal, que depende da sua taxa de digestão relativa a taxa de passagem e, da digestão intestinal dos carboidratos e proteínas que escapam à fermentação, bem como os de origem microbiana, aplicando-se coeficientes de digestão específicos (SNIFFEN et al., 1992). A síntese microbiana ruminal é função da sincronização entre a disponibilidade das diferentes frações de carboidratos e N no rúmen, uma vez que os microrganismos do rúmen diferenciam-se quanto aos carboidratos e N utilizados para crescimento, à taxa de crescimento e requisito de energia para manutenção (RUSSELL et al., 1992). Embora, vários trabalhos nos últimos anos no Brasil, tenham apresentado valores para o fracionamento dos carboidratos e proteínas, bem como de suas taxas de digestão,

nenhum desses verificou a acurácia destas estimativas na predição do valor energético dos alimentos. A validação de tais estimativas seria extremamente desejável, uma vez que consistem de métodos simples, pouco laboriosos e de baixo custo.

Do ponto de vista nutricional, os carboidratos podem ser classificados em carboidratos não fibrosos (CNF), representados pelos açúcares solúveis, amido e pectina, os quais apresentam disponibilidade nutricional rápida e constante entre os alimentos (98 a 100%), e carboidratos fibrosos (CF = FDN) (MERTENS, 1996; VAN SOEST, 1994). Considerando que os componentes fibrosos correspondem a maior proporção da matéria seca de gramíneas tropicais e, por serem estes de variável disponibilidade para os animais, pode-se inferir que estes são o principal fator de variação na disponibilidade de energia nestes alimentos. Desta forma, o desenvolvimento de métodos que possam predizer a sua disponibilidade no TGI, seria de importância fundamental na formulação de dietas, bem como na predição do desempenho.

Considerando que o rúmen-retículo é o principal sítio de digestão dos CF, e que a digestão nestes compartimentos é função da taxa de digestão relativa a taxa de passagem da digesta, a qual é governada pelas características intrínsecas da parede celular, a estimação de taxas de digestão acuradas permitiria predizer a digestão destes compostos no TGI.

Os requisitos em proteína metabolizável dos ruminantes são atendidos pela proteína dietética que escapa à fermentação ruminal que é digestível no intestino delgado e, pela proteína microbiana sintetizada no rúmen. Esta última, representa de 50 a 80% dos aminoácidos absorvidos no intestino delgado e, sua síntese, depende da disponibilidade de energia proveniente dos carboidratos dietéticos e da presença de compostos nitrogenados (N). Desta forma, a determinação da degradação ruminal da proteína dos alimentos é de importância fundamental na nutrição de ruminantes, pois permite adequar a disponibilidade de N e energia aos microrganismos, possibilitando com isso, estimular o crescimento microbiano, bem como reduzir as grandes perdas nitrogenadas decorrentes de dietas mal formuladas.

No NRC (2001) a degradação ruminal da PB é estimada pelo método *in situ*, onde esta, é dividida em três frações: fração A, representada pelos compostos nitrogenados solúveis em água no tempo zero, a qual é considerada como 100% degradada no rúmen; fração B, a qual é insolúvel em água, mas potencialmente

digestível, com degradação ruminal dependente de sua taxa de digestão ( $K_d$ ) e da taxa de passagem do rúmen ( $K_p$ ); e a fração C, indisponível no rúmen e intestinos. Já o CNCPS (SNIFFEN et al., 1992), subdivide o N em 5 frações (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C), e para as frações protéicas potencialmente digestíveis (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> e B<sub>3</sub>) sugere diferentes taxas de digestão, o que não é muito prático, principalmente para as gramíneas tropicais.

A identificação de somente uma fração potencialmente digestível e homogênea da PB (NRC, 2001) desconsidera a natureza distinta dos compostos nitrogenados que a compõem. Com isso, a separação desta fração B em N solúvel e insolúvel em detergente neutro, pode caracterizar melhor a proteína potencialmente digestível no rúmen, uma vez que são a principal forma na qual o N apresenta-se nas gramíneas tropicais. Desta forma, estudos *in vitro* ou *in situ* podem permitir a estimação dos parâmetros cinéticos de ambas as frações ao mesmo tempo, aumentando com isso a rapidez na obtenção dos resultados. Entretanto, tais estimativas para a degradação ruminal da PB devem ser confrontadas com os valores observados no animal, para sua validação.

Portanto, o presente trabalho objetivou determinar as alterações no valor nutricional de silagens de milho e de sorgo com o acréscimo de grãos por intermédio de métodos *in vitro*; determinar o consumo e a digestibilidade, a eficiência microbiana e parâmetros ruminais e, validar as estimativas relativas à digestão total e ruminal da matéria seca e carboidratos e do fluxo de compostos nitrogenados microbianos no abomaso obtidas *in vitro*, para bovinos, alimentados com dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85.

### **Literatura Citada**

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. **Energy and protein requirements of ruminants**. CAB International, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, 159p.

AGRICULTURAL AND RESEARCH COUNCIL - ARC. **The nutrient requirement of ruminant livestock**. n.2. Ruminants. H.M.S. Office, England, 1965. 264p.

CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações de carboidratos de alimentos volumosos e suas taxas de degradação estimadas

- pela técnica de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6 (suplemento 1), p.2087-2098, 2000.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Agric. Handbook No. 379. ARS-USDA, 1970. WASHINGTON, D.C.
- JUNG, H.G.; DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Ed) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Sci. Society of America, Soil Sci. Society of America, 1993. p.315-46.
- MALAFAIA, P.A.M. **Taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos de alimentos por técnicas “in situ”, “in vitro” e de produção de gases**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1997. 85p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- MERTENS, D.R. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall, structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy. 1993. p.535-570.
- MERTENS, D.R. Using Fiber and Carbohydrate Analyses to Formulate Dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, USA, *Proceedings...*1996. p.81-92.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 6. ed., Washington, DC, 1989. 157p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed., Washington, D.C., 1996. 242p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed., Washington, D.C., 2001.381p.
- NOCEK, J. *In situ* and other methods to estimate estimate ruminal protein and energy digestibility. A review. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2051, 1988.
- ORSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- RUSSELL, B.J.; O’CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: Ruminal Fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- SNIFFEN, C.J.; O’CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feed. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.

- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v.30, p.89, 1963.
- TYRRELL, H.F.; MOE, P.W. Effect of intake on digestibility efficiency. **Journal of Dairy Science**, v.58, p.1151-1163, 1975.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Ithaca: Cornel University Press, 1994. 476p.
- WEISS, P.W. SYMPOSIUM: PREVAILING CONCEPTS IN ENERGY UTILIZATION BY RUMINANTS. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1802-1811, 1993.
- WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants: review. **Journal of Agricultural Science**, v.122, n.2, p.173-182, 1994.
- WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. **Crop Science**, v.35, n.1, p.251-259, 1995.

**Cinética Ruminal das Frações de Carboidratos, Produção de Gás,  
Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca e NDT Estimado da Silagem de Milho  
com Diferentes Proporções de Grãos**

**RESUMO** – Foram objetivos do presente trabalho avaliar as alterações na composição bromatológica, nas frações nitrogenadas e de carboidratos, estimar a taxa de digestão dos carboidratos fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF), determinar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e estimar o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. As silagens foram confeccionadas com as seguintes proporções de grãos: 0, 15, 30, 45 e 60%. Foram determinados os teores de matéria seca (MS), compostos nitrogenados (N), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), bem como os compostos nitrogenados não protéicos (A), e as frações nitrogenadas B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C. Foram também determinados os teores dos carboidratos não fibrosos (CNF) e das frações potencialmente digestíveis (B<sub>2</sub>) e indigestíveis da FDN (C). As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> dos carboidratos totais foram estimadas por meio da técnica de produção de gases. Foi, ainda, realizada a DIVMS por meio da técnica de dois estádios e a estimação do NDT através da composição química. O acréscimo de grãos às silagens aumentou linearmente os teores de MS, N e CNF e reduziu a MM, FDN, FDA e lignina. O NNP e as frações B<sub>3</sub> e C variaram de 34,04 a 54,62%, de 6,63 a 2,61 e de 7,83 a 1,32% da PB. Os teores dos CNF e das frações B<sub>2</sub> e C dos carboidratos totais foram influenciados linearmente pela adição de grãos às silagens, as quais variaram de 153,55 a 585,10, 489,57 a 203,29 e de 233,50 a 85,51 g/kg de MS, respectivamente. As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> apresentaram comportamento quadrático, sendo os valores máximos estimados de 0,2723 e 0,02771 h<sup>-1</sup>, para as silagens com 40,08 e 14,57% de grãos, respectivamente. O volume final de gás, a DIVMS e o NDT estimado aumentaram linearmente em função da porcentagem de grãos, os quais variaram de 20,03 a 28,47 mL, de 62,19 a 83,21% e de 56,08 a 81,40%, respectivamente.

Palavras-chave: cinética, digestão, milho, silagem

## **Ruminal Kinetic of Carbohydrate Fractions, Gas Production, Dry Matter *In Vitro* Digestibility and Estimated TDN of Corn Silage with Different Grain Proportions**

**ABSTRACT** – The objectives of this work were to evaluate the changes in chemical composition the nitrogen and carbohydrate fractions, to estimate the digestion rate of non-fiber carbohydrate (NFC) and fiber carbohydrate (FC), to determine the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and to estimate the TDN of corn silage with different grain proportions. The silage were done in the following proportions: 0, 15, 30, 45 and 60% of grain. The amount of dry matter (DM), nitrogen compounds (N), ether extract (EE), ash, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), as well as the non-protein nitrogen compounds (NPN) and the B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and C nitrogen fractions were determined. The amount of non-fiber carbohydrate (NFC) and of potentially digestible (B<sub>2</sub>) and indigestible (C) fractions of NDF were also determined. The digestion rate of NFC and B<sub>2</sub> fraction of carbohydrates were estimated by mean of gas production technique. The IVDMD was determined by the two-stage technique and the TDN estimation by chemical composition. The addition of grain in the corn silage increased linearly DM, N and NFC and reduced ash, NDF, ADF and lignin. The NPN and B<sub>3</sub> and C fractions ranged from 34.04 to 54.62, from 6.63 to 2.61 and from 7.83 to 1.32% of the total N. The amount of the NFC and B<sub>2</sub> and C fractions of total carbohydrates were linearly influenced by grain addition in the corn silage, that ranged from 135.55 to 558.10, 489.57 to 203.29 and from 233.50 to 85.51 g/kg of DM. The digestion rate of the NFC and B<sub>2</sub> fraction were quadratically affected, with maximal estimated values of 0.2723 and 0.02771 h<sup>-1</sup>, for the silage with 40,08 and 14,57% of grains, respectively. The total gas production, IVDMD and TDN increased linearly as a function of grain percentage, that ranged from 20.03 to 28.47 mL, from 62.19 to 83.21% and from 56.08 to 81.40%, respectively.

Key words: corn silage, digestion, kinetic

## **Introdução**

Os carboidratos, nos vegetais, derivam do processo de fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico, no processo conhecido como ciclo de Calvin, exercido pelos seres fotoautotróficos, onde a energia luminosa é convertida em energia química durante a fotossíntese nas membranas tilacóides dos cloroplastos (BROCK et al., 1994). São nesses seres vivos que verificam-se a classe de compostos mais abundantes da biosfera, seja na forma de mono e dissacarídeos (glicose e sacarose), através dos quais a energia é translocada nas diversas partes da planta; como polímeros de reserva, tais como amido, frutanas e, principalmente, na forma de polissacarídeos da parede celular (celulose, hemicelulose), juntamente com a lignina, desempenhando funções de proteção e sustentação.

Para os herbívoros, os carboidratos são a principal fonte de energia, tanto diretamente, através da absorção de seus monômeros constituintes pelo trato digestivo, como indiretamente, pela sua conversão em ácidos graxos voláteis através da ação fermentativa de microrganismos. E ainda, suportam a síntese de proteína microbiana nos compartimentos fermentativos dos ruminantes, a qual é a principal fonte de aminoácidos disponíveis nos intestinos desses animais (VAN SOEST, 1994).

Do ponto de vista nutricional, os carboidratos podem ser classificados em carboidratos não fibrosos (CNF), ou conteúdo celular mais a pectina, e carboidratos fibrosos (CF) (MERTENS, 1996). Os primeiros apresentam disponibilidade nutricional rápida, completa e constante entre os alimentos (98 a 100%); já os CF (celulose e hemicelulose) os quais juntamente com a lignina compõem a parede celular vegetal, são lentamente digeridos, apresentam disponibilidade nutricional variável e ocupam espaço no trato gastrintestinal (VAN SOEST, 1967).

Nos trópicos, a existência de duas estações distintas, águas e seca, determina a abundância na produção de matéria seca em uma época e escassez extrema em outra. Consequentemente, o desempenho dos rebanhos fica limitado pela falta de oferta de alimentação na época seca do ano. Desta forma, o armazenamento do excedente de forragem proveniente da época das águas para o período da seca constitui em estratégia de grande impacto na viabilidade da atividade. Neste contexto, a ensilagem é ferramenta fundamental na conservação de alimentos, principalmente no Brasil, onde a fenação, é limitada por variáveis climáticas predominantes em grande parte do país. Entretanto, o valor nutricional do produto final é função, além das técnicas de ensilagem, da qualidade do material ensilado, que no caso da silagem de milho varia, principalmente, com a proporção de grãos. Normalmente, a adequação de dietas é feita considerando-se a composição química dos alimentos oriunda de valores médios de tabelas. No caso da silagem de milho, esta estratégia pode conduzir a sérios equívocos, uma vez que a porcentagem de grãos não é constante.

Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho determinar as alterações na composição químico-bromatológica e nas frações protéicas e de carboidratos, determinar as taxas de digestão das frações de carboidratos e avaliar o valor nutricional de silagens de milho confeccionadas com diferentes proporções de grãos por meio da técnica de produção de gases e da digestibilidade *in vitro* da matéria seca e, estimar o teor em nutrientes digestíveis totais.

### **Material e Métodos**

O milho (*Zea mays*), híbrido AG 1051, utilizado neste estudo foi cultivado em área do Departamento de Zootecnia da UFV-MG, cujo plantio foi realizado em outubro de 1998 de acordo as recomendações do fabricante de sementes. Como

adubação de plantio, foram aplicados 300 kg/ha de 8-28-16 (N-P-K) e, como adubação de cobertura aos 25 e 45 dias de plantio, 150 kg/ha da mistura 20-0-20 e 100 kg/ha de uréia, respectivamente. A colheita foi realizada de forma manual, por meio de um facão, à aproximadamente 10 cm do solo, quando os grãos atingiram o estágio farináceo-duro (110 dias), sendo as plantas em seguida, conduzidas ao laboratório de animais do DZO. Trinta plantas foram tomadas aleatoriamente, as quais foram separadas em duas partes: colmo+folhas e espigas, para determinação da proporção de cada parte na planta inteira. Em seguida, cada parte (colmo+folha e espigas) foi picada separadamente e ensilada em silos laboratoriais de PVC, de 40 x 10 cm, dotados de válvula de Bunsen, nas proporções de 0, 25, 50, 75 e 100% de espigas, com três repetições em um delineamento inteiramente casualizado. Para a determinação do teor de grãos nas espigas e na planta inteira, trinta espigas foram tomadas aleatoriamente e, separadas em palha, sabugo e grãos, sendo cada parte, pesada e seca a 55<sup>0</sup>C. Assim, os tratamentos foram constituídos de 0, 15, 30 ,45 e 60% de grãos. Os silos foram abertos um mês após a ensilagem e, nas amostras frescas, determinado o nitrogênio não-protéico (NNP), conforme BRODERICK (comunicação pessoal). O restante do material foi submetido à pré-secagem a 55 <sup>0</sup>C durante 72 horas e moagem em peneira com diâmetro de 1mm, para posterior análise de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE), conforme AOAC (1990). As análises de fibra insolúvel nos detergentes neutro (FDN) e ácido (FDA) foram feitas em autoclave conforme PELL e SCHOFIELD (1993) e, lignina conforme VAN SOEST et al. (1991). Os compostos nitrogenados insolúveis nos detergentes neutro (NIDN) e ácido (NIDA) foram determinados conforme LICITRA et al. (1996).

Os carboidratos totais (CT) foram determinados conforme SNIFFEN et al. (1992), sendo as suas frações: carboidratos fibrosos (CF), considerados como sendo

a FDN corrigida para o seu conteúdo em cinzas e proteínas (FDN<sub>cp</sub>); carboidratos não-fibrosos (CNF) obtido pela subtração da FDN<sub>cp</sub> dos CT; e a fração C, obtida pela FDN indigerível após 144 horas de incubação *in situ*. A fração B<sub>2</sub>, ou seja, fração disponível da fibra, foi obtida pela diferença entre a FDN<sub>cp</sub> e a fração C.

As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> dos CT foram estimadas pela técnica de produção de gases, conforme PELL e SCHOFIELD (1993) com algumas adaptações. As incubações foram realizadas em frascos de vidro com capacidade de 50 mL, onde foram pesados aproximadamente 100 mg de substrato. Aos frascos foram adicionados 8 mL de tampão de McDOUGAL (McDOUGAL, 1949) previamente reduzido com CO<sub>2</sub> (pH 6,9-7,0) e 2 mL de inóculo, proveniente de um bovino fistulado no rúmen, filtrado em camada dupla de gaze sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Imediatamente após, os frascos receberam tampa de borracha e lacre de alumínio. As leituras de pressão foram realizadas por meio de um sensor de pressão acoplado a um voltímetro, nos seguintes tempos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 e 72 horas. As leituras realizadas em volts foram convertidas para mL de gás conforme PELL e SCHOFIELD (1993). A cinética da produção cumulativa dos gases foi analisada empregando-se o modelo logístico bicompartimental (SCHOFIELD et al., 1994):

$$V(t) = Vf_1/(1+\exp(2-4*c_1*(T-L))) + Vf_2/(1+EXP(2-4*c_2*(T-L)))$$

no qual V(t) é o volume acumulado no tempo t; Vf<sub>1</sub>, o volume de gás oriundo da fração de rápida digestão (CNF); c<sub>1</sub> (h<sup>-1</sup>), a taxa de degradação da fração de rápida digestão (CNF); L, a latência; e T, o tempo (h); Vf<sub>2</sub>, o volume de gás da fração de lenta degradação (B<sub>2</sub>); c<sub>2</sub> (h<sup>-1</sup>), a taxa de degradação da fração B<sub>2</sub>.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi determinada pelo método de 2 estágios conforme TILLEY e TERRY (1963) e, o NDT em nível de manutenção, estimado conforme NRC (2001), a partir das seguintes equações:

$$\text{NDT} = \text{CNFD} + \text{PBD} + \text{FDND} + \text{AGD} \cdot 2,25 - 7$$

em que,  $\text{CNFD} = \text{CNF} \cdot 0,98$ ;

$$\text{PBD} = \text{PB} \cdot \text{EXP} (-1,2 \cdot (\text{PIDA}/\text{PB})) ;$$

$$\text{FDND} = 0,75 \cdot (\text{FDNp} - \text{Lig}) \cdot (1 - (\text{Lig}/\text{FDNp})^{0,667})$$

$\text{AGD} = \text{EE} - 1$  e  $7$ , refere-se ao NDT metabólico fecal,

onde, CNFD, representa os carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis; PBD, representa a PB verdadeiramente digestível; AGD, representa os ácidos graxos verdadeiramente digestíveis; FDND, representa a FDN digestível; Lig, representa a lignina, e,  $-7$ , representa o NDT metabólico fecal.

As análises estatísticas foram conduzidas segundo o delineamento inteiramente casualizado, segundo o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{(ij)}$$

Em que:

$\mu$  = constante geral;

$T_i$  = efeito relativo ao tratamento ou teor de espigas  $i$ , sendo  $i = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ ;

$E_{(ij)}$  = erro aleatório associado a cada observação, pressuposto NID  $(0, \sigma^2)$ .

As comparações entre médias foram realizadas por intermédio de análise de regressão linear, adotando-se  $\alpha = 0,05$ . A escolha de modelo se deu com base nos testes de significância para os coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e na ocorrência de falta de ajustamento. Os coeficientes de determinação ( $r^2/R^2$ ) foram expressos como a razão entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados total.

## Resultados e Discussão

De acordo com o aspecto visual, com o odor, com o pH das silagens e com o fato de que não foi verificada putrefação em qualquer das silagens, pode-se dizer que houve uma fermentação adequada das silagens.

A composição bromatológica da silagem de milho com proporções crescentes de grãos é apresentada na Tabela 1, considerando que a porcentagem média de grãos nas espigas foi de 60%. O acréscimo de grãos à silagem de milho acarretou aumento linear da MST, PB, e CNF e, redução da MM, FDN, FDA e lignina. A porcentagem de FDN e o NDT estimado para a silagem com 45% de grãos estão próximos aos valores de 41,3 e 72%, respectivamente, relatados por VAN SOEST (1994).

O teor de umidade do material ensilado afeta o processo fermentativo no silo, atuando como barreira física à queda do pH, favorecendo a ocorrência de fermentações indesejáveis (butírica, acética, excessiva produção de  $\text{NH}_3$ ), as quais por sua vez, conduzem a menor qualidade da silagem. Desta forma, pode-se dizer que o aumento do teor de espigas teria um efeito positivo sobre as características fermentativas, evidenciado pelo pH das silagens, o qual variou de 3,8 a 3,29 para as silagens com zero e 60% de grãos, respectivamente, bem como o aumento no teor de nutrientes. Considerando que SNIFFEN et al. (1992) sugeriram que para silagens a fração A da proteína é composta, em sua maioria, por  $\text{N-NH}_3$ , observa-se na Tabela 2 e Figura 1 que o aumento do teor de grãos na silagem causou aumento linear do NNP, sendo, por este aspecto, desvantajosa a inclusão de grãos. Entretanto, VAN SOEST (1994) relatou que silagens com elevado teor de MS e com pH inferior a 4,0, as quais são consideradas como sendo de boa qualidade, apresentam seu NNP, constituído, principalmente, por aminoácidos e peptídeos.

Tabela 1 – Teores médios e equações de regressão para a matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), carboidratos não-fibrosos (CNF), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina em função das porcentagens de grãos (G) da silagem de milho e os respectivos coeficientes de determinação

Table 1 – Average conten, regression equation and respective coefficient of regression (G) for the dry matter (DM), crude protein (CP), ash, ether extract (EE), total carbohydrate (TC), neutral detergent fiber (NDF), non-fiber carbohydrate (NFC), acid detergent fiber (ADF) and lignin in function of grains porcentage(G) of corn silage and the respective determination coefficient

| ÍTEMS                            | Grãos (%) Grains (%) |       |       |       |       | Equação de regressão<br>Regression equation | r <sup>2</sup> |
|----------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------------|----------------|
|                                  | 0                    | 15    | 30    | 45    | 60    |                                             |                |
| MS(%)<br>DM (%)                  | 19,36                | 24,48 | 27,84 | 30,96 | 38,48 | $\hat{Y} = 19,12 + 0,3012 G$                | 0,9550         |
| PB <sup>1</sup><br>CP            | 4,89                 | 5,95  | 6,47  | 7,06  | 7,72  | $\hat{Y} = 5,07 + 0,045 G$                  | 0,9026         |
| MM <sup>1</sup><br>Ash           | 5,20                 | 4,82  | 3,46  | 2,32  | 1,70  | $\hat{Y} = 5,38 - 0,0379 G$                 | 0,9531         |
| EE <sup>1</sup><br>Ether extract | 2,25                 | 2,58  | 2,66  | 2,92  | 3,89  | $\hat{Y} = 2,136 + 0,0241 G$                | 0,8427         |
| CT <sup>1</sup><br>TC            | 87,68                | 86,57 | 87,47 | 87,67 | 86,69 | $\hat{Y} = 87,22$                           | -              |
| FDN <sup>1</sup><br>NDF          | 73,46                | 57,45 | 51,79 | 40,63 | 29,36 | $\hat{Y} = 71,54 - 0,7001 G$                | 0,9728         |
| CNF <sup>1</sup><br>NFC          | 15,35                | 30,27 | 37,03 | 48,13 | 58,37 | $\hat{Y} = 17,05 + 0,6927 G$                | 0,9795         |
| FDA <sup>1</sup><br>ADF          | 42,56                | 32,56 | 25,94 | 21,08 | 17,08 | $\hat{Y} = 40,19 - 0,414 G$                 | 0,9458         |
| LIGNINA <sup>2</sup><br>Lignin   | 8,13                 | 8,15  | 6,12  | 4,85  | 2,54  | $\hat{Y} = 8,74 - 0,093 G$                  | 0,8475         |

<sup>1</sup> % na MS - % of DM

<sup>2</sup> % na FDN - % of NDF

Em geral, as dietas dos ruminantes são balanceadas para atender, principalmente, os requisitos energéticos e protéicos dos rebanhos e, desta forma, os fatores que mais afetam o custo de alimentação, quando esta é baseada em silagem de milho, são o seu conteúdo em energia, FDN e PB (ALLEN et al., 1997). Silagens com maior conteúdo em PB e energia permitirão menor suplementação concentrada e, com isso, redução do custo de alimentação. Considerando a inversa relação entre consumo e FDN e, digestibilidade e FDA (MERTENS, 1987), pode-se inferir que a redução do teor de FDN e FDA com o acréscimo de grãos à silagem, permitiria maior ingestão de alimentos e maior disponibilidade de energia para os animais. A porcentagem de FDN da silagem de milho com 30 e 45% de grãos, respectivamente, está próxima à sugerida por SNIFFEN et al. (1992).

O teor de grãos tem importante contribuição no valor nutricional de silagens, no entanto, a quantificação deste último em condições de fazenda não é prática e, desta forma, talvez, uma característica deveria ser utilizada para estimar o teor de grãos, devido ao impacto que estes têm sobre a qualidade do alimento e o desempenho animal. Considerando a inversa relação observada entre o teor de grãos e a porcentagem de FDN e, entre esta última e os índices de qualidade (produção de gás, DIVMS e NDT), a FDN poderia ser utilizada na estimação do teor de grãos em silagens de milho, pois, ainda tem a vantagem de ser uma variável bastante representativa na MS do alimento, sendo a relação entre o teor de grãos e o teor de FDN obtida neste estudo representada pela seguinte equação:  $\hat{Y} = 100,37 - 1,3923 * \text{FDN}$  ( $r^2 = 0,9728$ ).

As frações nitrogenadas são apresentadas na Tabela 2 e Figura 1, donde pode ser observado que o acréscimo de grãos à silagem reduziu linearmente o N insolúvel em detergente neutro (NIDN) e as frações C e B<sub>3</sub> e aumentou o NNP. A redução da fração C e B<sub>3</sub> deve ter ocorrido em função do aumento da fração A. A porcentagem de NNP para a silagem de milho com 45% de grãos está próxima da sugerida por SNIFFEN et al. (1992). O aumento do NNP, com o acréscimo de grãos, poderia conduzir à perdas de N no rúmen se não fosse acompanhada do aumento do teor de CNF, o que provavelmente permitiria uma maior eficiência de utilização do mesmo.

Tabela 2 – Valores médios e equação de regressão para os compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), frações B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C e nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) na silagem de milho com diferentes porcentagens de grãos (G) e os respectivos coeficientes de determinação

Table 2 – Average values and regression equation for the non-protein nitrogen (NPN), B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and C fractions and neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) in corn silage with different percentage of grains (G) and the respective determination coefficient

| Ítems                                       | Grãos (%) |       |       |       |       | Equação de regressão<br>Regression equation | r <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------------|----------------|
|                                             | 0         | 15    | 30    | 45    | 60    |                                             |                |
| NNP <sup>1</sup>                            | 34,05     | 39,14 | 50,67 | 50,91 | 54,62 | $\hat{Y} = 34,43 + 0,3578 *G$               | 0,7340         |
| B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> <sup>1</sup> | 51,50     | 50,66 | 39,43 | 42,65 | 41,46 | $\hat{Y} = 45,14$                           | -              |
| NIDN <sup>1</sup>                           | 14,46     | 10,20 | 9,90  | 6,44  | 3,92  | $\hat{Y} = 13,95 - 0,1656 G$                | 0,8427         |
| B <sub>3</sub> <sup>1</sup>                 | 6,63      | 7,00  | 6,97  | 3,67  | 2,61  | $\hat{Y} = 7,65 - 0,076 G$                  | 0,5621         |
| C <sup>1</sup> (NIDA)                       | 7,83      | 3,20  | 2,93  | 2,76  | 1,32  | $\hat{Y} = 6,30 - 0,0898 G$                 | 0,6497         |

<sup>1</sup> % no N total - % of total N

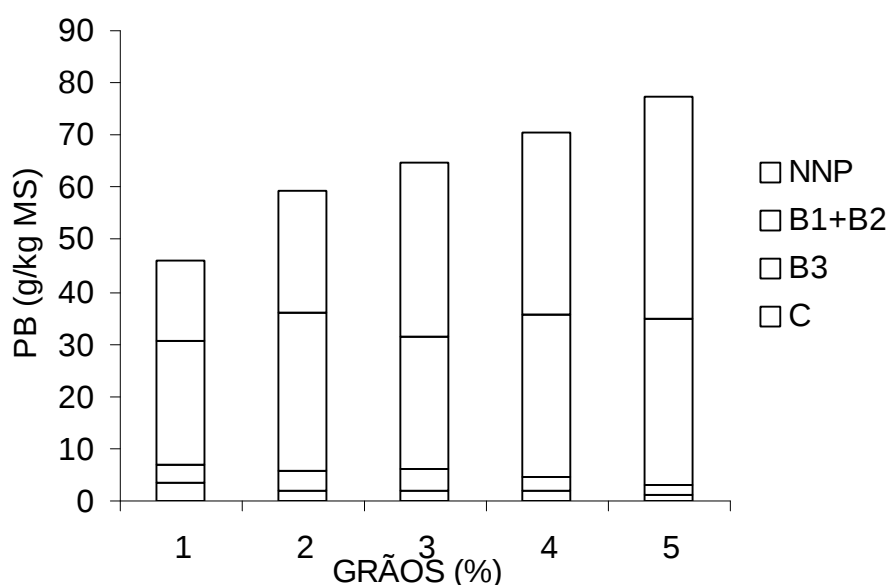


Figura 1 – Teores médios das frações nitrogenadas da silagem de milho com zero (1), 15 (2), 30 (3), 45 (4) e 60% (5) de grãos.

Figure 1 – Average content of the nitrogen fractions of corn silage with zero (1), 15 (2), 30 (3), 45 (4) and 60% (5) of grains

As frações de carboidratos são apresentadas na Tabela 3 e Figura 2. O acréscimo na porcentagem de grãos aumentou linearmente o teor de CNF e reduziu os teores das frações B<sub>2</sub> e C. Por apresentarem os CNF disponibilidade nutricional quase completa (98%), o seu incremento na silagem aumentaria a disponibilidade

de energia tanto no rúmen como nos intestinos. Entretanto, a disponibilidade ruminal aumentada dos CNF, possivelmente, aumentaria a necessidade de suplementação com proteína degradada no rúmen, haja vista, os microrganismos que utilizam estes carboidratos necessitam de aminoácidos e peptídeos para máxima eficiência (RUSSELL et al., 1992). Caso contrário, em condições excessivas de disponibilidade de fontes energéticas (glicose) e limitação de nutrientes (N), poderá haver utilização da energia por parte dos microrganismos sem a concomitante produção de células, num processo conhecido como “Energy Spilling”, ou dissipação de energia, por meio de ciclos fúteis de íons através da membrana na tentativa de consumir o excesso de energia (VAN KESSEL e RUSSELL, 1996; RUSSELL, 1998).

Tabela 3 – Valores médios e equações de regressão para os carboidratos não-fibrosos (CNF) e frações B<sub>2</sub> e C da silagem de milho em função da porcentagem de grãos (G) e os respectivos coeficientes de determinação

Table 3 – Average values and regression equation for non-fiber carbohydrates (NFC) and B<sub>2</sub> and C fractions of corn silage in function of grain percentage (G) and the respective determination coefficient

| Ítems                       | Grãos (%) |        |        |        |        | Equação de Regressão<br>Regression equation | r <sup>2</sup> |
|-----------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------------------|----------------|
|                             | 0         | 15     | 30     | 45     | 60     |                                             |                |
| CNF <sup>1</sup>            | 17,51     | 34,97  | 42,35  | 54,91  | 67,34  | -                                           | -              |
| B <sub>2</sub> <sup>1</sup> | 55,86     | 40,94  | 40,49  | 31,23  | 23,40  | -                                           | -              |
| C <sup>1</sup>              | 26,63     | 24,09  | 17,16  | 13,86  | 9,26   | -                                           | -              |
| CNF <sup>2</sup>            | 153,55    | 302,69 | 370,35 | 481,36 | 585,10 | $\hat{Y} = 144,25 + 7,32 G$                 | 0,9831         |
| B <sub>2</sub> <sup>2</sup> | 489,75    | 354,40 | 354,21 | 273,82 | 203,29 | $\hat{Y} = 486,57 - 4,734 G$                | 0,9744         |
| C <sup>2</sup>              | 233,50    | 208,60 | 150,14 | 121,53 | 80,51  | $\hat{Y} = 243,95 - 2,659 G$                | 0,9000         |

<sup>1</sup> % dos CT - % of TC

<sup>2</sup> g/kg de MS – g/kg of DM

A redução das frações B<sub>2</sub> e C com o acréscimo de grãos teria efeito positivo sobre o consumo, o qual é o fator determinante da produção em animais de elevada demanda em nutrientes e, a redução da fração C, aumentaria a disponibilidade de energia.

Na Tabela 4 são apresentadas as taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub>, o volume final de gás, a DIVMS e o NDT estimado. A adição de grãos à silagem afetou quadraticamente a taxa de digestão dos CF e CNF e, linearmente o volume final de gás e a DIVMS e o NDT estimado. Foram estimados valores máximos para as taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> de 0,2723 e 0,02771 h<sup>-1</sup> para as silagens de milho com 40,08 e 14,57% de grãos, respectivamente.

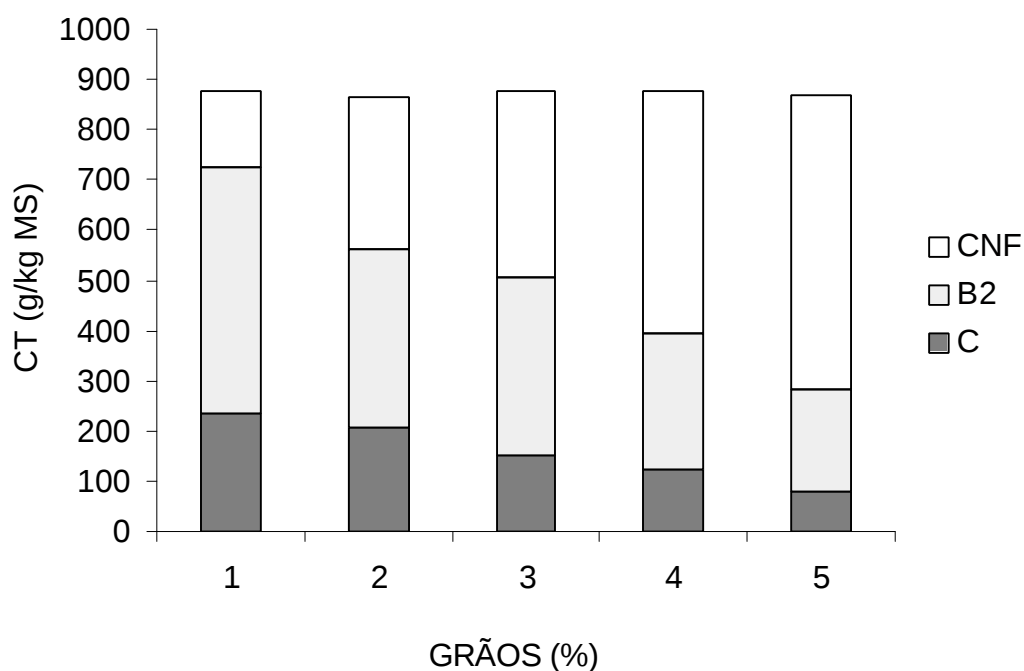


Figura 2 – Teores médios de CNF e das frações B<sub>2</sub> e C dos carboidratos totais para a silagem de milho com zero (1), 15 (2), 30 (3), 45 (4) e 60% (5) de grãos.

*Figure 2 – Average content of NFC and B<sub>2</sub> and C fractions in the total carbohydrates of corn silage with zero (1), 15 (2), 30 (3), 45 (4) and 60% (5) of grains*

As taxas de digestão estimadas para os CNF estão nos limites de 10 a 40%/h sugeridos por SNIFFEN et al. (1992) para a fração B<sub>1</sub> dos carboidratos. A reduzida taxa de digestão estimada para os CNF da silagem sem a presença de grãos pode ser atribuída à natureza desta fração, que neste caso, é representada, principalmente, por ácidos orgânicos. O acréscimo de grãos, por acarretar aumento dos CNF e redução dos CF, pode afetar os parâmetros cinéticos estimados pelos sistemas *in vitro* (cultura em batelada), principalmente o acúmulo de metabólitos (ácidos orgânicos) em taxas elevadas ao ambiente de incubação, ou até mesmo a exaustão de outros nutrientes (N), pode inibir a ação fermentativa, embora ainda existam nutrientes potencialmente digestíveis. Para o caso específico da técnica de produção

de gás, a proporção molar dos ácidos graxos voláteis produzidos pode também afetar a taxa na qual os gases são produzidos, em resposta à adição de carboidratos disponíveis. É sabido que a fermentação acética gera 2 moles de CO<sub>2</sub> por mol de acetato (produção direta) e 0,87 moles de CO<sub>2</sub> por mol de AGV (produção indireta), já a produção de propionato só libera 0,87 moles de CO<sub>2</sub> indiretamente (BEUVINK e SPOESLTRA, 1992). Desta forma, o comportamento quadrático para as taxas de digestão estimadas para os CNF e para a fração B<sub>2</sub> pode ser explicada.

Tabela 4 – Valores médios e equações de regressão para as taxas de digestão (h<sup>-1</sup>) da fração B<sub>2</sub> e carboidratos não-fibrosos (CNF), volume final de gás (VT) em mL, digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e NDT estimado (%) para a silagem de milho em função da porcentagem de grãos (G) e os respectivos coeficientes de determinação

Table 4 – Average values and regression equation for digestion rate (h<sup>-1</sup>) of B<sub>2</sub> fraction and non-fiber carbohydrate (NFC), gas production (GP), *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and estimated TDN (%) for corn silage in function of grains proportions (G) and respective determination coefficient

| Ítems          | Grãos (%) |        |        |        |        | Equação de regressão<br>Regression equation      | r <sup>2</sup> |
|----------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------------------------|----------------|
|                | 0         | 15     | 30     | 45     | 60     |                                                  |                |
| CNF<br>NFC     | 0,0803    | 0,2075 | 0,2662 | 0,2556 | 0,2315 | $\hat{Y} = 0,0859 + 0,0093 G - 0,000116 G^2$     | 0,9279         |
| B <sub>2</sub> | 0,0254    | 0,0305 | 0,0304 | 0,0291 | 0,0315 | $\hat{Y} = 0,0264 + 0,00018 G - 0,000006176 G^2$ | 0,4335         |
| VT<br>GP       | 20,03     | 23,35  | 25,77  | 26,95  | 28,47  | $\hat{Y} = 20,95 + 0,1333 G$                     | 0,9138         |
| DIVMS<br>IVDMD | 62,19     | 70,83  | 77,34  | 80,58  | 83,21  | $\hat{Y} = 64,89 + 0,3353 G$                     | 0,8664         |
| NDT<br>TDN     | 56,08     | 63,54  | 69,25  | 75,42  | 81,40  | $\hat{Y} = 56,63 + 0,4168 G$                     | 0,9798         |

A menor taxa de digestão estimada para a fração B<sub>2</sub> da silagem de milho com nível zero de grãos, pode ser atribuída à elevada concentração de lignina em sua FDN e, devido a ausência de carboidratos de rápida fermentação, os quais, quando em concentrações moderadas tendem a estimular a degradação da fibra. Pois, embora, a concentração de lignina na FDN da silagem de milho com 15% de grãos tenha sido semelhante, a taxa de digestão dos CF desta última foi bem superior.

O NDT estimado foi correlacionado (r = 0,95) com o volume final de gás e a DIVMS, sendo portanto, ambas as técnicas sensíveis à mudança na disponibilidade de nutrientes. Entretanto, a técnica de produção de gás permitiu, adicionalmente, estimar a taxa de degradação dos CF e CNF.

A Figura 3 ilustra a relação entre a DIVMS e o volume final de gás em função do teor de grãos na silagem de milho. Ambas as técnicas foram sensíveis às alterações na disponibilidade de nutrientes nos alimentos, principalmente carboidratos, sendo portanto, passíveis de serem utilizadas em estudos comparativos. A técnica de produção de gases mostra-se como importante ferramenta em estudos de parâmetros cinéticos das frações que compõem os alimentos (CT), uma vez que reflete a taxa e extensão na qual os componentes dos alimentos são disponibilizados aos microrganismos do rúmen. Entretanto, a aplicação das técnicas à determinação da digestibilidade de alimentos, levando-se em conta a sua exatidão, carece de informações, particularmente, no Brasil, sendo então, necessários estudos que contrastem o real valor nutricional dos alimentos e suas estimativas obtidas pelos sistemas *in vitro*.

Considerando que os CF apresentam lenta taxa de digestão e disponibilidade nutricional variável e incompleta, sendo a maior fonte de variação à digestibilidade das forrageiras (VAN SOEST, 1994), pode-se afirmar que o valor nutricional das silagens de milho apresenta inversa relação ao teor destes compostos. Desta forma, o aumento do teor dos CNF, através dos grãos, aumenta a quantidade de nutrientes digestíveis (Figura 4). Portanto, o NDT destes alimentos poderia ser estimado a partir da concentração de FDN, uma vez que esta é relacionada inversamente com o teor de CNF, sendo o NDT relacionado com a porcentagem de FDN ( $r^2 = -0,98$ ). O mesmo pode ser dito para a relação entre o volume final de gás e o NDT.

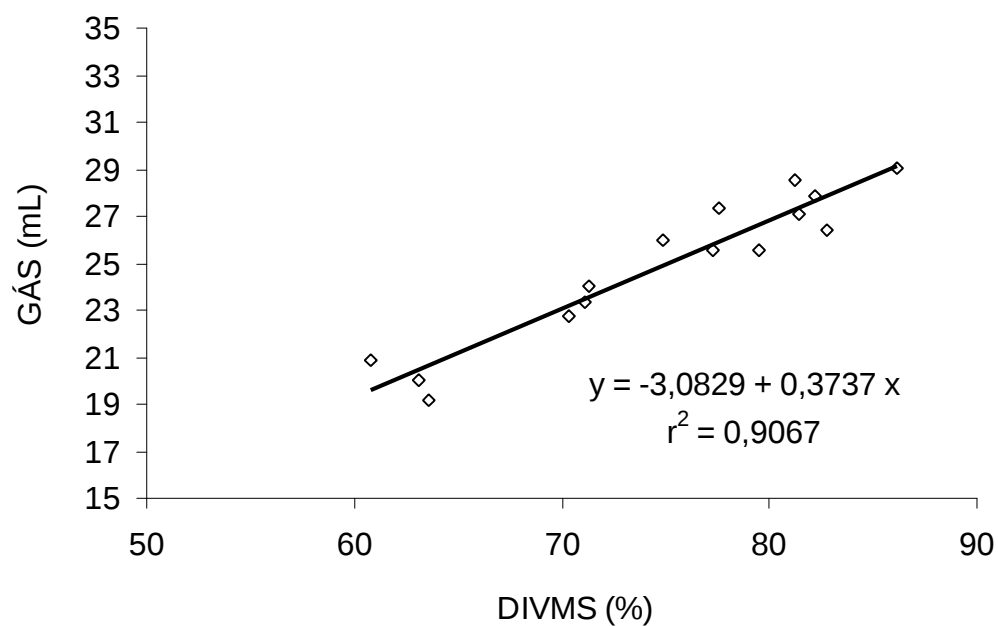


Figura 3 – Comportamento descritivo e equação de regressão para o volume de gás (Y) em função da DIVMS (X)

Figure 3 – Descriptive behaviour and regression equation for the gas production (Y) in function of the IVDMD (X)

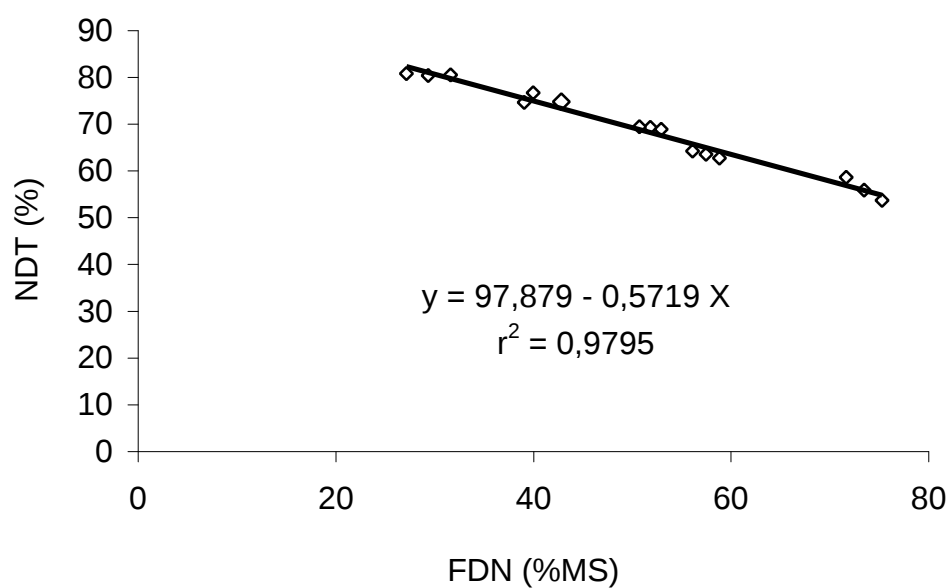


Figura 4 – Relação entre a porcentagem de FDN e o NDT estimado pelas equações do NRC (2001)

Figure 4 – Relation between the percentage of NDF and the TDN estimated by NRC (2002) equations

## Conclusões

A adição de grãos à silagem de milho aumentou linearmente os teores da MS, PB e CNF e reduziu os teores de MM, FDN, FDA, lignina e FDN potencialmente digestível.

O teor de grãos de uma silagem de milho pode ser estimado por intermédio do seu teor de FDN pela equação  $\hat{Y} = 100,37 - 1,3923 * \text{FDN}$ .

A técnica de produção de gás mostrou-se capaz de detectar as diferenças existentes nas amostras de silagem quanto à disponibilidade de nutrientes, o que permite inferir que a mesma possa ser utilizada também na estimação do NDT.

## Literatura Citada

- ALLEN, M.S.; OBA, M.; CHOI, B.R. Nutritionist's perspective on corn hybrids for silage. In: SILAGE: FIELD TO FEEDBUNK, 1997, USA, Proceedings..., New York, 1997.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15.ed., Arlington, Virginia., 1990. 1117p.
- BROCK, T.D.; MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M., et al. **Biology of Microorganisms**. 7.ed., Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994. 909p.
- BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology and Technology**, v.37, n.4, p.505-509, 1992.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, 43(1):99-109, 1949.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Using Fiber and Carbohydrate Analyses to Formulate Dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, USA, Proceedings..., Wisconsin, 1996.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7 ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001, 381p.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- RUSSELL, B. J.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- RUSSELL, J.B. Strategies that ruminal bacteria use to handle excess carbohydrate. **Journal of Animal Science**, v.76, n.8, p.1955-1963, 1998.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal British of Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- VAN KESSEL, J.S.; RUSSELL, J.B. The effect of amino nitrogen on the energetics of ruminal bacteria and its impact on energy spilling. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.7, p.1237-1243, 1996.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.

**Composição-Químico Bromatológica, Produção de Gás, Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca e NDT estimado da Silagem de Sorgo com Diferentes Proporções de Panículas**

**RESUMO** – Foram objetivos do presente trabalho avaliar as alterações na composição bromatológica, nas frações nitrogenadas e de carboidratos, estimar a taxa de digestão dos carboidratos fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF), determinar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e estimar o NDT da silagem de sorgo com as seguintes proporções de panículas: 0, 20, 40, 60, 80 e 100%. Foram determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), as frações protéicas: NNP, B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C, e os carboidratos não fibrosos (CNF) e as frações B<sub>2</sub> e C dos carboidratos totais. As taxas de digestão das frações dos carboidratos totais foram estimadas por meio da técnica de produção de gases, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) pela da técnica de dois estádios e o NDT estimado pela composição bromatológica. O acréscimo de panículas à silagem de sorgo aumentou linearmente os teores de MS, PB, CNF, EE e lignina na FDN e, reduziu os teores de MM e FDN. O NNP e as frações B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C variaram de 9,19 a 21,24, de 67,63 a 75,98, de 3,85 a 6,09 e de 5,09 a 10,98% do N total. Os teores dos CNF aumentaram linearmente e da fração B<sub>2</sub> dos carboidratos totais foram reduzidos, os quais variaram de 208,18 a 564,07 e de 381,29 a zero g/kg de MS, respectivamente. As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> variaram de 0,1358 a 0,1563h<sup>-1</sup> e de 0,0247 a 0,0294 h<sup>-1</sup>. O volume final de gás não foi influenciado pela adição de panículas e a DIVMS máxima 69,52% foi obtida com 60,10% de panículas. Embora o NDT estimado tenha aumentado linearmente, considerando a não alteração da produção de gás e o comportamento quadrático da DIVMS, pode-se inferir que a utilização destas estimativas não parecem ser adequadas.

Palavras-chave: cinética, digestão, sorgo

**Chemical Composition, Gas Production, *In Vitro* Dry Matter Digestibility and  
Estimate TDN of Sorghum Silage with Different Stem+Leafs/Head  
Proportions**

**ABSTRACT:** This work had as objective to evaluate the chemical composition alteration in the nitrogen and carbohydrate fractions, to estimate the digestion rate of fiber carbohydrate (FC) and non-fiber carbohydrate (NFC), to determine the *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) and to estimate the TDN of sorghum silage with different steam+leafs/head proportions. The silage were done in the following steam+leafs/head proportions: 0, 20 , 40, 60, 80 and 100%. They were determined the content of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, neutral detergent fiber (NDF), the nitrogen fractions: NPN, B1+B2, B<sub>3</sub> and C, the non-fiber carbohydrate (NFC) and B<sub>2</sub> and C fractions of total carbohydrates. The digestion rates of the NFC and B<sub>2</sub> fractions of total carbohydrates were estimated by *in vitro* gas production technique, the IVDMD was determined by two-stage technique and TDN estimated by chemical composition. The increase in the steam+leafs/head in sorghum silage increased linearly the amount the DM, CP, NFC, EE and lignin in NDF and reduced the amount of ash and NDF. The NPN and the B1+B2, B<sub>3</sub> and C fractions ranged from 9.19 to 21.24, from 67.63 to 75.98, from 3.85 to 6.09 and from 5.09 to 10.98% of total N. The amount of the NFC increased linearly and of the B<sub>2</sub> fraction of total carbohydrate reduced by addition of steam+leafs/head, ranging from 208.18 to 564.07 and from 381.29 to zero g/kg of DM, respectively. The digestion rate of NFC and B<sub>2</sub> fraction ranged from 0.1358 to 0.1563h<sup>-1</sup> and from 0.0247 to 0.0294 h<sup>-1</sup>. The total gas production was not influenced by steam+leafs/head addition and the maximum IVDMD of 69.52% was obtained with 60.10% of steam+leafs/head. Although the estimated TDN had increased linearly, considering the no alteration of gas production and the quadratical effect of IVDMD, it can be suggested that the utilization of these estimatives are not correct.

Key Words: digestion, kinetic, sorghum

## Introdução

A produção de ruminantes no Brasil baseia-se na utilização das gramíneas tropicais como principal fonte de nutrientes. Estas gramíneas diferenciam-se das temperadas ( $C_3$ ) quanto à eficiência de fixação de carbono, o que as confere maior produção de matéria seca por unidade de área. A maior eficiência destas gramíneas é o resultado da utilização da rota de fixação de carbono por intermédio da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase, a qual foi desenvolvida durante a evolução destas plantas nos ambientes tropicais, como meio de reduzir a fotorespiração, verificada em plantas  $C_3$ , devido à elevada afinidade da enzima ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxigenase por  $O_2$  em elevadas temperaturas, uma vez que a taxa de fotorespiração é inversamente proporcional à eficiência fotossintética (LEHNINGER et al., 1993; BROCK et al., 1994;).

Entretanto, devido a estacionalidade na sua produção, o desempenho dos animais é relativamente baixo, em razão da redução qualitativa e quantitativa de matéria verde nos pastos na época seca do ano. Desta forma, o armazenamento do excedente de forragem oriundo do período das águas torna-se uma estratégia de suma importância para contornar os problemas nutricionais na época seca.

Neste contexto, a ensilagem tem grande importância na conservação dos alimentos, cujo valor nutricional é função da qualidade do material ensilado, bem como das técnicas de ensilagem empregadas. Entretanto, devido ao elevado teor de umidade das gramíneas tropicais, a qualidade destas silagens tem sido limitada pela resistência à queda do pH nos silos, condição primordial para a conservação do material.

Com base nisso, a confecção de silagens de milho aumentou drasticamente nas últimas décadas, uma vez que os grãos contidos nas espigas, proporcionam tanto o aumento do teor de matéria seca, quanto o aumento do valor nutricional da silagem, devido ao acréscimo de carboidratos não fibrosos.

Na mesma proporção, a utilização de sorgo para a ensilagem vem aumentando no Brasil, basicamente em função da também elevada produção de matéria seca, da possibilidade de utilização da rebrota que pode atingir até 60% da produção do primeiro corte, pela sua maior tolerância à seca e à elevadas temperaturas e, por não ser utilizado na alimentação humana (ZAGO, 1989).

Considerando que os carboidratos não fibrosos (CNF) apresentam disponibilidade nutricional rápida e completa no trato gastrintestinal dos ruminantes, ao contrário dos carboidratos fibrosos (CF), (VAN SOEST, 1967; MERTENS, 1996), a confecção de silagens com maiores teores de panículas (grãos), teoricamente poderia aumentar o valor nutricional do material ensilado.

Segundo VAN SOEST (1994), os taninos são quaisquer compostos fenólicos de suficiente peso molecular, os quais contêm hidroxilas o bastante para formar fortes complexos com proteínas e outras moléculas, sintetizados em certas espécies de plantas como fatores de proteção contra a predação por herbívoros. Dos efeitos dos taninos, destacam a capacidade de inibir a atividade de certas enzimas e seus efeitos tóxicos contra certos grupos de bactérias ruminais, especialmente as celulolíticas (VAN SOEST, 1994).

Desta forma, o presente trabalho objetivou determinar as alterações na composição químico-bromatológica e nas frações protéicas e de carboidratos, determinar as taxas de digestão das frações de carboidratos e avaliar o valor nutricional de silagens de sorgo com diferentes proporções de panículas, por meio da técnica de produção de gases e da digestibilidade *in vitro* da matéria seca e, estimar o teor em nutrientes digestíveis totais (NDT).

## Material e Métodos

O sorgo (*Sorghum vulgare*, L.), híbrido AG 2002, utilizado neste estudo foi cultivado em área do Departamento de Zootecnia da UFV-MG, cujo plantio foi realizado em outubro de 1998 de acordo as recomendações do fabricante de sementes. Como adubação de plantio, foram aplicados 300 kg/ha de 8-28-16 (N-P-K) e, como adubação de cobertura aos 25 e 45 dias de plantio, 150 kg/ha da mistura 20-0-20 e 100 kg/ha de uréia, respectivamente. A colheita foi realizada de forma manual, por meio de um facão, à aproximadamente 10 cm do solo, quando os grãos atingiram o estágio farináceo-duro (118 dias), sendo as plantas em seguida, conduzidas ao laboratório de animais do DZO. Trinta plantas foram tomadas aleatoriamente, as quais foram separadas em duas partes: colmo+folhas e panículas, para determinação da proporção de cada parte na planta inteira. Em seguida, cada parte (colmo+folha e espigas) foi picada separadamente e ensilada em silos laboratoriais de PVC, de 40 x 10 cm, dotados de válvula de Bunsen, nas proporções de 0, 20, 40, 60, 80 e 100% de panículas, com três repetições, em um delineamento inteiramente casualizado. Os silos foram abertos 1 mês após a ensilagem e, nas amostras frescas, determinados os teores de compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), conforme BRODERICK (comunicação pessoal). O restante do material foi submetido à pré-secagem a 55 °C durante 72 horas e moagem em peneira de 1mm de diâmetro, para posteriores análises de matéria seca (MS), compostos nitrogenados (N), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE), conforme AOAC (1990). As análises de fibra insolúvel nos detergentes neutro (FDN) e ácido (FDA) foram feitas em autoclave conforme PELL e SCHOFIELD (1993) e, lignina conforme VAN SOEST et al. (1991). Os teores dos compostos nitrogenados insolúveis nos detergentes neutro (NIDN) e ácido (NIDA) foram determinados

conforme LICITRA et al. (1996). Os teores da proteína verdadeira solúvel em detergente neutro (PSDN ou fração B1+B2) foram obtidos a partir da seguinte expressão:  $B1+B2 = N \text{ total} - (NNP + NIDN)$ , e da fração B3 pela diferença entre o NIDN e o NIDA.

Os carboidratos totais (CHO) foram determinados conforme SNIFFEN et al. (1992), sendo as suas frações: carboidratos fibrosos (CF), considerados como sendo a FDN corrigida para o seu conteúdo em cinzas e proteínas (FDNcp); carboidratos não-fibrosos (CNF) obtidos pela subtração da FDNcp dos CHO; e a fração C, obtida pela FDN indigerível após 144 horas de incubação *in situ*. A fração B<sub>2</sub>, ou seja, fração disponível da fibra, foi obtida pela diferença entre a FDNcp e a fração C.

As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> dos CHO foram estimadas pela técnica de produção de gases, conforme PELL e SCHOFIELD (1993) com algumas adaptações. As incubações foram realizadas em frascos de vidro com capacidade de 50 mL, donde foram pesados aproximadamente 100 mg de substrato. Aos frascos foram adicionados 8 mL de tampão de McDOUGAL (McDOUGAL, 1949) previamente reduzido com CO<sub>2</sub> (pH 6,9-7,0) e 2 mL de inóculo, proveniente de um bovino fistulado no rúmen, filtrado em camada dupla de gaze sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Imediatamente após, os frascos receberam tampa de borracha e lacre de alumínio e permaneceram em mesa de agitação orbital numa sala climatizada, mantida a 39°C. As leituras de pressão foram realizadas por meio de um sensor de pressão acoplado a um voltímetro, nos seguintes tempos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 e 72 horas. As leituras realizadas em volts foram convertidas para mL de gás a partir do fator de conversão 8,7 (1 volt = 8,7 mL de gás) conforme PELL e SCHOFIELD (1993). A cinética da produção cumulativa dos gases foi analisada empregando-se o modelo logístico bicompartimental (SCHOFIELD et al., 1994):

$$V(t) = Vf_1/(1+\exp(2-4*c_1*(T-L))) + Vf_2/(1+\exp(2-4*c_2*(T-L)))$$

em que,  $V(t)$  é o volume acumulado no tempo  $t$ ;  $Vf_1$ , o volume de gás oriundo da fração de rápida digestão (CNF);  $c_1$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de degradação da fração de rápida digestão (CNF);  $L$ , a latência; e  $T$ , o tempo ( $h$ );  $Vf_2$ , o volume de gás da fração de lenta degradação ( $B_2$ );  $c_2$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de degradação da fração  $B_2$ .

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi determinada pelo método de dois estágios conforme TILLEY e TERRY (1963) e, o NDT em nível de manutenção, estimado conforme NRC (2001), a partir das seguintes equações:

$$NDT = CNFD + PBD + FDND + AGD*2,25 - 7$$

em que,  $CNFD = CNF*0,98$ ;

$$PBD = PB*\exp(-1,2*(PIDA/PB)) ;$$

$$FDND = 0,75*(FDNp-Lig)*(1-(Lig/FDNp)^{0,667})$$

$AGD = EE - 1$  e  $7$ , refere-se ao NDT metabólico fecal,

onde,  $CNFD$ , representa os carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis;  $PBD$ , representa a  $PB$  verdadeiramente digestível;  $AGD$ , representa os ácidos graxos verdadeiramente digestíveis;  $FDND$ , representa a  $FDN$  digestível;  $Lig$ , representa a lignina, e,  $-7$ , representa o NDT metabólico fecal.

As análises estatísticas foram conduzidas segundo o delineamento inteiramente casualizado, segundo o modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{(ij)}$$

Em que:

$\mu$  = constante geral;

$T_i$  = efeito relativo ao tratamento ou teor de espigas  $i$ , sendo  $i = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ ;

$E_{(ij)}$  = erro aleatório associado a cada observação, pressuposto NID  $(0, \sigma^2)$ .

As comparações entre médias foram realizadas por intermédio de análise de regressão linear, adotando-se  $\alpha = 0,05$ . A escolha de modelo se deu com base nos testes de significância para os coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e na ocorrência de falta de ajustamento. Os coeficientes de determinação ( $r^2/R^2$ ) foram expressos como a razão entre a soma de quadrados da regressão e a soma de quadrados total.

## **Resultados e Discussão**

A composição bromatológica da silagem de sorgo com porcentagens crescentes de panículas é apresentada na Tabela 1, onde pode ser visualizado que os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), carboidratos não fibrosos (CNF), extrato etéreo (EE) e lignina (% FDN) aumentaram linearmente e os teores de matéria mineral (MM), carboidratos totais (CT) e FDN reduziram com o acréscimo de panículas.

Os teores de FDN encontrados neste trabalho estão de acordo com a variação verificada por SILVA et al. (1999) de 65,87 a 22,70%, para as silagens de sorgo forrageiro, para as proporções de panículas de zero e 100%, respectivamente.

Considerando a relação inversa entre o teor de FDN e o consumo, quando a ingestão é limitada pela repleção ruminal (MERTENS, 1987; MERTENS, 1994), pode-se inferir que a confecção de silagens com maiores teores de panículas permitiriam mais elevados consumos. Conseqüentemente, o aumento do teor de CNF teoricamente aumentaria o conteúdo em NDT, uma vez que estes carboidratos apresentam quase completa disponibilidade nutricional para os ruminantes (VAN SOEST, 1967; MERTENS, 1996), bem como aumentariam a exigência em proteína degradada no rúmen para o atendimento do requisito em N dos microrganismos que fermentam estes carboidratos (RUSSELL et al., 1992).

Tabela 1 – Teores médios e equações de regressão para a matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), carboidratos não-fibrosos (CNF) e lignina em função da porcentagem de panículas da silagem de sorgo (P) e respectivos coeficientes de determinação

Table 1 – Average content and regression equation (RE) for the dry matter (DM), crude protein (CP), ash, ether extract (EE), total carbohydrate (TC), neutral detergent fiber (NDF), non fiber carbohydrate (NFC) and lignin in function of steam+leaf/head proportions (P) and respective determination coefficient

| Ítems                          | Panículas (%)<br>Steam+leaf/head |       |       |       |       |       | ER<br>RE                     | r <sup>2</sup> |
|--------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|----------------|
|                                | 0                                | 20    | 40    | 60    | 80    | 100   |                              |                |
| MS(%)<br>DM                    | 18,37                            | 25,41 | 33,18 | 40,96 | 48,73 | 59,85 | $\hat{Y} = 17,38 + 0,4034 P$ | 0,99           |
| PB <sup>1</sup><br>CP          | 3,22                             | 5,53  | 6,87  | 8,21  | 9,56  | 9,93  | $\hat{Y} = 3,87 + 0,0671 P$  | 0,95           |
| MM <sup>1</sup><br>Ash         | 9,71                             | 8,39  | 7,52  | 6,65  | 5,79  | 4,99  | $\hat{Y} = 9,48 - 0,0461 P$  | 0,94           |
| EE <sup>1</sup>                | 3,06                             | 3,35  | 3,22  | 4,30  | 3,73  | 5,57  | $\hat{Y} = 2,82 + 0,0211 P$  | 0,58           |
| CT <sup>1</sup><br>TC          | 84,01                            | 82,71 | 82,38 | 80,82 | 80,92 | 79,50 | $\hat{Y} = 83,83 - 0,0420 P$ | 0,85           |
| FDN <sup>1</sup><br>NDF        | 65,22                            | 58,87 | 51,13 | 43,40 | 35,67 | 24,93 | $\hat{Y} = 66,45 - 0,3983 P$ | 0,99           |
| CNF <sup>1</sup><br>NFC        | 20,82                            | 25,95 | 33,30 | 39,36 | 47,38 | 58,38 | $\hat{Y} = 19,09 + 0,3689 P$ | 0,98           |
| Lignina <sup>2</sup><br>Lignin | 7,98                             | 8,80  | 10,58 | 12,99 | 16,45 | 24,81 | $\hat{Y} = 5,78 + 0,1564 P$  | 0,83           |

<sup>1</sup> % na MS - % in DM

<sup>2</sup> % na FDN - % in NDF

Considerando que a quantidade de lignina não foi alterada com o acréscimo de panículas e que o teor de FDN foi reduzido, a porcentagem de lignina na FDN foi aumentada em função da adição de panículas à silagem, ao contrário do observado para o comportamento da lignina em função da adição de grãos à silagem de milho (CABRAL, 2002). Embora Haslan (1989), citado por VAN SOEST (1994), defina os taninos como compostos fenólicos solúveis em água e é supostamente aceito que estes compostos são solubilizados mediante hidrólise ácida, mas, alguns tipos de taninos (condensados) podem formar precipitados, quando são polimerizados ao complexo protéico, tornando-se insolúveis e aumentando o teor de lignina em detergente ácido (VAN SOEST, 1994). Desta forma, pode-se inferir que a adição de panículas à silagem de sorgo aumentou a concentração em taninos, uma vez que a lignina está associada aos polímeros da parede celular vegetal, cujo teor foi reduzido, conforme redução do teor de FDN.

SILVA et al. (1999) avaliaram silagens de diferentes variedades de sorgo com o aumento da porcentagem de panículas e observaram que, em geral, houve aumento da concentração de fenóis totais com o acréscimo de panículas. Considerando que os taninos ocorrem somente nas camadas do pericarpo (WATTERSON e BUTLER, 1983), o aumento da concentração destes compostos com a adição de panículas seria esperado.

Na Tabela 2 são apresentadas as frações nitrogenadas para a silagem de sorgo, onde nota-se que, embora tenha havido aumento da porcentagem de NNP com a adição de panículas, esta fração atingiu o valor máximo de 21% do N total, cujo valor é bem inferior aos 50,67% verificados para a mesma fração do N total para a silagem de milho, quando foram adicionados 30% de grãos (50% de espigas). Deste comportamento para o NNP da silagem de sorgo, pode-se sugerir que houve resistência da PB à hidrólise durante a fermentação, provavelmente exercida pela presença de taninos, que por estarem ligados à matriz protéica, tendem a reduzir a proteólise no material ensilado. Esta característica seria altamente desejável, uma vez que a produção de  $N-NH_3$  nos silos está associada à fermentação de aminoácidos da PB do alimento ensilado e às elevadas perdas de compostos nitrogenados (N).

A adição de panículas reduziu linearmente a porcentagem das frações NIDN e NIDA, as quais são consideradas como sendo relativamente resistentes à digestão e indigerível, respectivamente. Portanto, o aumento de panículas na silagem de sorgo promoveu aumento da proporção de proteínas do grão, as quais são teoricamente mais susceptíveis à hidrólise. Desta forma, pode-se deduzir que o aumento do NNP na silagem de sorgo foi limitado pela presença de taninos. A redução do NIDA aumentaria a disponibilidade de N no rúmen, bem como nos intestinos. Entretanto, a fração B1+B2 é a principal fração, independente da adição de panículas.

Tabela 2 – Valores médios e equação de regressão para os compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), frações B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e C e compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NIDN) na silagem de sorgo em função da porcentagem de panículas (P) e respectivos coeficientes de determinação

Table 2 – Average content and regression equation (RE) for non-protein nitrogen (NPN), B<sub>1</sub>+B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and C fractions and neutral detergent insoluble nitrogen (NDIN) in sorghum silage in function of steam+leaf/head percentage (P) and respective determination coefficient

| Frações<br><i>Fractions</i>                 | Panículas (%)          |       |       |       |       |       | RE                           | ER | r <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|----|----------------|
|                                             | <i>Steam+leaf/head</i> |       |       |       |       |       |                              |    |                |
|                                             | 0                      | 20    | 40    | 60    | 80    | 100   |                              |    |                |
| NNP <sup>1</sup><br><i>NPN</i>              | 9,19                   | 12,45 | 13,58 | 17,14 | 19,00 | 21,24 | $\hat{Y} = 9,48 + 0,1192 P$  |    | 0,92           |
| B <sub>1</sub> +B <sub>2</sub> <sup>1</sup> | 75,98                  | 74,49 | 74,34 | 71,77 | 70,90 | 67,63 | $\hat{Y} = 76,45 - 0,0787 P$ |    | 0,81           |
| NIDN <sup>1</sup><br><i>NDIN</i>            | 14,83                  | 13,05 | 12,07 | 11,08 | 10,10 | 11,13 | $\hat{Y} = 14,07 - 0,0405 P$ |    | 0,78           |
| B <sub>3</sub> <sup>1</sup>                 | 3,85                   | 4,10  | 4,29  | 4,48  | 4,68  | 6,09  | $\hat{Y} = 3,65 + 0,0184 P$  |    | 0,76           |
| C <sup>1</sup> (NIDA)                       | 10,98                  | 8,96  | 7,78  | 6,60  | 5,42  | 5,09  | $\hat{Y} = 10,41 - 0,0590 P$ |    | 0,95           |

<sup>1</sup> % no N total - % of total N

As frações dos carboidratos totais são apresentadas na Tabela 3, onde pode ser notado que a adição de panículas aumentou linearmente o teor de CNF, expresso em g/kg de MS, mas não teve efeito sobre a fração C, pois a fração disponível da fibra (B2) foi reduzida até atingir zero% dos CT. Este comportamento difere drasticamente do observado para as frações de carboidratos na silagem de milho em função da adição de grãos (CABRAL, 2002). Uma vez que a fração C foi obtida *in situ* e também *in vitro*, sendo considerada como a FDN indigerível após 144 horas de incubação no rúmen ou na presença de microrganismos do rúmen, a sua não alteração com a adição de panículas à silagem, é um forte indício do efeito dos taninos sobre a digestão dos constituintes da parede celular vegetal. Embora os taninos, normalmente estejam associados à proteína, o aumento da sua concentração no meio pode limitar a digestão dos carboidratos, uma vez que tem sido sugerido que estes compostos inibiriam os microrganismos fibrolíticos, reduzindo suas estruturas de adesão ao substrato.

Tabela 3 – Valores médios e equações de regressão para os carboidratos não-fibrosos (CNF) e frações B<sub>2</sub> e C da silagem de sorgo em função da porcentagem de panículas (P) e respectivos coeficientes de determinação

Table 3 – Average content and regression equation (RE) for non fiber carbohydrate (NFC) and B<sub>2</sub> and C fractions of sorghum silage in function of steam+leaf/head porcentage (P) and respective determination coefficient

| Ítems          | Panículas (%)             |        |        |        |        |        | ER                          | r <sup>2</sup> |
|----------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------------|----------------|
|                | Steam+leaf/head           |        |        |        |        |        |                             |                |
|                | 0                         | 20     | 40     | 60     | 80     | 100    |                             |                |
|                | % dos Carboidratos totais |        |        |        |        |        |                             |                |
|                | % of total carbohydrate   |        |        |        |        |        |                             |                |
| CNF            | 24,78                     | 31,36  | 40,42  | 48,70  | 58,45  | 70,92  | -                           | -              |
| NFC            |                           |        |        |        |        |        |                             |                |
| B <sub>2</sub> | 45,40                     | 41,26  | 30,53  | 29,71  | 12,40  | 0      | -                           | -              |
| C              | 29,82                     | 27,38  | 29,05  | 21,59  | 29,05  | 29,08  | -                           | -              |
|                | g/kg de MS                |        |        |        |        |        |                             |                |
|                | g/kg of DM                |        |        |        |        |        |                             |                |
| CNF            | 208,18                    | 259,46 | 332,99 | 393,64 | 473,86 | 564,07 | $\hat{Y} = 194,65 + 3,55 P$ | 0,94           |
| NFC            |                           |        |        |        |        |        |                             |                |
| B <sub>2</sub> | 381,29                    | 341,19 | 251,49 | 240,14 | 100,29 | 0      | $\hat{Y} = 407,50 - 3,75 P$ | 0,94           |
| C              | 250,55                    | 226,50 | 239,31 | 174,47 | 235,05 | 230,96 | $\hat{Y} = 226,14$          | -              |

Na tabela 4 são apresentadas as taxas de digestão da fração B<sub>2</sub> e CNF, bem como o volume final de gás, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e o NDT estimado. A taxa de digestão dos CNF não foi afetada pela adição de panículas, e a taxa da fração B<sub>2</sub> aumentou linearmente. Embora para os CNF tenha sido estimada taxa de digestão média de 0,1469 h<sup>-1</sup>, esta é bem inferior à estimada para a silagem de milho. Entretanto, não se pode concluir que estas são inerentes desta fração na silagem de sorgo, ou se são resultado do efeito inibitório dos taninos sobre a hidrólise destes carboidratos.

A adição de panículas aumentou o teor de CNF (Tabela 3), mas o volume final de gás não foi influenciado e a DIVMS apresentou valor máximo de 69,52% para a silagem com 60,10% de panículas. Tal fato desperta curiosidade, mas pode ser explicado em virtude da inalterada fração C com o acréscimo de panículas e, adicionalmente, especula-se que até mesmo a digestão dos CNF tenha sido retardada pela presença de taninos, comportamento este não verificado para a silagem de milho (CABRAL, 2002). Embora, para o caso da produção cumulativa de gás, em particular, o volume final de gás possa ser influenciado pelas diferentes rotas fermentativas e estequiometria das reações exercidas pelos microrganismos do rúmen em função da variação nos carboidratos do meio (BEUVINK e SPOELSTRA, 1992), seria esperado aumento linear da produção de gás em função do acréscimo de panículas à silagem, conforme observado para a silagem de milho.

Tabela 4 – Valores médios e equações de regressão para as taxas de digestão ( $h^{-1}$ ) da fração B<sub>2</sub> e carboidratos não-fibrosos (CNF), volume final de gás (VT) em mL, digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e NDT estimado (%) para a silagem de sorgo em função da porcentagem de panículas (P) e respectivos coeficientes de determinação

Table 4 – Average content and regression equation (RE) for the digestion rate of B<sub>2</sub> fraction and non fiber carbohydrate (NFC), gas production (GP), *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), estimated TDN for sorghum silage in function of steam+leaf/head percentage (P) and respective determination coefficient

| Ítems            | (1) and respective determination coefficient |       |       |       |        |        | ER                                          | r <sup>2</sup> |
|------------------|----------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|---------------------------------------------|----------------|
|                  | Panículas (%)                                |       |       |       |        |        |                                             |                |
|                  | Steam+leaf/head                              |       |       |       |        |        |                                             |                |
|                  | 0                                            | 20    | 40    | 60    | 80     | 100    | RE                                          |                |
| CNF              | 0,135                                        | 0,142 | 0,146 | 0,151 | 0,1563 | 0,1486 | $\hat{Y} = 0,1469$                          | -              |
| NFC              | 8                                            | 2     | 9     | 6     |        |        |                                             |                |
| B <sub>2</sub>   | 0,024                                        | 0,025 | 0,026 | 0,027 | 0,0286 | -      | $\hat{Y} = 0,0246 + 0,000049 P$             | 0,29           |
|                  | 7                                            | 5     | 5     | 6     |        |        |                                             |                |
| VT               | 25,26                                        | 23,09 | 23,16 | 23,23 | 23,31  | 24,95  | $\hat{Y} = 23,83$                           | -              |
| GP               |                                              |       |       |       |        |        |                                             |                |
| DIVM             | 63,27                                        | 66,82 | 68,00 | 69,19 | 70,38  | 65,95  | $\hat{Y} = 63,09 + 0,2141 P - 0,001781 P^2$ | 0,56           |
| S                |                                              |       |       |       |        |        |                                             |                |
| IVDMD            |                                              |       |       |       |        |        |                                             |                |
| NDT <sup>1</sup> | 67,07                                        | 69,43 | 71,74 | 74,17 | 76,79  | 80,92  | $\hat{Y} = 66,66 + 0,1340 P$                | 0,97           |
| TDN              |                                              |       |       |       |        |        |                                             |                |

<sup>1</sup> Estimado pelas equações do NRC (2001) – Estimated by NRC (2001) equations

SILVA et al. (1999) observaram aumento linear da DIVMS com o aumento da porcentagem de panículas na silagem de sorgo, com um r<sup>2</sup> de 0,92 e  $\beta_1$  de 0,25, cujos resultados são bem diferentes dos observados no presente estudo.

Considerando que a principal alteração na silagem de sorgo pela adição de panículas é o aumento dos CNF, os quais apresentam disponibilidade constante e elevada entre e dentre os alimentos (~ 98%), é esperado o aumento na DIVMS e do volume final de gás e NDT com o aumento destes compostos. Entretanto, não foi verificado aumento do volume de gás e a DIVMS apresentou comportamento quadrático, como pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2.

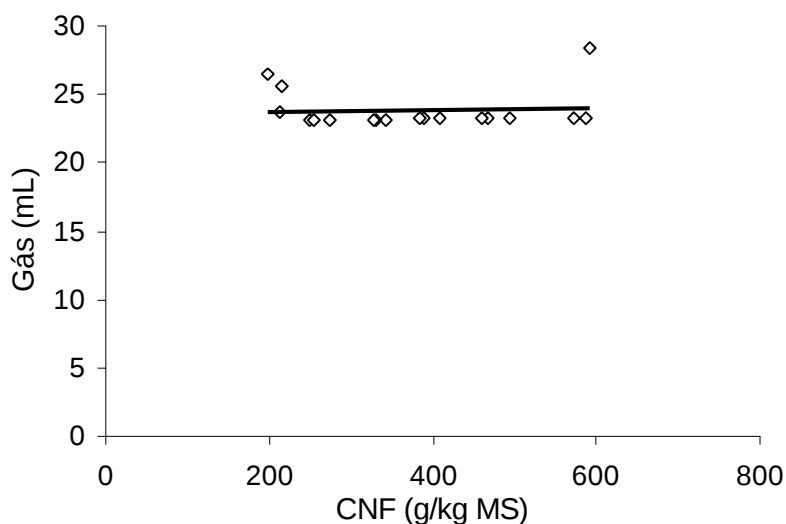


Figura 1 – Estimativa do volume de gás em função das concentrações de carboidratos não fibrosos (CNF) ( $Y = 23,83$ )

Figure 1 – Estimative of total gas production in function of content of non fiber carbohydrates

Os taninos são geralmente relacionados à redução da digestibilidade da PB e da fibra (McSWEENEY et al., 2001). Devido à sua habilidade de complexação, os taninos são altamente reativos com a parede celular microbiana, bem como enzimas extracelulares, o que, por sua vez, inibe o transporte de nutrientes e retarda o crescimento microbiano e, conseqüentemente, afeta a digestão dos carboidratos constituintes da parede celular vegetal (McSWEENEY et al., 2001). Entretanto, como o teor de FDN para as silagens de elevado teor de panículas era relativamente baixo, pode-se inferir que houve efeito dos taninos sobre a digestão dos CNF.

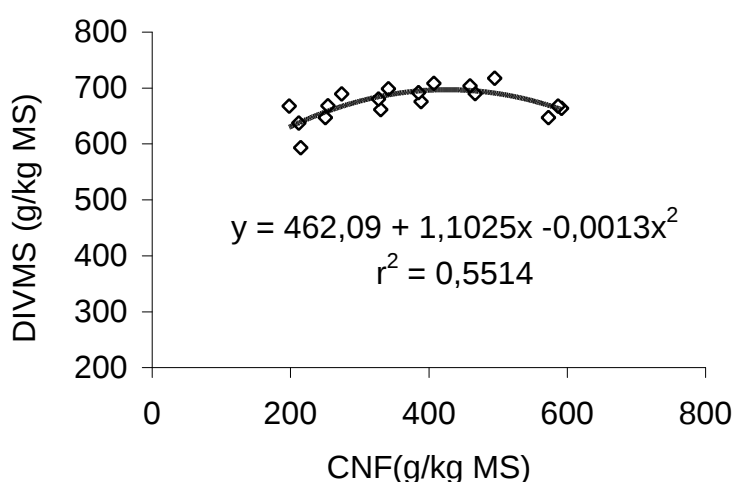


Figura 2 – Estimativa da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) em função dos teores de carboidratos não fibrosos (CNF)

Figure 2 – Estimative of the IVDMD in function of content of non fiber carbohydrates

Adicionalmente, a ausência de FDN disponível (fração B<sub>2</sub>) para a silagem de sorgo com a maior porcentagem de panículas contribui para a redução da DIVMS e do volume de gás em resposta ao aumento de panículas.

Na Tabela 4 e Figura 3 são apresentados os teores de nutrientes digestíveis totais (NDT) estimados em função da porcentagem de panículas e, observa-se que houve aumento linear ( $r^2 = 0,97$ ). Entretanto, como observado para a relação entre a porcentagem de panículas e o volume final de gás ou a DIVMS, pode-se inferir que a estimativa do NDT a partir da composição química (NRC, 2001), poderia superestimar a disponibilidade de energia de silagens de sorgo com elevado teor de panículas, conforme comportamento da DIVMS ou gás e NDT estimado, pois estas equações não prevêem os efeitos de compostos secundários, tais como os taninos.

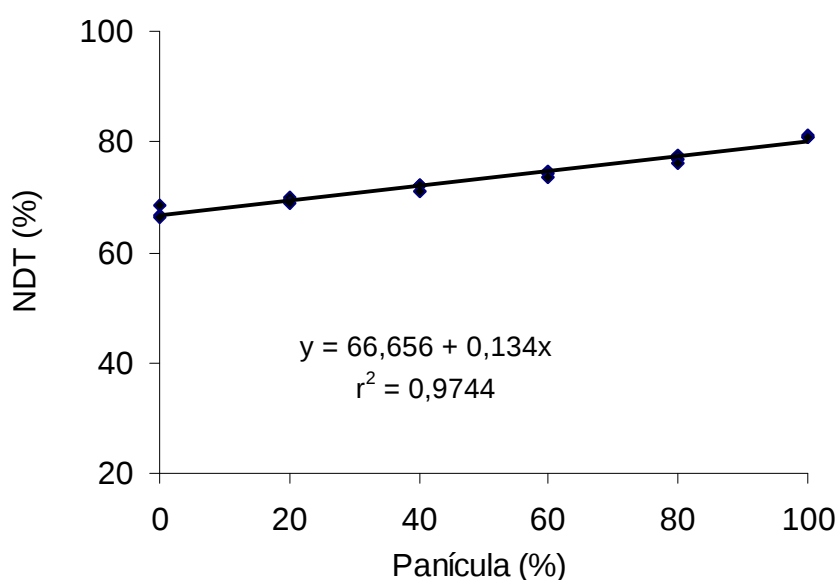


Figura 3 – NDT estimado utilizando as equações do NRC (2001) em função da porcentagem de panículas na silagem de sorgo

*Figure 3 – TDN estimated by NRC (2001) equations in function of Stem+Leaf/Head Proportions for sorghum silage*

## **Conclusões**

O acréscimo de panículas à silagem de sorgo resultou em aumento dos carboidratos não fibrosos, mas não influenciou a fração indigestível da fibra.

A adição de panículas não afetou o volume final de gás.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca máxima foi de 69,5238% obtida para a silagem com 60,1% de panículas.

A estimativa do NDT a partir das equações do NRC (2001) parece não ser adequada para a silagem de sorgo.

## Literatura Citada

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15.ed., Arlington, Virginia. 1990. 1117p.
- BROCK, T.D.; MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M., et al. **Biology of Microorganisms**. 7.ed., Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994, 909p.
- BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. **Applied Microbiology and Technology**, v.37, n.4, p.505-509, 1992.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro***. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Principles of Biochemistry**. 2ed., Worth Publishers, New York, 1993, 1013p.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.
- McSWEENEY, C.S.; PALMER, B.; McNEILL, D.M. et al. Microbial interactions with tannins: Nutritional consequences for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.91, p.83-93, 2001.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. **Regulation of forage intake**. In: FAHEY JR, G.C. (Ed.). Forage Quality, Evaluation, and Utilization. **Madison: American Society of Agronomy**. p.450-493, 1994.
- MERTENS, D.R. Using Fiber and Carbohydrate Analyses to Formulate Dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, USA, Proceedings..., Wisconsin, 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001.381p.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.

- SILVA, F.F.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. et al. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo+folhas/panícula. 2. Avaliação do valor nutritivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.1, p.21-29, 1999.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- WATTERSON, J.J.; BUTLER, L.G. Occurrence of an unusual leucoanthocyanidin and absence of proanthocyanidins in sorghum leaves. **Journal Agricultural Food Chemical**, v.31, n.1, p.41-45, 1983.
- ZAGO, C.P.; CRUZ, M.E.; GOMIDE, J.A. Avaliação do desempenho de vacas leiteiras alimentadas com silagem de milho e sorgo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 26, Porto Alegre, 1989. **Anais...** Porto Alegre: SBZ, 1989. p.290.

## **Consumo e Digestibilidades em Bovinos Alimentados com Dietas à Base de Silagens de Milho e de Capim-Elefante e Feno de Capim Tifton-85**

**RESUMO** – O presente trabalho objetivou determinar os consumos de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e carboidratos e as digestibilidades aparentes totais e parciais desses nutrientes em bovinos alimentados com dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85. Os volumosos compuseram 90% da matéria seca das dietas, as quais foram suplementadas com 10% de farelo de soja, na base da matéria seca. Foram utilizados seis bovinos com peso vivo médio inicial de 340 kg, em um delineamento em quadrado latino 3 x 3 duplo. Cada período experimental constou de 16 dias, sendo 10 para adaptação dos animais e seis dias para coletas das amostras de fezes e digesta abomasal. Foi utilizada a fibra em detergente neutro indigestível (FDNI) como indicador do fluxo de matéria seca abomasal e fecal. Embora as dietas à base de silagem de milho e de feno de capim tifton-85 não tenham apresentado diferenças quanto à ingestão de matéria seca, a primeira permitiu maior ingestão de nutrientes digestíveis totais. A dieta de feno de capim tifton-85 apresentou maior consumo de FDN (4,52 kg/dia), enquanto, a dieta de silagem de milho resultou em maior ingestão de carboidratos não fibrosos (1,95 kg/dia). A dieta de silagem de milho apresentou maior digestão aparente total da matéria seca (66,3%), da matéria orgânica (68,9%), da fibra em detergente neutro (55,7%) e dos carboidratos totais (68,2%). O rúmen foi o principal local de digestão dos carboidratos totais e da FDN para todas as dietas. Foi verificada uma relação inversa entre a digestibilidade total da matéria seca e a ingestão de FDNI e, desta forma, pode-se inferir que essa fração possa ser utilizada na estimação da digestibilidade de gramíneas tropicais.

Palavras-chave: consumo, digestibilidade, bovinos

## **Intake and Digestibility in Cattle Fed Diets Based on Corn Silage, Elephant-grass Silage and Tifton-85 Bermudagrass Hay**

**ABSTRACT:** The present work had as objective to determine the intake of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE) and carbohydrates and the apparent and partial digestibilities of these nutrients in cattle fed diets based on corn silage, tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage. The roughage constituted 90% of dietary dry matter supplied with 10% soybean meal, in dry matter basis. Six cattle with 351 kg of initial body weight were used in a double 3x3 latin square. Each experimental period lasted 16 days, being 10 days for animal adaptation and six days for collection of faeces and abomasal content. The indigestible neutral detergent fiber (INDF) was utilized as marker of abomasal and faecal dry matter flow. Although corn silage and tifton- 85 bermudagrass hay diets had no difference in dry matter intake, the former allowed greater total digestive nutrient intake. The tifton-85 bermudagrass hay diet presented the highest NDF intake (4.52 kg/day), while the corn silage diet resulted in large non fiber carbohydrate intake (1.95 kg/day). The corn silage diet presented the highest total apparent dry matter digestibility (66.3%), organic matter (68.9%), neutral detergent fiber (55.7%) and of total carbohydrates digestibilities (68.2%). The rumen was the principal site of total carbohydrate digestion and of NDF for all diets. A inverse relation between the total dry matter digestibility and INDF intake was observed and therefore, this fraction can be utilized in the digestibility estimation of tropical grass.

Key Words: cattle, digestibility, intake

## **Introdução**

A resposta produtiva dos animais é função do consumo, da digestibilidade e do metabolismo dos nutrientes dietéticos. Destes fatores, o consumo é o de maior importância, pois 60 a 90% da variação observada na ingestão de energia digestível entre animais e dietas está relacionada às diferenças no consumo e somente 10 a 40% às diferenças na digestibilidade (CRAMPTON et al., 1960; REID, 1961). Embora o metabolismo possa variar dependendo da quantidade e proporção dos nutrientes absorvidos, das vias bioquímicas de conversão destes últimos e do estado fisiológico do animal, as diferenças na eficiência de conversão da energia digestível (ED) em energia metabolizável (EM) são pequenas, quando comparadas às diferenças no consumo e digestibilidade (NRC, 1989; Moe e Tyrrell, 1976, citados por MERTENS, 1994;).

Devido à falta de habilidade na sua mensuração acurada, bem como na separação dos efeitos do animal daqueles da dieta, um melhor entendimento dos fatores básicos que limitam o consumo não tem sido atingido (MERTENS, 1994).

Em não ruminantes, a regulação do consumo se dá pela saciedade, ou seja, a ingestão é controlada pelos requisitos metabólicos dos animais. Em ruminantes, entretanto, fatores fisiológicos, físicos e psicogênicos parecem controlar o consumo (MERTENS, 1994). Os fatores fisiológicos, ou a saciedade, seriam limitantes na regulação do consumo de dietas com elevada densidade calórica, em função das exigências do animal. Os fatores físicos predominam em dietas de baixa qualidade, onde o consumo é limitado pelo volume ocupado pela dieta e pela capacidade anatômica do rúmen-retículo, onde, raramente, os animais ingerem energia suficiente para atender seus requisitos. Já os moduladores psicogênicos, referem-se à resposta do animal à fatores estimuladores ou inibidores do alimento ou do

ambiente de alimentação, os quais não estão relacionadas à concentração de energia do alimento ou à repleção ruminal (MERTENS, 1994).

Dentre os componentes dietéticos, a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) tem sido indicada como a principal responsável pelo enchimento ruminal (WALDO, 1986), devido ao elevado volume ocupado, pela baixa densidade e pela lenta degradação apresentada pelos constituintes da parede celular vegetal. Entretanto, o enchimento ruminal da FDN varia em função do tamanho de partícula inicial, com a fragilidade da partícula à ruptura e com a taxa e extensão de digestão.

A quantidade total de energia de um alimento (EB) pode ser mensurada facilmente por meio de bomba calorimétrica, entretanto, a variação na digestibilidade e metabolismo entre os alimentos, impede o uso da EB para a formulação de dietas ou comparação de alimentos (WEISS, 1993). A energia disponível dos alimentos pode ser expressa como energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida (EL) e nutrientes digestíveis totais (NDT). Embora a EL seja a forma mais correta de expressar a energia útil dos alimentos, por ser a sua determinação de elevado custo e labor e, por ser a energia perdida nas fezes, a maior e mais variável dentre todas as perdas de um alimento, o conhecimento da ED ou NDT é de fundamental importância, uma vez que os valores de EL são, em sua maioria, estimados a partir do NDT (NRC, 1989; WEISS, 1993; NRC, 1996; NRC, 2001;).

A digestão dos nutrientes dietéticos nos mamíferos ocorre por meio dos processos de hidrólise ácida e enzimática, no estômago e intestinos, e por meio da ação microbiana nos compartimentos fermentativos. Nos ruminantes, a fermentação pré-gástrica, permite a eficiente utilização de alimentos fibrosos, entretanto, perdas energéticas e protéicas estão associadas a este processo.

Considerando que os constituintes fibrosos não são digeridos no intestino delgado, com conseqüente liberação de seus monômeros, é desejável que estes sejam fermentados no rúmen, produzindo com isto, ácidos graxos voláteis e células microbianas. Por outro lado, em termos energéticos, seria desejável que os carboidratos não fibrosos (amido) fossem digeridos no intestino delgado, pois não haveriam perdas de calor, assim como as fontes protéicas de elevado valor biológico. Desta forma, o local de digestão nos ruminantes exerce um considerável efeito sobre a eficiência dietética.

Portanto, foram objetivos do presente trabalho determinar o consumo e as digestibilidades aparentes total e parcial em bovinos mestiços alimentados com dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85.

### **Material e Métodos**

Foram avaliadas dietas à base de silagem de milho (*Zea mays*, L.), de feno de capim tifton-85 (*Cynodon spp.*) e de silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schum) variedade Cameroon, as quais juntamente com 10% de farelo de soja, constituíram os tratamentos experimentais. Como o feno de capim tifton-85 apresentava 5% de PB, para tornar as dietas isonitrogenadas, foi suplementado a esta dieta, 0,5% da mistura uréia:sulfato de amônio. As silagens de milho e de capim-elefante foram confeccionadas em quatro silos de manilha para cada uma, com diâmetro de 1 m, com capacidade de 1,5 ton de matéria verde.

Foram utilizados seis animais holandês-zebu, com peso vivo médio inicial de 351 kg, fistulados no rúmen e abomaso, segundo técnicas descritas por LEÃO e COELHO da SILVA (1980). O delineamento experimental utilizado foi em

quadrado latino 3 x 3 duplo, ou seja, dois quadrados latinos, cada um com três animais, três tratamentos e três períodos experimentais.

Os animais foram pesados antes e após o término de cada período experimental, sendo mantidos estabulados em baias individuais cobertas e com piso de concreto. A dieta foi fornecida uma vez ao dia (7:30) e, diariamente, as sobras foram quantificadas para o ajuste e determinação do consumo voluntário, a fim de proporcionar aproximadamente 5% de sobras na base da matéria seca.

Cada período experimental teve duração de 16 dias, dos quais, os 10 primeiros dias foram destinados à adaptação dos animais às dietas e os seis dias seguintes foram destinados à coleta de digesta abomasal e de fezes para determinação das digestibilidades totais e parciais. As coletas foram feitas a cada 26 horas, iniciando às 8:00 h do 11<sup>o</sup> dia e terminando às 18:00 h do último dia de cada período. As amostras de fezes, digesta abomasal e sobras coletadas foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas e, então formaram amostras compostas para cada animal dentro de cada período. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho com peneiras de 1 mm para posteriores análises de matéria seca (MS), compostos nitrogenados (N), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM) (AOAC, 1990); fibra em detergente neutro (FDN) e FDN corrigida para o seu conteúdo em cinzas e proteínas (FDN<sub>cp</sub>) (VAN SOEST et al., 1991); e calculados os teores de carboidratos totais ( $CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$ ) (SNIFFEN et al., 1992) e carboidratos não fibrosos ( $CNF = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM + \%FDN_{cp})$ ).

Para determinação da excreção de matéria seca fecal, do fluxo de matéria seca abomasal e da digestão total e parcial dos nutrientes, foi utilizada a FDN indigestível (FDNI) como indicador, a qual foi determinada *in vitro* durante 144

horas, conforme COCHRAM et al. (1986), com algumas alterações. A FDNI foi escolhida por ter proporcionado maior acurácia na estimação da excreção fecal e digestão aparente da matéria seca em relação a outros indicadores, quando comparadas com a coleta total (CABRAL, 2002). As amostras dos alimentos, sobras, fezes e digesta abomasal foram pesadas (100 mg) em frascos de vidro de 50 mL, os quais receberam 8 mL de solução tampão de McDOUGAL (1949) previamente reduzida com CO<sub>2</sub> (pH 6,8 – 7,0) e 2 mL de inóculo ruminal coletado de um bovino fistulado no rúmen, sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Os frascos foram lacrados e, então, permaneceram em mesa de agitação orbital durante 144 horas. No final da incubação, os frascos receberam 25 mL de solução detergente neutra, sendo em seguida, colocados em autoclave por 1 hora a 100°C (PELL e SCHOFIELD, 1993). Em seguida, os resíduos foram filtrados em cadinho filtrante de porosidade zero, lavados com água quente e acetona, secos em estufa a 105°C, durante uma noite e, então, pesados.

O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) das dietas foi calculado por intermédio da equação apresentada pelo NRC (2001):

$$\text{NDT}(\%) = \text{PB}_D + \text{FDN}_D + \text{CNF}_D + \text{EE}_D * 2,25$$

onde, PB<sub>D</sub>, é a PB digestível; FDN<sub>D</sub>, a FDN digestível, CNF<sub>D</sub>, os CNF digestíveis e, EE<sub>D</sub>, o extrato etéreo digestível.

A composição bromatológica dos alimentos é apresentada na Tabela 1, enquanto a composição das respectivas dietas é apresentada na Tabela 2.

O experimento foi analisado segundo um delineamento em quadrado latino duplo 3x3, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + Q_i + T_j + P_k + A_{(i)l} + QT_{ij} + e_{ijkl}$$

em que:

$\mu$  = constante geral;

$Q_i$  = efeito referente ao quadrado latino  $i$ ;

$T_j$  = efeito referente ao tratamento ou dieta  $j$ ;

$P_k$  = efeito referente à linha ou período  $k$ ;

$A_{(i)l}$  = efeito de coluna ou animal  $l$ , aninhado ao quadrado latino  $i$ ;

$QT_{ij}$  = efeito da interação entre o quadrado latino  $i$  e o tratamento  $j$ ;

$e_{ijkl}$  = erro aleatório, pressuposto NID  $(0, \sigma^2)$ .

O valor da estatística  $F$  para tratamento foi calculada pela razão entre os quadrados médios para tratamentos e a interação entre quadrado latino e tratamentos. A comparação entre médias foi realizada por intermédio do teste de Student-Newman-Keulls, adotando-se  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 1 – Teores médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra em detergente neutro (FDN), FDN corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), carboidratos não fibrosos (CNF) e FDN indigestível (FDNI) obtidos para a silagem de milho (SM), o feno de capim tifton-85 (FCT), a silagem de capim-elefante (SCE) e o farelo de soja (FS)

Table 1 – Average content of dry matter (DM), crude protein (CP), ash, ether extract (EE), total carbohydrate (TC), neutral detergent fiber (NDF), NDF corrected for ash and protein (NDFcp), non fiber carbohydrate (NFC) and indigestible NDF (INDF) obtained for the corn silage (CS), the Tifton-85 bermudagrass hay (TH), the elephant-grass silage (ES) and soybean meal (SB)

| Itens              | Alimentos |           |           |          |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                    | Feeds     |           |           |          |
|                    | SM<br>CS  | FCT<br>TH | SCE<br>ES | FS<br>SB |
| MS (%)             | 25,65     | 86,00     | 18,34     | 88,00    |
| DM                 |           |           |           |          |
| PB <sup>1</sup>    | 7,31      | 5,00      | 6,53      | 47,58    |
| CP                 |           |           |           |          |
| MM <sup>1</sup>    | 5,79      | 6,83      | 11,18     | 5,84     |
| Ash                |           |           |           |          |
| EE <sup>1</sup>    | 2,49      | 1,37      | 1,52      | 1,52     |
| CT <sup>1</sup>    | 84,40     | 86,80     | 80,76     | 45,05    |
| TC                 |           |           |           |          |
| FDN <sup>1</sup>   | 56,58     | 87,63     | 75,42     | 11,57    |
| NDF                |           |           |           |          |
| FDNcp <sup>1</sup> | 53,14     | 80,70     | 68,86     | 10,92    |
| NDFcp              |           |           |           |          |
| CNF <sup>1</sup>   | 31,27     | 6,09      | 11,90     | 34,13    |
| NFC                |           |           |           |          |
| FDNI <sup>1</sup>  | 19,45     | 36,26     | 27,10     | 3,32     |
| INDF               |           |           |           |          |

<sup>1</sup> % na matéria seca – % in the dry matter

Tabela 2 – Teores médios de proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra em detergente neutro (FDN), FDN corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), carboidratos não fibrosos (CNF) e FDN indigestível (FDNI) obtidos para as dietas à base de silagem de milho (SM), de feno de capim tifton-85 (FCT) e de silagem de capim-elefante (SCE)

Table 2 – Average content of crude protein (CP), ash, ether extract (EE), total carbohydrate (TC), neutral detergent fiber (NDF), NDF corrected for ash and protein (NDFcp), non fiber carbohydrate (NFC) and indigestible NDF (INDF) obtained for the corn silage (CS) diet, the tifton-85 bermudagrass hay (TH) diet and the elephant-grass silage (ES) diet

| Itens              | Dietas   |           |           |
|--------------------|----------|-----------|-----------|
|                    | Diets    |           |           |
|                    | SM<br>CS | FCT<br>TH | SCE<br>ES |
| PB <sup>1</sup>    | 11,33    | 10,66     | 10,63     |
| CP                 |          |           |           |
| MM <sup>1</sup>    | 5,79     | 6,73      | 10,65     |
| Ash                |          |           |           |
| EE <sup>1</sup>    | 2,39     | 1,38      | 1,52      |
| CT <sup>1</sup>    | 80,47    | 82,63     | 71,20     |
| TC                 |          |           |           |
| FDN <sup>1</sup>   | 52,08    | 80,02     | 69,03     |
| NDF                |          |           |           |
| FDNcp <sup>1</sup> | 48,92    | 73,72     | 63,07     |
| NDFcp              |          |           |           |
| CNF <sup>1</sup>   | 31,56    | 8,90      | 14,13     |
| NFC                |          |           |           |
| FDNI <sup>1</sup>  | 17,43    | 35,40     | 29,43     |
| INDF               |          |           |           |

<sup>1</sup> % na matéria seca - % in the dry matter

## Resultados e Discussão

Na Tabela 3 são apresentados os consumos médios de MS, MO, PB, EE, CT, FDN, CNF e NDT expressos em kg por dia, e os consumos de MS e FDN em g/kg de peso vivo (PV), os níveis de significância e o coeficiente de variação. As dietas à base de silagem de milho e de feno de capim tifton-85 proporcionaram maiores consumos de MS (kg/dia) que a dieta à base de silagem de capim-elefante. Como consequência do mais elevado consumo de MS, essas dietas também apresentaram maiores consumos de MO, PB e CT que a de silagem de capim-elefante. Embora as dietas à base de silagem de milho e de feno de capim tifton-85 não tenham diferido quanto ao consumo de MS, nota-se que a primeira propiciou ingestão de nutrientes digestíveis totais (NDT) 43% superior à dieta de feno de capim tifton-85. Isto decorre do elevado teor de FDN da dieta de feno, a qual influencia negativamente a

disponibilidade dos nutrientes, devido à sua lenta e incompleta digestão no trato gastrointestinal (VAN SOEST, 1967), bem como devido ao elevado teor de FDNI.

Tabela 3 – Médias e coeficientes de variação (CV) para os consumos de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra em detergente neutro (FDN), carboidratos não fibrosos (CNF) e nutrientes digestíveis totais (NDT) observados para as dietas à base de silagem de milho (SM), feno de capim tifton-85 (FCT) e silagem de capim-elefante (SCE)

Table 3 – Average, significance and variation coefficient for the intake of dry matter (DM), organic matter (OM), of crude protein (CP), of ether extract (EE), of total carbohydrate (TC), of neutral detergent fiber (NDF), of non fiber carbohydrate (NFC) and total digestible nutrient (TDN) observed for the corn silage (CS) diet, the tifton-85 bermudagrass hay (TH) diet and the elephant-grass silage (ES) diet

| Consumo | Dietas             |                    |                    |        |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| S       | Diets              |                    |                    |        |
| Intake  | SM                 | FCT                | SCE                | CV (%) |
|         | CS                 | TH                 | ES                 |        |
|         | Kg/dia             |                    |                    |        |
| MS      | 6,32 <sup>a</sup>  | 5,75 <sup>a</sup>  | 4,48 <sup>b</sup>  | 17,10  |
| DM      |                    |                    |                    |        |
| MO      | 5,96 <sup>a</sup>  | 5,35 <sup>a</sup>  | 4,02 <sup>b</sup>  | 17,50  |
| OM      |                    |                    |                    |        |
| PB      | 0,76 <sup>a</sup>  | 0,69 <sup>a</sup>  | 0,53 <sup>b</sup>  | 13,16  |
| CP      |                    |                    |                    |        |
| EE      | 0,163 <sup>a</sup> | 0,067 <sup>b</sup> | 0,071 <sup>b</sup> | 19,18  |
| CT      | 5,08 <sup>a</sup>  | 4,70 <sup>a</sup>  | 3,44 <sup>b</sup>  | 18,39  |
| TC      |                    |                    |                    |        |
| FDN     | 3,25 <sup>b</sup>  | 4,52 <sup>a</sup>  | 3,04 <sup>b</sup>  | 18,22  |
| NDF     |                    |                    |                    |        |
| CNF     | 1,95 <sup>a</sup>  | 0,54 <sup>b</sup>  | 0,71 <sup>b</sup>  | 22,36  |
| NFC     |                    |                    |                    |        |
| NDT     | 4,34 <sup>a</sup>  | 3,04 <sup>b</sup>  | 2,49 <sup>b</sup>  | 19,34  |
| TDN     |                    |                    |                    |        |
|         | g/kg PV            |                    |                    |        |
| MS      | 18,17 <sup>a</sup> | 16,43 <sup>a</sup> | 12,72 <sup>b</sup> | 16,63  |
| DM      |                    |                    |                    |        |
| FDN     | 9,33 <sup>b</sup>  | 12,92 <sup>a</sup> | 8,61 <sup>b</sup>  | 18,82  |
| NDF     |                    |                    |                    |        |

Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste SNK ( $P < 0,05$ )  
 Follow values with uperwrite letter differents in same line are statistically differents by SNK test ( $P < 0,05$ )

Em função do mais elevado teor de FDN, o consumo desta fração foi superior para a dieta à base de feno de capim tifton-85 que para as demais dietas. Considerando que o teor de FDN tem sido negativamente correlacionado com o consumo, quando a repleção é o fator limitante, seria esperado maior consumo de MS para a dieta à base de silagem de milho, uma vez que a primeira apresenta 35% a menos de FDN e quatro vezes mais de CNF que aquela baseada em feno de capim tifton-85. Entretanto, tem sido verificado que o consumo de silagens é, em geral,

inferior ao de fenos de similar FDN e digestibilidade, devido ao efeito negativo dos produtos da fermentação nas silagens, tais como a  $\text{NH}_3$  e aminas, bem como o baixo pH (VAN SOEST, 1994).

Devido ao maior teor em CNF e EE da SM, o consumo destes nutrientes foi superior em relação às dietas à base de feno e silagem de capim-elefante.

MERTENS (1994) observou que a ingestão de MS era maximizada, quando a ingestão de FDN, em g/kg de PV era 12,5, e que, acima deste valor, a repleção ruminal limita o consumo. Desta forma, pode-se sugerir que para a dieta à base de feno de capim-tifton-85, o consumo foi limitado pelo enchimento ruminal. De acordo com a proposição de MERTENS (1987), o consumo de dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante seria controlado pela demanda energética dos animais ou pelos moduladores psicogênicos (MERTENS, 1987; MERTENS, 1994). Devido ao elevado teor de CNF e baixo teor de FDN da silagem de milho, provavelmente a sua ingestão foi controlada por fatores fisiológicos, entretanto, os fatores psicogênicos podem ter afetado, especialmente para a dieta à base de silagem de capim-elefante, ou seja, as características do alimento, tais como a palatabilidade, que em silagens parecem ser importantes (VAN SOEST, 1994).

A ingestão potencial de uma forrageira pode somente ser mensurada, quando a demanda energética do animal é elevada o bastante para assegurar que os requisitos energéticos não sejam limitantes do consumo (MERTENS, 1994). Com base nisto, pode-se inferir que para a silagem de milho, particularmente, o consumo verificado neste estudo não reflete o potencial máximo de ingestão do volumoso, uma vez que foram utilizados animais adultos e com baixa exigência dietética.

Na Tabela 4 são apresentadas as digestibilidades aparentes totais e parciais da MS, MO, PB, EE, CT, FDN e CNF, onde pode ser visualizado que a dieta à base de silagem de milho apresentou maior digestão total da MS, MO e CT que as dietas à base de feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante. Tal fato pode ser atribuído ao elevado teor de CNF deste volumoso, uma vez que estes carboidratos apresentam disponibilidade rápida e praticamente completa no trato gastrointestinal (TGI) dos ruminantes. Ao contrário, os carboidratos fibrosos (CF), os quais estão presentes em elevada concentração no feno de capim tifton-85 e na silagem de capim-elefante, apresentam disponibilidade lenta e incompleta, sendo portanto, a principal fonte de variação na digestibilidade de forrageiras (VAN SOEST, 1967; MERTENS, 1996).

Adicionalmente, o elevado teor de FDNI do feno de capim tifton-85 e da silagem de capim-elefante, pode ter contribuído para mais baixa digestibilidade destes alimentos em relação à silagem de milho. Pois, considerando que a FDNI é indisponível tanto no rúmen como nos intestinos, a sua concentração nos alimentos pode ser inversamente relacionada com a digestibilidade (Figura 1). Considerando que esta fração deixa o rúmen somente por meio do processo de passagem, espera-se grande contribuição para o efeito de repleção ruminal (VIEIRA et al., 1997).

RIBEIRO et al. (2001) observaram consumos de matéria seca para dietas à base de feno de capim tifton-85 com idade de rebrota dos 28 aos 56 dias, próximos aos observados no presente estudo, os quais variaram de 5,39 a 5,85 kg/dia. Entretanto, a digestibilidade aparente total da matéria seca apresentou valor médio de 70,9%, o qual é bem superior ao observado no presente estudo. Embora estes autores tenham trabalhado com maior proporção de concentrado (40%) nas dietas, que a utilizada neste trabalho, as diferenças na digestibilidade da matéria seca podem ser atribuídas ao melhor valor nutricional dos fenos utilizados por aqueles autores, evidenciados pelos menores teores de FDN (média = 79,67%) e maiores teores de PB (média = 14,37%).

Tabela 4 – Valores médios e coeficientes de variação para as digestibilidades aparente total, ruminal e intestinal da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), carboidratos totais (CT), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos fibrosos (CF), carboidratos não-fibrosos (CNF) e extrato etéreo para as dietas à base de silagem de milho (SM), feno de capim tifton-85 (FCT) e silagem de capim-elefante (SCE)

Table 4 – Average, significance levels and variation coefficient for the total, ruminal and intestinal digestibility of dry matter (DM), of organic matter (OM), of crude protein (CP), of ether extract (EE), of total carbohydrate (TC), of neutral detergent fiber (NDF), of non fiber carbohydrate (NFC) and total digestible nutrient (TDN) observed for the corn silage (CS) diet, the tifton-85 bermudagrass hay (TH) diet and the elephant-grass silage (ES) diet

| Itens | Dietas                    |                    |                    | CV (%) |
|-------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------|
|       | SM<br>CS                  | FCT<br>TH          | SCE<br>ES          |        |
|       | Digestibilidade total (%) |                    |                    |        |
|       | Total digestibility       |                    |                    |        |
| MS    | 66,28 <sup>a</sup>        | 49,89 <sup>b</sup> | 53,23 <sup>b</sup> | 5,90   |
| DM    |                           |                    |                    |        |
| MO    | 68,91 <sup>a</sup>        | 51,27 <sup>b</sup> | 55,24 <sup>b</sup> | 5,52   |
| OM    |                           |                    |                    |        |
| PB    | 71,88 <sup>a</sup>        | 73,45 <sup>a</sup> | 72,89 <sup>a</sup> | -      |
| CP    |                           |                    |                    |        |
| EE    | 85,18 <sup>a</sup>        | 57,88 <sup>c</sup> | 67,42 <sup>b</sup> | 8,82   |

|                                 |                     |                    |                    |       |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------|
| CT                              | 68,15 <sup>a</sup>  | 49,21 <sup>b</sup> | 52,59 <sup>b</sup> | 6,02  |
| TC                              |                     |                    |                    |       |
| FDN                             | 55,70 <sup>a</sup>  | 50,76 <sup>b</sup> | 49,52 <sup>b</sup> | 7,51  |
| NDF                             |                     |                    |                    |       |
| CNF                             | 85,58 <sup>a</sup>  | 41,86 <sup>c</sup> | 65,96 <sup>b</sup> | 15,79 |
| NFC                             |                     |                    |                    |       |
| Digestibilidade ruminal         |                     |                    |                    |       |
| <i>Ruminal digestibility</i>    |                     |                    |                    |       |
| MS <sup>1</sup>                 | 62,30 <sup>a</sup>  | 53,78 <sup>a</sup> | 57,72 <sup>a</sup> | 12,07 |
| MO <sup>1</sup>                 | 73,08 <sup>a</sup>  | 65,67 <sup>a</sup> | 72,70 <sup>a</sup> | 9,31  |
| PB <sup>2</sup>                 | 3,96 <sup>a</sup>   | 14,94 <sup>a</sup> | 14,17 <sup>a</sup> | -     |
| CT <sup>1</sup>                 | 89,73 <sup>ab</sup> | 85,88 <sup>b</sup> | 98,05 <sup>a</sup> | 7,11  |
| FDN <sup>1</sup>                | 87,03 <sup>a</sup>  | 87,62 <sup>a</sup> | 95,64 <sup>a</sup> | 6,55  |
| Digestibilidade intestinal      |                     |                    |                    |       |
| <i>Intestinal digestibility</i> |                     |                    |                    |       |
| MS <sup>1</sup>                 | 37,70 <sup>a</sup>  | 46,21 <sup>a</sup> | 42,28 <sup>a</sup> | 16,63 |
| MO <sup>1</sup>                 | 26,92 <sup>a</sup>  | 34,33 <sup>a</sup> | 27,30 <sup>a</sup> | 22,22 |
| PB <sup>2</sup>                 | 96,03 <sup>a</sup>  | 85,07 <sup>a</sup> | 85,83 <sup>a</sup> | 24,04 |
| CT <sup>1</sup>                 | 10,27 <sup>ab</sup> | 14,12 <sup>a</sup> | 1,95 <sup>b</sup>  | 73,85 |
| FDN <sup>1</sup>                | 12,97 <sup>a</sup>  | 12,38 <sup>a</sup> | 4,36 <sup>a</sup>  | 59,00 |

<sup>1</sup>% do total digerido; <sup>2</sup> expresso em % da quantidade que chegou no local

Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste SNK (P<0,05)

Follow values with uperwrite letter different in same line are statistically different by SNK test (P<0,05)

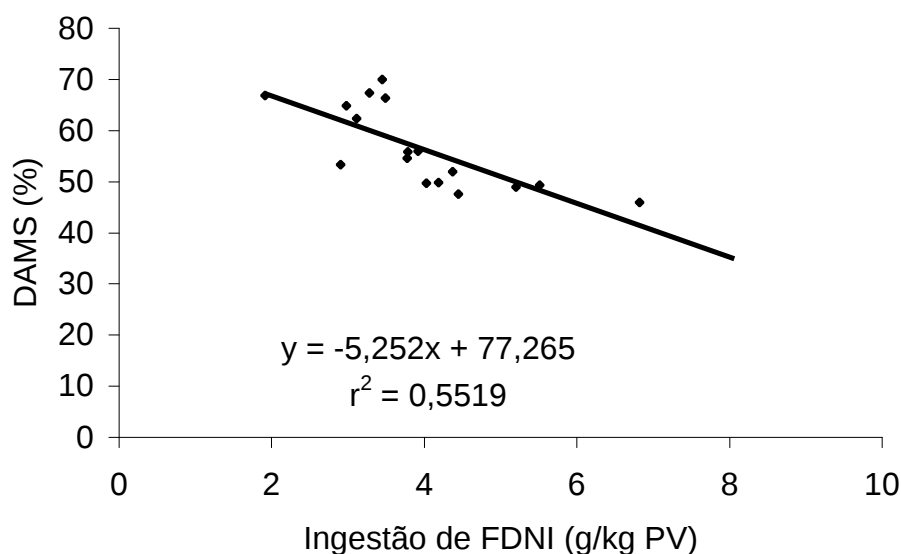


Figura 1 – Estimativa da digestibilidade aparente total da matéria seca (DAMS) em função da ingestão de FDNi (g/kg de PV)

Figure 1 – Estimative of total apparent dry matter digestibility in function of INDF intake (g/kg of LW)

A digestibilidade aparente dos CNF foi maior para a silagem de milho, seguida da silagem de capim-elefante e do feno de capim tifton-85. Os valores para o feno de capim tifton-85 e para a silagem de capim-elefante estão bem abaixo do que é relatado na literatura (VAN SOEST, 1967), pois os CNF apresentam

disponibilidade praticamente completa no trato gastrointestinal dos ruminantes, em média de 0,98.

Entretanto, VAN SOEST (1967), por intermédio do teste da uniformidade nutricional (Lucas et al., 1961, citados por VAN SOEST, 1967), no qual é determinado se as frações químicas dos alimentos permanecem constantes em diferentes espécies de forragens, estabeleceu a regressão entre a quantidade digestível (coeficiente de digestibilidade x concentração na forragem) do conteúdo celular e a sua porcentagem na matéria seca da forragem. Da equação de regressão, o coeficiente angular representa a digestibilidade verdadeira média, enquanto o intercepto, corresponde à excreção endógena do componente. Em seu trabalho, VAN SOEST (1967) encontrou para o conteúdo celular a equação  $Y = -12,9 + 0,98 X$ , ou seja, esta fração apresenta digestibilidade verdadeira média de 98% e excreção endógena média de 12,9% da matéria seca ingerida.

O coeficiente de 98% para a digestibilidade verdadeira do conteúdo celular encontrado por VAN SOEST (1967) está de acordo com a observação de Jarrige (1967), citado por VAN SOEST (1967), de que as fezes dos ruminantes são isentas de carboidratos solúveis. Desta forma, concluiu-se que o conteúdo celular das forragens não apresenta identidade química com o correspondente material solúvel das fezes. Portanto, a digestibilidade aparente dos compostos nitrogenados e do conteúdo celular é função da sua concentração na forragem ou dieta, relativo à sua produção endógena, o que está de acordo com os coeficientes de digestão aparentes obtidas neste estudo.

Com o intuito de estimar a digestibilidade verdadeira e a excreção endógena dos CNF, semelhantemente ao relatado por VAN SOEST (1967), foi feita regressão entre a quantidade digestível dos CNF (conteúdo na dieta x coeficiente de digestão) e a porcentagem destes compostos nas dietas (Figura 2). O coeficiente angular da regressão foi de 1,02, o qual está próximo do valor 0,98 de VAN SOEST (1967), indicando que a digestão verdadeira destes compostos é praticamente completa e, intercepto de -5,27, o que representa a excreção metabólica. Quando este valor de -5,27 relativo à excreção metabólica dos CNF foi subtraído dos CNF fecais, obteve-se o valor de digestão verdadeira média de 96,6%.

A digestibilidade aparente total da MS e MO para a silagem de milho está próxima aos valores de 68 e 66% observados por MORA et al. (1996) e Rocha Júnior (2001, dados não publicados), respectivamente. Rocha Júnior (2001, dados

não publicados) observou coeficiente de digestibilidade aparente total de 50% para o mesmo feno de capim tifton-85, cujo valor é similar ao obtido no presente estudo.

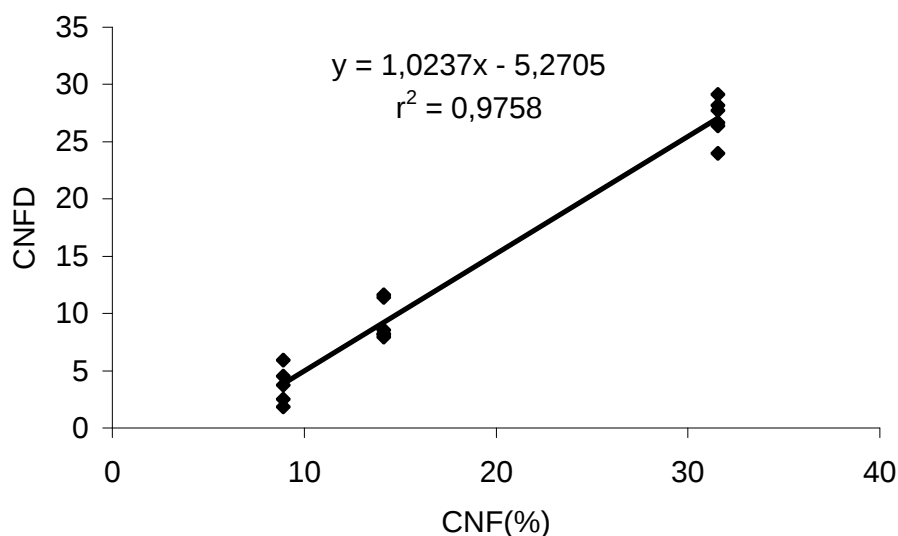


Figura 2 – Estimativa da quantidade digestível dos CNF (CNFD) em função da sua porcentagem na matéria seca das dietas

*Figure 2 – Estimative of digestible amount of the NFC in function of your percentage in dry matter of the diets*

Em decorrência da maior digestão aparente total da MS, a dieta à base de silagem de milho apresentou maior teor em nutrientes digestíveis totais (NDT) que as dietas à base de feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante, cujos valores foram 69,09, 52,42 e 55,54%, respectivamente.

Embora não tenha havido diferença estatística entre as dietas quanto à digestão ruminal da MS e da MO, houve diferença numérica em favor da silagem de milho. Uma vez que a digestão da FDN no rúmen não diferiu entre as dietas, atribui-se aos CNF a contribuição para o aumento da digestão ruminal dos nutrientes para a silagem de milho. Tal fato implica, provavelmente, em aumento das exigências em proteína degradada no rúmen (PDR) para o atendimento das exigências em compostos nitrogenados (N) dos microrganismos fermentadores destes carboidratos (RUSSELL et al., 1992). VALADARES FILHO et al. (1985), embora tenham encontrado digestibilidade aparente total da matéria seca ligeiramente superior (71%) para dietas à base de silagem de milho que a observada neste estudo, obtiveram coeficiente de digestão ruminal similar (62,75%).

A silagem de capim-elefante apresentou maior proporção dos seus CT digeridos no rúmen, bem como de FDN. Considerando as taxas de passagens

estimadas para as respectivas dietas apresentadas em CABRAL (2002), cujos valores médios foram 3,31, 3,11 e 2,86 %/h, para as dietas à base de silagem de milho, de feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante, devido ao menor consumo verificado para a dieta à base de silagem de capim-elefante, pode-se inferir que a maior digestão dos CT e da FDN no rúmen deve-se à lenta taxa de passagem destes compostos do rúmen, uma vez que a taxa de digestão estimada para a FDN deste alimento (CABRAL, 2002) não foi elevada.

Considerando que para a FDN, a digestão medida em ensaios de digestão representa a digestibilidade verdadeira, uma vez que não existe fração metabólica da fibra, com base na digestão da FDN e nas frações dos CT, foi possível quantificar a digestão verdadeira da fração B<sub>2</sub>, ou seja, da FDN potencialmente digestível. Para a silagem de milho, o feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante, a digestão total desta fração foi de 89,06, 99,96 e 99,03%, respectivamente e, com base nisto, pode-se inferir que a distinção da FDN nas frações B<sub>2</sub> e C, permite estimar com acurácia, a disponibilidade da fibra no TGI. O menor valor observado para a digestão da fração B<sub>2</sub> da silagem de milho pode ser atribuído ao maior trânsito das partículas no TGI, em função do elevado consumo.

Para todas as dietas, pelo menos 85% dos CT e da FDN foram digeridos no rúmen. Para as dietas à base de silagem de capim-elefante e de feno de capim tifton-85, cuja maior parte dos CT é representada pela FDN, a sua digestão no rúmen é altamente desejada, considerando a evolução dos ruminantes para eficiente utilização destes carboidratos, bem como o não aproveitamento da proteína microbiana gerada a partir da sua digestão no intestino grosso. Entretanto, a digestão elevada dos CNF oriundos da silagem de milho no rúmen, seria energeticamente menos eficiente, uma vez que a digestão do amido no intestino delgado reduziria as perdas decorrentes de sua fermentação no rúmen. Entretanto, a digestão dos CNF no rúmen pode ser extremamente desejável, quando a maior parte da energia destes compostos é retida pelos microrganismos e utilizada para fins de crescimento, uma vez que a proteína microbiana é a principal fonte de aminoácidos nos intestinos dos ruminantes.

## Conclusões

A dieta à base de silagem de milho apresentou maior consumo de nutrientes digestíveis totais.

O principal local de digestão dos carboidratos totais e da FDN foi o rúmen-retículo.

A FDN indigestível ou fração C dos carboidratos totais pode ser utilizada para prever a digestibilidade de dietas à base de volumosos tropicais.

Estimou-se uma digestibilidade verdadeira de 96,6% para os carboidratos não fibrosos.

## Literatura Citada

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15.ed., Arlington, Virginia. 1990.1117p.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro***. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- COCHRAN, R.C.; ADAMS, D.C.; WALLACE, J.D. et al. Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1476-1483, 1986.
- CRAMPTON, E.W.; DONEFER, E.; LLOYD, L.E. A nutritive value index for forages. **Journal of Animal Science**, v.19, p.538-544, 1960.
- LEÃO, M.I.; COELHO DA SILVA, J.F. Técnica de fistulação de abomaso em bezerros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 1. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 17, 1980, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: SBZ, 1980, p.37.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FORAGE QUALITY, EVALUATION, AND UTILIZATION, 1994, USA, Proceedings... Wisconsin, 1994.
- MERTENS, D.R. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY FORAGES AND INDUSTRIES, 1996, USA, Proceedings..., Wisconsin, 1996.

- MORA, P.J.G., VALADARES FILHO, S.C.; LEÃO, M.I. et al. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia líquida da silagem de milho (*Zea mays L.*) para vacas lactantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.2, p.357-368, 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 6.ed., National Academy Press, Washington, DC, 1989.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient Requirements of beef cattle**. 7.ed., National Academy Press, Washington, D.C., 1996. 242p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001. 381p.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- REID, J.T. Problems of feed evaluation related to feeding dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.11, p.2122-2133, 1961.
- RIBEIRO, K.G.; GARCIA, R.; PEREIRA, O.G. et al. Consumo e digestibilidades aparentes total e parcial, de nutrientes, em bovinos recebendo rações contendo feno de capim-tifton 85 de diferentes idades de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.573-580, 2001.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- VALADARES FILHO, S.C.; COELHO DA SILVA, J.F.; LEÃO, M.I. et al. Digestão total e parcial da matéria seca e carboidratos em bovídeos alimentados com duas proporções de volumoso:concentrado (60:40 e 40:60). 3 – Silagem de Milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.14, n.5, p.599-609, 1985.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. The influence of elephant-grass (*Pennisetum purpureum*, Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.151-161, 1997.
- WALDO, D.R. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.617-631, 1986.

WEISS, P.W. SYMPOSIUM: PREVAILING CONCEPTS IN ENERGY UTILIZATION BY RUMINANTS. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1802-1811, 1993.

**Eficiência Microbiana e Parâmetros Ruminiais em Bovinos Alimentados com Dietas à Base de Silagens de Milho e de Capim-Elefante e Feno de Capim Tifton-85**

**RESUMO** – Foram objetivos do presente trabalho determinar o fluxo de compostos nitrogenados no abomaso, a eficiência microbiana e a concentração de  $\text{N-NH}_3$  e o pH ruminal em função do tempo após a alimentação para as dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85. Foram utilizados 6 bovinos fistulados no rúmen e abomaso em um delineamento em quadrado latino 3 x 3 duplo. O fluxo de matéria seca microbiana foi determinado a partir de utilização das bases purinas como indicador microbiano. As concentrações de  $\text{NH}_3$  e o pH ruminal foram determinados antes da alimentação e 2, 4 e 8 horas após. As dietas à base de silagem de milho e feno de capim tifton-85 proporcionaram maior fluxo de compostos nitrogenados no abomaso. As bactérias isoladas do rúmen apresentaram em média 8,89% de N total e 18,40 para a relação N-RNA:N-total. A dieta à base de silagem de milho proporcionou maior degradação ruminal da matéria orgânica (2,96 kg/dia) e dos carboidratos totais (3,07 kg/dia) e maior fluxo de massa microbiana para o abomaso (788,28 g/dia). As dietas à base de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante apresentaram maior eficiência microbiana, cujos valores foram 28,10 e 30,39 g de N microbiano/kg de carboidratos degradados no rúmen. A dieta à base de silagem de milho proporcionou menores concentrações de  $\text{NH}_3$  e pH ruminal em função do tempo após a alimentação, o que possivelmente, afetou negativamente a eficiência microbiana.

Palavras-chave: compostos nitrogenados, eficiência microbiana, pH ruminal

## **Microbial Efficiency and Ruminal Parameters in Cattle Fed Diets Based on Corn Silage, Elephant-grass Silage and Tifton-85 Bermudagrass Hay**

**ABSTRACT:** The objectives of the present work were to determine the nitrogen compounds flow in abomasum, the microbial efficiency, the  $\text{N-NH}_3$  concentration and ruminal pH in function of time after feeding for diets based on corn silage, elephant-grass silage and Tifton-85 bermudagrass hay. Six rumen and abomasum fistulated cattle were utilized in a double 3x3 latin square. The microbial dry matter flow was determined by purines as microbial marker. The  $\text{N-NH}_3$  concentration and ruminal pH were determined before and 2, 4 and 8 hours after feeding. The diets based on corn silage and tifton-85 bermudagrass hay provided higher nitrogen compounds flow in abomasum. The isolated bacteria of rumen presented average 8.89% of total N and 18.40 for N-RNA:N-total relation. The corn silage diet provided higher ruminal degradation of organic matter (2.96 kg/day) and of total carbohydrates (3.07 kg/day) and higher microbial matter flow for the abomasum (788.28 g/day). The tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage diets presented the greatest microbial efficiencies, whose values were 28.10 and 30.39 g of microbial N/kg of rumen degradable carbohydrates. The corn silage diet provided small  $\text{N-NH}_3$  concentrations and ruminal pH as a function of time after feeding, possible reducing the microbial efficiency.

Key Words: microbial yield, nitrogen compounds, ruminal pH

## Introdução

O rúmen-retículo é o principal local de digestão dos componentes dietéticos nos ruminantes, ação esta exercida pela numerosa e diversa população microbiana. Desta ação, resulta a produção de ácidos graxos voláteis (AGVs) e proteína microbiana, os quais são a principal fonte de energia e aminoácidos absorvidos no intestino delgado, respectivamente (VAN SOEST, 1994).

Sendo a proteína microbiana considerada de boa qualidade, em função do seu perfil em aminoácidos, tem sido objetivo dos nutricionistas de ruminantes o aumento do seu suprimento nos intestinos.

A conversão dos componentes dietéticos em células microbianas, depende de uma seqüência de eventos, dos quais destacam-se: a aderência microbiana ao substrato, por meio de estruturas específicas de adesão, como hexopolissacarídeos e glicocálix, bem como a formação de consórcios microbianos (biofilmes) (McALLISTER et al., 1994); a identificação do substrato por meio de estruturas sensoriais na superfície celular (MOAT e FOSTER, 1995); a síntese dos complexos enzimáticos nos ribossomas; o lançamento destes complexos no meio, ou a sua ação mediada por estruturas conhecidas como celulosomas; a despolimerização dos carboidratos e proteínas da dieta e, conseqüente assimilação dos seus respectivos monômeros, por intermédio dos sistemas de transportes específicos (difusão facilitada, transporte ativo, translocação de grupo, simporte) (MARTIN, 1994; MOAT e FOSTER, 1995;); a hidrólise da glicose e outros açúcares pela via glicolítica ou das pentoses e concomitante liberação de energia (ATP) e poder redutor (NADH e NADPH); a utilização desta energia na síntese de constituintes celulares (proteínas, lipídeos, carboidratos, RNA), o que em última instância, resulta no que denomina-se em microbiologia, de crescimento microbiano, ou seja, a duplicação celular (BROCK et al., 1994; MOAT e FOSTER, 1995).

A eficiência microbiana representa a produção de células microbianas (número ou massa) sintetizada por unidade de substrato utilizado (ATP, carboidratos, matéria orgânica, NDT). Nos sistemas de adequação de dietas para ruminantes, a eficiência microbiana tem sido expressa de diferentes formas, sendo que no NRC (1989) e NRC (2001) ela é estimada a partir do NDT e, no AFRC (1993), considera-se como sendo função da energia metabolizável fermentescível. Já o CNCPS (RUSSELL et al., 1992) considera a eficiência microbiana em função

dos carboidratos digeridos no rúmen, a qual varia com a exigência de manutenção e a taxa de crescimento dos microrganismos, ao contrário do NRC e AFRC, os quais consideram-na como estática.

Dos fatores que afetam a eficiência microbiana, destacam-se: a disponibilidade e a sincronização entre energia e os compostos nitrogenados (N); a exigência de manutenção e a taxa de crescimento (PIRT, 1965); a taxa de passagem da digesta; a composição microbiana, uma vez que a síntese de ácidos nucleicos requer mais energia que a síntese protéica (DIJKSTRA et al., 1998); e as reações de dissipação de energia ou “energy spilling” (VAN KESSEL e RUSSELL, 1996; RUSSELL, 1998).

No CNCPS, objetivando-se maior eficiência microbiana, os microrganismos do rúmen são subdivididos em duas populações: os que fermentam carboidratos não fibrosos, que embora utilizem  $N-NH_3$  como fonte de N, tem nos aminoácidos e peptídeos sua principal fonte; e os que fermentam os carboidratos fibrosos (CF), os quais, embora utilizem somente  $N-NH_3$  como fonte de N, necessitam de ácidos graxos de cadeia ramificada como fator de crescimento (RUSSELL et al., 1992).

Considerando que em condições tropicais, os CF são a maior fonte de energia no rúmen, a disponibilidade de  $N-NH_3$  é crucial nessas condições. NOLAN e LENG (1972) estimaram que de 60 a 90% dos compostos nitrogenados dietéticos (N) são convertidos a  $N-NH_3$  no rúmen e, que de 50 a 80% do N microbiano é oriundo deste. Uma vez presente no rúmen, a  $N-NH_3$  é assimilada pelos microrganismos a partir de duas rotas principais: por meio da enzima glutamato desidrogenase (GDH) e pelas enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase (GS-GOGAT). O sistema GDH, por apresentar baixa afinidade (alto  $K_m$ ), prevalece em condições de elevadas concentrações de  $N-NH_3$ , sem gasto de ATP; entretanto, o GS-GOGAT apresenta alta afinidade (baixo  $K_m$ ) e atua efetivamente em baixas concentrações de  $N-NH_3$ , portanto com gasto de ATP (ERFLE et al., 1977; McSWEENEY et al., 1993; MORRISON e MACKIE, 1996). Considerando que a produção de ATP em ambientes anaeróbicos como o rúmen é relativamente baixa, as vias de assimilação de nutrientes exercem um grande efeito sobre a eficiência microbiana. Desta forma, a manutenção de concentrações adequadas de  $N-NH_3$  é um fator crítico.

SATTER e SLYTER (1974) sugeriram que a concentração mínima de  $N-NH_3$  para não limitar a digestão da fibra foi de 50 mg/L de fluido ruminal. Entretanto, provavelmente, esta não seja a concentração ótima, na qual o crescimento

microbiano é maximizado, sem que ocorram perdas significativas por meio do epitélio ruminal.

Em condições normais, o pH ruminal é mantido em limites fisiológicos (6,6 a 7,2), condição esta desejável para ótima digestão da fibra. Entretanto, algumas condições dietéticas (alto amido), tendem a propiciar o acúmulo de íons  $H^+$  e a redução do pH ruminal, que resulta em redução da síntese microbiana e da digestão da fibra. A redução do crescimento microbiano pode ser resultado do desacoplamento energético, por meio do consumo do gradiente de prótons transmembrana ou pelo acúmulo de ânions no interior celular (RUSSELL et al., 1979; RUSSELL, 1992).

Portanto, os objetivos do presente trabalho foram determinar a eficiência microbiana, a concentração de  $N-NH_3$  e o pH ruminal em bovinos, alimentados com dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85.

### **Material e Métodos**

As dietas, os animais, o delineamento experimental e a determinação dos fluxos de matéria seca abomasal foram descritos por CABRAL (2002). Após os 16 dias utilizados na determinação do consumo e coleta de fezes e de digesta de abomaso para determinação da digestão total e parcial dos nutrientes, no 17<sup>o</sup> dia de cada período, foram coletadas amostras de fluido ruminal nos tempos: antes da alimentação e 2, 4, 6 e 8 horas após, para mensuração do pH e determinação da concentração de  $N-NH_3$ . O pH foi medido imediatamente após a coleta do fluido ruminal por meio de um peagâmetro digital e, 50 mL de fluido foram acondicionados em frasco contendo 1 mL de solução 1:1 de ácido sulfúrico, sendo em seguida mantidos a  $-5^0C$ . Posteriormente, as amostras foram descongeladas para determinação da concentração de  $N-NH_3$ , por meio da sua destilação com KOH 2N, conforme VIEIRA (1980).

O fluxo de N não amoniacal no abomaso foi quantificado pela diferença entre o N total e o  $N-NH_3$ , sendo o último determinado em amostras de conteúdo abomasal, também conforme VIEIRA (1980).

Para determinação da composição microbiana, no 18<sup>o</sup> dia de cada período experimental, foram coletados dois litros de conteúdo ruminal de cada animal para

o isolamento de bactérias (CECAVA et al., 1990). As bases purínicas foram utilizadas como indicadores microbianos e, sua determinação nas bactérias e na digesta abomasal foi feita conforme USHIDA et al. (1985). A quantidade de compostos microbianos presentes no abomaso foi determinada pelo fluxo de N-RNA presente no abomaso dividido pela relação N-RNA:N-total determinado nas bactérias isoladas.

O experimento foi analisado segundo um delineamento em quadrado latino duplo 3x3, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + Q_i + T_j + P_k + A_{(i)l} + QT_{ij} + e_{ijkl}$$

em que:

$\mu$  = constante geral;

$Q_i$  = efeito referente ao quadrado latino  $i$ ;

$T_j$  = efeito referente ao tratamento ou dieta  $j$ ;

$P_k$  = efeito referente à linha ou período  $k$ ;

$A_{(i)l}$  = efeito de coluna ou animal  $l$ , aninhado ao quadrado latino  $i$ ;

$QT_{ij}$  = efeito da interação entre o quadrado latino  $i$  e o tratamento  $j$ ;

$e_{ijkl}$  = erro aleatório, pressuposto NID  $(0, \sigma^2)$ .

O valor da estatística  $F$  para tratamento foi calculada pela razão entre os quadrados médios para tratamentos e a interação entre quadrado latino e tratamentos. A comparação entre médias foi realizada por intermédio do teste de Student-Newman-Keulls, adotando-se  $\alpha = 0,05$ .

As análises estatísticas para as variáveis pH ruminal e concentração ruminal de N-NH<sub>3</sub> foram realizadas por intermédio da subdivisão das parcelas em função dos tempos de avaliação.

## Resultados e Discussão

A ingestão de compostos nitrogenados (N) e o seu fluxo no abomaso e nas fezes são apresentados na Tabela 1. As dietas à base de silagem de milho e feno de capim tifton-85, devido ao maior consumo de matéria seca (CABRAL, 2002), proporcionaram maior ingestão de N que a silagem de capim-elefante. Conseqüentemente, o fluxo de N total no abomaso e o de N não amoniacal (NNA) foram superiores para as duas primeiras dietas.

Tabela 1 – Médias e coeficientes de variação (CV) para os compostos nitrogenados (N) ingeridos, presentes no abomaso e nas fezes para as dietas à base das silagens de milho (SM) e de capim-elefante (SCE) e feno de capim tifton-85 (FCT)  
 Table 1 – Average and variation coefficients for the nitrogen compounds intake, in the abomasum and feces present nitrogen for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH) and elephant-grass silage (ES) diets

| Itens                                                                            | Dietas                  |                     |                    |        |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|--------|
|                                                                                  | Diets                   |                     |                    | CV (%) |
|                                                                                  | SM<br>CS                | FCT<br>TH           | SCE<br>ES          |        |
|                                                                                  | Quantidade de N (g/dia) |                     |                    |        |
|                                                                                  | <i>N amount (g/day)</i> |                     |                    |        |
| N total ingerido<br><i>Total N intake</i>                                        | 122,04 <sup>a</sup>     | 110,26 <sup>a</sup> | 85,08 <sup>b</sup> | 13,40  |
| N total no abomaso<br><i>Total N in abomasum</i>                                 | 119,29 <sup>a</sup>     | 98,84 <sup>a</sup>  | 74,78 <sup>b</sup> | 26,88  |
| N-NH <sub>3</sub> no abomaso <sup>1</sup><br><i>N-NH<sub>3</sub> in abomasum</i> | 6,00                    | 9,07                | 6,23               | 61,89  |
| NNA no abomaso <sup>2</sup><br><i>NAN in abomasum</i>                            | 113,13                  | 89,77               | 69,06              | 30,86  |
| N Mic no abomaso <sup>3</sup><br><i>Mic N in abomasum</i>                        | 67,25                   | 55,22               | 53,14              | 17,50  |
| N total na fezes<br><i>Total N in feces</i>                                      | 34,10 <sup>a</sup>      | 29,74 <sup>a</sup>  | 22,84 <sup>b</sup> | 17,21  |

<sup>1</sup> compostos nitrogenados amoniacais – *Amoniacal nitrogen compounds*

<sup>2</sup> compostos nitrogenados não amoniacais – *Non amoniacal nitrogen compounds (NAN)*

<sup>3</sup> compostos nitrogenados microbianos – *Microbial nitrogen compounds (Mic N)*

Valores seguidos com letras sobrescritas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste SNK (P<0,05)

Embora existam diferenças numéricas, não foi detectada diferença estatística para o fluxo de N microbiano no abomaso para as dietas avaliadas. A proporção de N microbiano no abomaso em relação ao NNA foi de 59, 61 e 77% para as dietas à base de silagem de milho, feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante. Embora o valor médio de 65,66% de N microbiano em relação ao NNA no abomaso esteja um pouco abaixo do valor de 73,6% observado por KLUSMEYER et al. (1990) e de 80,72% encontrado por CARDOSO et al. (2000), este está

próximo ao valor médio de 61,5% verificado por DIAS (1999). A maior proporção numérica observada para a silagem de capim-elefante pode ser atribuída à elevada porcentagem de seu N total ser NNP, o qual é rapidamente utilizado no rúmen e, devido ao baixo consumo observado, resultando em elevado tempo de residência dos nutrientes no rúmen, aumentando com isso a sua degradação ruminal, fazendo com que o N microbiano represente a maior proporção do N no abomaso.

A excreção fecal de N foi superior para as dietas à base de silagem de milho e de feno de capim tifton-85 em relação à de silagem de capim-elefante, em virtude, possivelmente, de sua maior ingestão, uma vez que não houve diferença quanto à digestão do N para os alimentos.

Na Tabela 2 é apresentada a composição microbiana para as dietas à base de silagem de milho, de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante. Não foram verificadas diferenças quanto ao teor de MO, N-total, CT e N-RNA em função das dietas, com exceção do teor de EE, que foi superior para as bactérias oriundas dos animais submetidos à dieta de silagem de capim-elefante. O teor de MO observado foi inferior aos valores de 91,07 e 89,2% obtidos por CARDOSO et al. (2000) e VALADARES FILHO (1995), respectivamente, mas foi próximo ao valor de 77,5% descrito por CLARK et al. (1992). Tal fato pode ser atribuído à contaminação com a solução salina durante o processo de isolamento. Desta forma, os valores de N total foram expressos com base na MO, estando assim, próximos aos verificados por vários autores (DIAS, 1999; CARDOSO et al., 2000). Com base nisso, a relação média N-RNA:N-total observada expressa na base da MO, foi de 18,40, estando este valor acima da maioria dos trabalhos feitos no Brasil.

Embora não significativo, as bactérias oriundas do rúmen dos animais alimentados com dieta à base de silagem de milho apresentaram, em termos numéricos, maior teor de carboidratos totais (CT). Tal tendência pode ser atribuída ao elevado teor de CNF na dieta, os quais por serem de rápida fermentação ruminal, tendem a ser armazenados pelas bactérias, principalmente, quando há limitação em N.

Tabela 2 – Médias e coeficientes de variação (CV) para os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), compostos nitrogenados (N), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), N-RNA e relação N-RNA:N-total das bactérias isoladas do rúmen obtidas para as dietas à base das silagens de milho (SM) e de capim-elefante (SCE) e feno de capim tifton-85 (FCT)

Table 2 – Average and variation coefficients for the amount of dry matter (DM), organic matter (OM), nitrogen compounds (N), ether extract (EE), total carbohydrate (TC), N-RNA and N-RNA:N-total relation of bacterial isolated of rumen obtained for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH) and elephant-grass silage (ES) diets

| Ítems              | Dietas |       |       |       |        |
|--------------------|--------|-------|-------|-------|--------|
|                    | Diets  |       |       |       |        |
|                    | SM     | FCT   | SCE   | Média | CV (%) |
|                    | CS     | TH    | ES    |       |        |
| MS (%)             | 85,16  | 85,13 | 84,72 | 85,00 | -      |
| DM                 |        |       |       |       |        |
| MO <sup>1</sup>    | 73,53  | 71,55 | 73,64 | 72,90 | 6,31   |
| OM                 |        |       |       |       |        |
| N (%MO)            | 8,52   | 9,47  | 8,68  | 8,89  | 9,38   |
| N (% OM)           |        |       |       |       |        |
| EE <sup>1</sup>    | 3,42   | 2,72  | 4,04  | 3,39  | 17,70  |
| CT <sup>1</sup>    | 32,07  | 28,86 | 30,24 | 30,39 | 13,31  |
| TC                 |        |       |       |       |        |
| N-RNA <sup>1</sup> | 1,62   | 1,63  | 1,65  | 1,63  | 5,00   |
| N-RNA:N (% MO)     | 19,00  | 17,21 | 19,01 | 18,40 |        |

<sup>1</sup> % na MS - % in dry matter

A degradação ruminal dos CT e MO, em kg/dia, bem como a eficiência microbiana, são apresentados na Tabela 3. A degradação ruminal dos CT e da MO foi superior para a dieta à base de silagem de milho em relação as outras duas dietas, uma vez que esta apresentou elevado teor de CNF, os quais por apresentarem rápida taxa de digestão ruminal (CABRAL, 2002), tendem a ser quase completamente digeridos no rúmen, sendo muito pouco afetados pela variação na taxa de passagem. Conseqüentemente, o fluxo de MS microbiana no abomaso, embora sem diferença significativa, foi 28 e 32% maior para a dieta à base de silagem de milho que para a de silagem de capim-elefante e de feno de capim tifton-85, respectivamente.

Tabela 3 – Médias e coeficientes de variação (CV) para a matéria orgânica degradada no rúmen (MODR), carboidratos totais digeridos no rúmen (CTDR), matéria seca microbiana no abomaso (MS mic.) e eficiência microbiana, expressa como g de MS microbiana/kg CTDR (1), g N microbiano/kg CTDR (2), g N microbiano/kg MODR (3) e g PB microbiana/kg NDT (4) obtidos para as dietas à base das silagens de milho (SM) e de capim-elefante (SCE) e feno de capim tifton-85 (FCT)

Table 3 – Average and variation coefficients for the amount of organic matter (MODR) and total carbohydrates degraded in the rumen (CTDR), microbial dry matter (MS Mic) flow in the abomasum and microbial efficiency expressed as g microbial dry matter/kg total carbohydrate degraded in the rumen (1), g N microbial/kg total carbohydrate degraded in the rumen (2), g microbial N/kg organic matter degraded in the rumen (3) and g microbial crude protein/kg TDN (4) obtained for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH) and elephant-grass silage (ES) diets

| Itens       | Dietas              |                     |                     |        |
|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
|             | Diets               |                     |                     |        |
|             | SM<br>CS            | FCT<br>TH           | SCE<br>ES           | CV (%) |
| MODR (kg)   | 2,96 <sup>a</sup>   | 1,78 <sup>b</sup>   | 1,62 <sup>b</sup>   | 18,34  |
| CTDR (kg)   | 3,07 <sup>a</sup>   | 1,96 <sup>b</sup>   | 1,77 <sup>b</sup>   | 17,27  |
| MS Mic. (g) | 788,28 <sup>a</sup> | 592,72 <sup>a</sup> | 614,55 <sup>a</sup> | 20,84  |
| 1           | 253,36 <sup>b</sup> | 299,81 <sup>a</sup> | 351,57 <sup>a</sup> | 22,17  |
| 2           | 21,59 <sup>b</sup>  | 28,10 <sup>a</sup>  | 30,39 <sup>a</sup>  | 20,44  |
| 3           | 22,62 <sup>b</sup>  | 32,31 <sup>a</sup>  | 34,03 <sup>a</sup>  | 28,36  |
| 4           | 97,11 <sup>b</sup>  | 105,14 <sup>b</sup> | 135,22 <sup>a</sup> | 12,34  |

Valores seguidos com letras sobresscritas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo teste SNK (P<0,05)

Embora para o feno de capim tifton-85 a degradação ruminal dos CT tenha sido ligeiramente superior à da silagem de capim-elefante, o fluxo de massa microbiana foi numericamente superior para esta última, provavelmente devido a melhor sincronização entre N e energia no rúmen desta, pois as taxas de digestão estimadas para os CF e CNF do feno de capim tifton-85 foram ligeiramente inferiores às estimadas para a silagem (CABRAL, 2002). Desta forma, como o feno de capim tifton-85 apresentou elevado teor de CF, cuja taxa de digestão é relativamente lenta, pode-se inferir que houve limitação de energia para crescimento microbiano, fazendo com que grande parte dessa energia fosse utilizada para fins de manutenção (PIRT, 1965).

A eficiência microbiana, em qualquer forma de expressão, foi inferior para a dieta de silagem de milho, destacando-se a eficiência da dieta de silagem de capim-elefante, a qual, está próxima da eficiência de 130 g de PB microbiana/kg de NDT assumida pelo NRC (2001).

HOOVER e STOKES (1991), por meio de estudos com fermentadores contínuos e com vacas de leite, verificaram que embora o acréscimo de CNF na dieta acarretava aumento da digestão ruminal dos CT, não apresentou qualquer efeito sobre a eficiência microbiana. Entretanto, a eficiência microbiana respondeu linearmente ao aumento de proteína degradada no rúmen. Considerando que a dieta à base de silagem de milho apresentou teor elevado de CNF e, que o teor protéico da dieta foi moderado, pode-se inferir que a eficiência microbiana foi limitada pela disponibilidade de N, o que pode ser confirmado pelas baixas concentrações de N amoniacal (Figura 1). Nesta condição, como a energia não era limitante, provavelmente os microrganismos utilizaram uma parcela desta nas reações de “Energy Spilling”, como tentativa de dissipar o excesso de energia (VAN KESSEL e RUSSELL, 1996; RUSSELL, 1998). Adicionalmente, o requisito de manutenção dos microrganismos que fermentam CNF é de 0,15 g de carboidrato/g de célula/h, a qual é três vezes maior que a dos microrganismos fermentadores de CF (0,05 g carboidrato/g célula/h) (RUSSELL et al., 1992) e, desta forma, partindo do princípio que o crescimento microbiano na dieta à base de silagem de milho foi limitado pela disponibilidade de N, o requisito de manutenção pode ter representado grande proporção no total de energia utilizada pela célula.

Considerando que a proteína é o componente microbiano de maior interesse pelos nutricionistas de ruminantes e que a composição microbiana pode ser alterada com os fatores dietéticos, NOCEK e RUSSELL (1988) sugeriram que a eficiência microbiana seja expressa com base no N microbiano sintetizado, pois desta forma, as variações devido à composição tendem a ser minimizadas. Adicionalmente, como os carboidratos são a principal fonte de energia para os microrganismos (RUSSELL et al., 1992), a eficiência microbiana, provavelmente, seja mais corretamente expressa em função dos CT digeridos no rúmen.

RUSSELL et al. (1992), baseado nos requisitos de manutenção dos microrganismos e nas respectivas taxas de crescimento, calcularam o máximo rendimento teórico dos microrganismos, como sendo de 0,4 g de massa microbiana/g carboidrato fermentado.

Entretanto, tem sido observado na literatura nacional e internacional, valores maiores que 0,5 (500 g de massa microbiana/kg de carboidrato) para a eficiência microbiana, possivelmente resultantes de erros na determinação dos fluxos de matéria seca abomasal. Entretanto, neste estudo, a eficiência microbiana apresentou

valor médio de 0,3 (300 g de massa microbiana/kg de carboidrato digerido), que embora pareça muito baixo, está próximo dos valores observados por VIEIRA et al. (2000), quando expressa como g de N microbiano/kg CTDR, os quais variaram de 19 a 30g de N microbiano/kg de CTDR.

Na Figura 1 pode ser visualizado o comportamento da concentração de N-NH<sub>3</sub> ruminal para as respectivas dietas, em função do tempo. As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados foram:

$$\hat{Y} \text{ NH}_3 = 8,24 + 2,59 T - 0,3645 T^2 \text{ (SM)}; \hat{Y} \text{ NH}_3 = 10,15 + 7,32T - 0,8647T^2 \text{ (FCT)}; \\ \hat{Y} \text{ NH}_3 = 7,13 + 8,84T - 0,9399T^2 \text{ (SCE)}$$

Foram verificadas diferenças significativas quanto à concentração de N-NH<sub>3</sub> ruminal nos tempos em função da dieta, onde para a silagem de milho de milho (SM), foram detectadas as menores concentrações, o que é atribuído à rápida utilização desta pelos microrganismos que fermentam CNF. Foram estimadas concentrações máximas de N-NH<sub>3</sub> ruminal de 12,84 mg/dL às 3,55h após a alimentação, de 25,64 mg/dL às 4,23h e de 27,91 mg/dL às 4,7h, respectivamente, para as dietas à base de silagem de milho, de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante.

Para as dietas à base de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante, as concentrações de N-NH<sub>3</sub> obtidas 4 horas após a alimentação mantiveram-se acima de 20 mg/dL de fluido ruminal e, depois caíram para 14 e 18 mg/dL, 8 horas após. Estas concentrações de N-NH<sub>3</sub> teoricamente são adequadas para atender as exigências em N dos microrganismos que fermentam CF, os quais predominam no rúmen, provavelmente, e desta forma, pode-se inferir que o crescimento microbiano foi limitado pela disponibilidade de energia, a qual era, em sua maioria, oriunda dos CF.

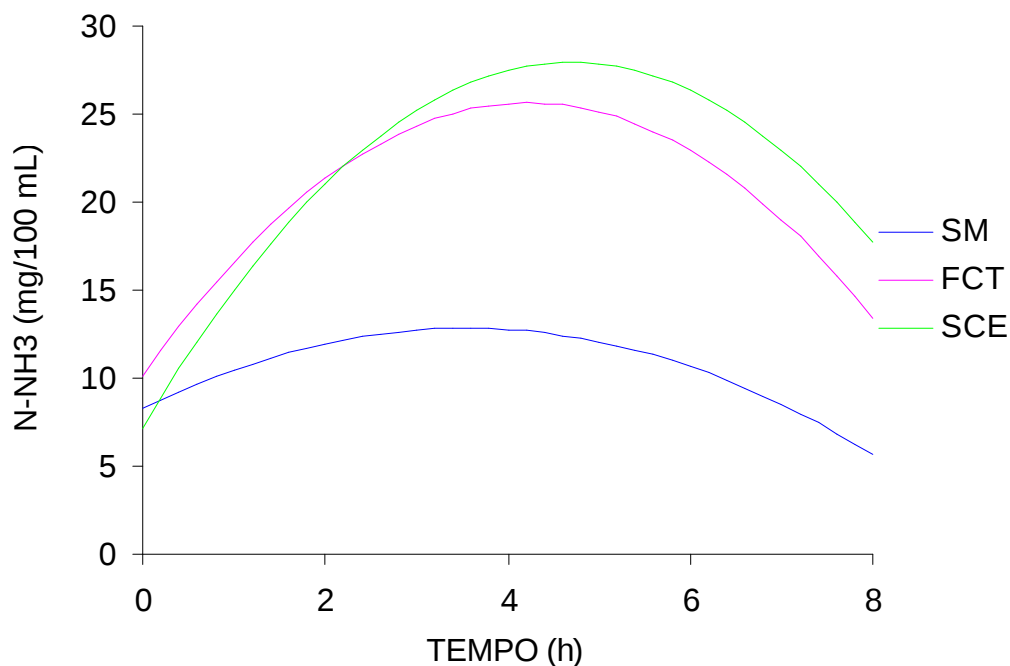


Figura 1 – Estimativas da concentração de  $\text{NH}_3$  ruminal em função do tempo após a alimentação para as dietas à base das silagens de milho (SM) e de capim-elefante (SCE) e feno de capim tifton-85 (FCT)

Figure 1 – Estimative of ruminal  $\text{NH}_3$  concentration in function of time after feeding for corn silage (SM), elephant-grass silage (SCE) and tifton-85 bermudagrass hay (FCT) diets

Considerando as menores concentrações de  $\text{N-NH}_3$  ruminal observadas para a dieta à base de silagem de milho, pode-se inferir duas coisas: primeiramente, a principal forma de assimilação da  $\text{N-NH}_3$ , provavelmente seja por intermédio da GS-GOGAT, a qual por envolver gasto de ATP, tende a reduzir a eficiência; em segundo lugar, para dietas à base de silagem de milho, o teor protéico da dieta deve ser elevado para permitir maior eficiência dos microrganismos na utilização da energia disponível. O Contrário pode ser dito para as dietas à base de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante.

Na Figura 2 é apresentado o comportamento do pH ruminal em função do tempo após a alimentação para as respectivas dietas. Os valores de pH para as dietas de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante mantiveram-se dentro dos limites fisiológicos ao longo dos tempos de mensuração, entretanto, para a silagem de milho, no tempo 8 horas, foi atingido o pH de 6,07. Foram estimados para as dietas à base de silagem de milho valor de pH mínimo de 6,05 às 7,1h após

a alimentação, e para o feno de capim tifton-85 valor máximo de 7,04 às 1,17h, para a dieta de silagem de capim-elefante o comportamento foi linear.

As equações de regressão que melhor explicaram a variação no pH ruminal em função do tempo foram:

$$\hat{Y}_{\text{pH}} = 7,03 - 0,266 T + 0,01819 T^2 \text{ (SM)}; \hat{Y}_{\text{pH}} = 7,03 + 0,02231T - 0,009489 T^2 \text{ (FCT)};$$

$$\hat{Y}_{\text{pH}} = 7,35 - 0,1231 T \text{ (SCE)}$$

Devido à rápida fermentação dos CNF e, à alteração da população microbiana, quando estes são incluídos em elevadas quantidades na dieta, é aumentada a taxa de produção de ácidos totais, bem como o aumento da produção de ácido láctico, promovendo desta forma, a queda do pH ruminal. Tais condições dietéticas, têm como conseqüências, a redução do crescimento microbiano e da digestão da fibra, afetando com isso o consumo e o desempenho, mas em casos extremos, podem causar ruminite, paraqueratose, abscessos no fígado, acidose sistêmica e laminite. Desta forma, dietas desta natureza devem ser utilizadas com cautela.

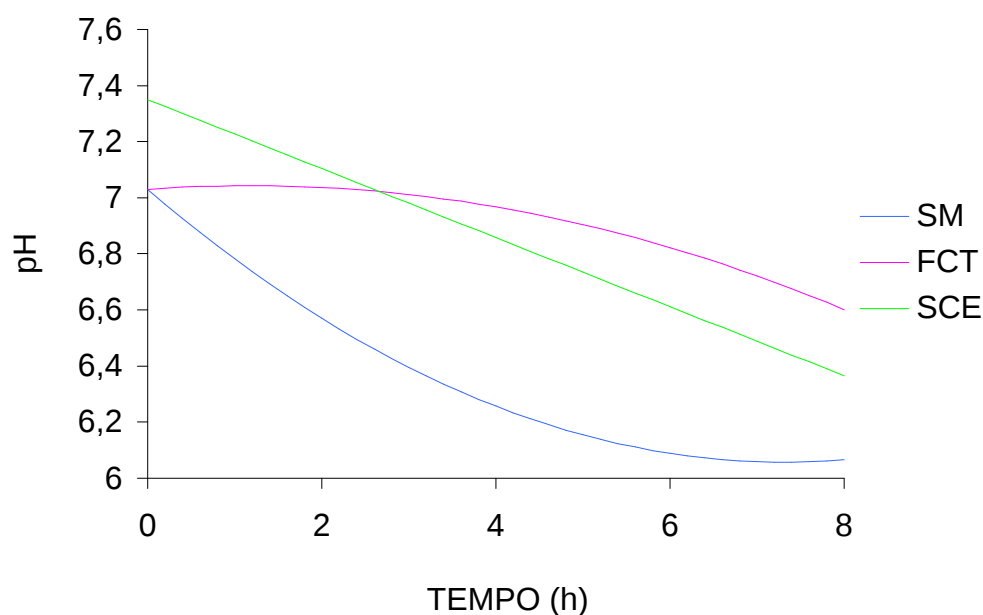


Figura 2 – Estimativas do pH ruminal em função do tempo após a alimentação para as dietas à base de silagem de milho (SM), feno de capim tifton-85 (FCT) e silagem de capim-elefante (SCE)

*Figure 2 – Estimative of ruminal pH in function of time after feeding for corn silage (SM), tifton-85 bermudagrass hay (FCT) and elephant-grass hay (SCE) diets*

## Conclusões

A dieta à base de silagem de milho proporcionou maior degradação ruminal dos carboidratos totais e melhor fluxo de massa microbiana no abomaso.

A eficiência microbiana foi maior para as dietas à base de feno de capim tifton-85 e de silagem de capim-elefante.

A dieta à base de silagem de milho proporcionou mais baixas concentrações de  $\text{NH}_3$  e menores valores de pH em função do tempo.

## Literatura Citada

- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. *Energy and protein requirements of ruminants*. CAB International, Cambridge University Press, Cambridge, 1993, 159p.
- BROCK, T.D.; MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M., et al. **Biology of Microorganisms**. 7.ed., Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994. 909p.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro***. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- CLARK, J.H.; KLUSMEYER, T.H.; CAMERON, M.R. Microbial proteins synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.8, p.2304-2323, 1992.
- CARDOSO, R.C.; VALADARES FILHO, S.C.; COELHO DA SILVA, J.F. et al. Síntese microbiana, pH e concentração de amônia ruminal e balanço de compostos nitrogenados, em novilhos F1 Limousin X Nelore. ônia ruminal e balanço de compostos nitrogenados, em novilhos F1 Limousin X Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1844-1852, 2000.
- CECAVA, M.J.; 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.
- DIAS, H.L.C. **Consumo, digestibilidades aparentes totais e parciais de dietas contendo diferentes níveis de concentrado, em novilhos F1 Limousin x Nelore**. Viçosa, MG:UFV, 1999, 76p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; DAVIES, D.R. Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.3370-3384, 1998.
- ERFLE, J.D.; SAUER, F.D.; MAHADEVAN, S. Effect of ammonia concentration on activity of enzymes of ammonia assimilation and on synthesis of amino

- acids by mixed rumen bacteria in continuous culture. **Journal of Dairy Science**, v.60, p.1064-1072, 1977.
- HOOVER, W.H.; STOKES, S.R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3630-3644, 1991.
- KLUSMEYER, T.H.; McCARTHY, R.D.; CLARK, J.H. Effects of source and amount of protein on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.12, p.3526-3537, 1990.
- McALLISTER, T.A.; BAE, H.D.; JONES, G.A. et al. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. **Journal of Animal Science**, v.72, p.3004-3018, 1994.
- MARTIN, S.A. Nutrient transport by ruminal bacteria: A review. **Journal of Animal Science**, v.72, p.3019-3031, 1994.
- McSWEENEY, C.S.; MACKIE, R.I.; WHITE, B.A. Transport and intracellular metabolism of major feed compounds by ruminal bacteria: The potential for metabolic manipulation. **Australian Journal of Agricultural Research**, 1994.
- MOAT, A.G.; FOSTER, J.W. **Microbial physiology**. 3.ed., New York, 1995, 580p.
- MORRISON, M.; MACKIE, R.I. Nitrogen metabolism by ruminal microorganisms: current understanding and future perspectives. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.227-246, 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 6.ed., National Academy Press, Washington, DC, 1989, 157p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001, 381p.
- NOCEK, J.E.; RUSSELL, J.B. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.8, p.2070-2107, 1988.
- NOLAN, J.V.; LENG, R.A. Dynamic aspects of ammonia and urea metabolism in sheep. **British Journal of Nutrition**, v.27, p.177-194, 1972.
- PIRT, S.J. The maintenance energy of bacteria in growing cultures. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B. Biol. Sci.* 163:224, 1965.
- RUSSELL, J.B.; SHARP, W.M.; BALDWIN, R.L. The effect of pH on maximum bacterial growth rate and its possible role as a determinant of bacterial competition in the rumen. **Journal of Animal Science**, v.48, n.2, p.251-255, 1979.
- RUSSELL, J.B. Another explanation for the toxicity of fermentation acids at low pH: anion accumulation versus uncoupling. **Journal Applied Bacteriology**, v.73, p.363-370, 1992.

- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- RUSSELL, J.B. Strategies that ruminal bacteria use to handle excess carbohydrate. **Journal of Animal Science**, v.76, n.8, p.1955-1963, 1998.
- SATTER, L.D.; SLYTER, L.L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial production in vitro. **British Journal of Nutrition**, v.32, n.2, p.199-208, 1974.
- USHIDA, K.; LASSALAS, B.; JOUANY, J.P. Determination of assay parameters for RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry. Influence of sample treatment and preservation. **Reproduction and Nutrition Development**, v.25, n.6, p.1037-1046, 1985.
- VALADARES FILHO, S.C. Eficiência de síntese de proteína microbiana, degradação ruminal e digestibilidade intestinal da proteína bruta, em bovinos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES. 1995, Viçosa,. *Anais...* Viçosa: DZO/UFV, 1995. p.355-388.
- VAN KESSEL, J.S.; RUSSELL, J.B. The effect of amino nitrogen on the energetics of ruminal bacteria and its impact on energy spilling. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.7, p.1237-1243, 1996.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- VIEIRA, P.F. **Efeito do formaldeído na proteção de proteínas e lipídeos em rações para ruminantes**. Viçosa, MG: UFV, 1980. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1980.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal: Aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.898-909, 2000.

## **Taxas de Digestão das Frações Protéicas e de Carboidratos para as Silagens de Milho e de Capim-Elefante, o Feno de Capim Tifton-85 e o Farelo de Soja**

**RESUMO** – O presente trabalho objetivou determinar as frações nitrogenadas e de carboidratos e estimar as respectivas taxas de digestão para as silagens de milho e de capim-elefante, o feno de capim tifton-85 e o farelo de soja. Foram determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), carboidratos totais (CT), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), FDN corrigida para o seu conteúdo em cinzas e proteínas (FDNcp), FDN indigestível (FDNI), os compostos nitrogenados não-protéicos (NNP) e as frações nitrogenadas B1+B2, B3 e C, os carboidratos não fibrosos (CNF) e as frações B2 e C dos CT. As taxas de digestão das frações dos CT foram estimadas por meio da técnica de produção de gases *in vitro*, enquanto as das frações protéicas foram obtidas pela utilização de proteases ruminais. As silagens de milho e de capim-elefante destacaram-se pela maior proporção dos seus compostos nitrogenados (N) na forma de NNP, o feno de capim tifton-85 destacou-se pela elevada proporção de B1+B2 e de fração B3 e, o farelo de soja pela elevada proporção de B1+B2. Quanto às frações dos carboidratos, a silagem de milho e o farelo de soja destacaram-se pela elevada proporção de CNF (37,05 e 75,75%), e o feno de capim tifton-85 e a silagem de capim-elefante pelo elevado teor das frações B2 e C (51,20 e 51,70%, 41,77 e 33,56%). As taxas de digestão das frações PSDN e B3 da PB variaram de 0,0469 a 0,1512 h<sup>-1</sup> para o farelo de soja e silagem de capim-elefante e de 0,0081 a 0,0757 h<sup>-1</sup> para o feno de capim tifton-85 e silagem de capim-elefante, respectivamente. As taxas de digestão estimadas para os CNF e a fração B2 variaram de 0,1294 a 0,1905 h<sup>-1</sup> e de 0,0254 a 0,0300 h<sup>-1</sup> para o feno de capim tifton-85 e a silagem de milho, respectivamente.

Palavras-chave: carboidrato, cinética, proteína, ruminante

## **Digestion Rate of Protein and Carbohydrate Fractions for Corn Silage, Tifton-85 Bermudagrass Hay, Elephant-grass silage and Soybean Meal**

**ABSTRACT:** The present work objectified to determine the nitrogen and carbohydrates fractions and to estimate the respective digestion rates for corn silage, tifton-85 bermudagrass hay, elephant-grass silage and soybean meal. The content of dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, total carbohydrates (TC), neutral detergent fiber (NDF), NDF corrected for ash and protein (NDFcp), indigestible NDF (INDF), non-protein nitrogen compounds (NPN) and B1+B2, B3 and C nitrogen fractions, non-fiber carbohydrates and B2 and C carbohydrates fractions were determined. The digestion rates of TC were estimated by *in vitro* gas production technique, while of protein fractions were obtained by ruminal proteases utilization. The corn silage and elephant-grass silage presented high NPN proportion, the tifton-85 bermudagrass hay presented high proportions of B1+B2 and B3 fractions and the soybean meal by high B1+B2 fraction. For carbohydrate fractions, the corn silage and soybean meal presented high CNF proportion (37.05 and 75.75%) and the tifton-85 bermudagrass hay and the elephant-grass silage high B2 and C fractions (51.20 and 51.70%, 41.77 and 33.56%). The digestion rates of B1+B2 and B3 protein fractions ranged from 0.0469 to 0.1512 h<sup>-1</sup> for soybean meal and elephant-grass silage and from 0.0081 to 0.0757 h<sup>-1</sup> for the tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage, respectively. The estimated digestion rates for the NFC and B2 fraction of TC ranged from 0.1294 to 0.1905 h<sup>-1</sup> and from 0.0254 to 0.0300 h<sup>-1</sup> for the tifton-85 bermudagrass hay and corn silage, respectively.

Key Words: carbohydrate, kinetic, protein, ruminant

## Introdução

Os requisitos nutricionais dos ruminantes, nos trópicos, são atendidos pela ingestão dos nutrientes contidos nas diversas partes das gramíneas tropicais, os quais são armazenados por intermédio da fixação da energia luminosa durante a fotossíntese. Nestas gramíneas, verifica-se elevada taxa de crescimento e produção de matéria seca, em virtude da maior eficiência na fixação de carbono ( $C_4$ ) que as gramíneas temperadas ( $C_3$ ), mas a maior porção desta energia está associada aos polímeros da parede celular, os quais apresentam função de sustentação e proteção. O aproveitamento desta última fonte de energia é dependente da ação microbiana nos compartimentos fermentativos dos ruminantes.

A disponibilidade de energia e proteína são os fatores que mais afetam o desempenho dos animais (VAN SOEST, 1994) e, particularmente nos trópicos, acentua-se ainda mais, pois o consumo é restrito pelas características químicas, físicas e anatômicas das gramíneas tropicais (JUNG e DEETZ, 1993; WILSON, 1994). Consequentemente, o desempenho dos animais é limitado pela capacidade de ingestão em níveis abaixo da capacidade dos animais e da disponibilidade de massa verde. Desta forma, a determinação do valor nutricional destas forrageiras torna-se de fundamental importância, para que se possa por meio da seleção de espécies ou de variedades de plantas, ou pela adequação dietética, melhorar os índices produtivos.

A proteína microbiana sintetizada no rúmen é a principal fonte de aminoácidos disponível no intestino dos ruminantes, com isso, a eficiência máxima de conversão dos constituintes da parede celular vegetal em massa microbiana tem sido o maior objetivo dos nutricionistas de ruminantes. A síntese de proteína microbiana ocorre por meio da conversão das diversas formas de compostos nitrogenados (N), mediante utilização de energia oriunda dos carboidratos dietéticos, em polímeros de aminoácidos microbianos. Adicionalmente, uma série de minerais são necessários, os quais atuam como integrantes de moléculas que desempenham principalmente, função enzimática.

Considerando que os alimentos tropicais apresentam elevado teor de carboidratos fibrosos (CF), os quais apresentam lenta digestão no rúmen e, que as fontes protéicas são rapidamente degradadas, pode-se inferir que a disponibilidade

de energia por unidade de tempo é fator que mais tem limitado a síntese microbiana.

Visando maximizar a eficiência microbiana no rúmen, bem como a eficiência dietética como um todo, o sistema Cornell (SNIFFEN et al., 1992; RUSSELL et al., 1992) idealiza a sincronização dos carboidratos e proteínas dietéticos. Com isso, a população microbiana é separada de acordo com as exigências em compostos nitrogenados (N) e fontes de energia, tornando necessária a determinação destas frações nos alimentos, bem como de suas taxas de digestão para uma boa adequação dietética (RUSSELL et al., 1992). Embora desenvolvido em condições muito distintas do Brasil, principalmente quanto às condições climáticas e forrageiras utilizadas, os conceitos mecanicistas implícitos do sistema Cornell, particularmente os relativos ao ambiente ruminal, o habilitam a ser utilizado em várias condições. Desta forma, a determinação das frações de carboidratos e proteínas dos alimentos e de suas taxas de digestão, torna-se necessária.

A digestão dos nutrientes no trato gastrointestinal (TGI) é um processo dependente do tempo e, desta forma, a taxa de digestão de um componente dietético, relativa à sua taxa de passagem, é um fator crítico que afeta a digestibilidade. Nutrientes não-fibrosos, por apresentarem elevada taxa de digestão ruminal, são pouco afetados quanto à digestibilidade, pela variação na taxa de passagem; enquanto que os nutrientes fibrosos, tendem a ser grandemente afetados pela variação na taxa de passagem, uma vez que apresentam lenta taxa de digestão (MERTENS, 1993; MERTENS, 1996). Desta forma, a estimativa das taxas de digestão dos constituintes dos alimentos é de importância fundamental na adequação dietética e na predição do desempenho.

A técnica de produção de gases vem sendo amplamente utilizada para estimar a taxa de digestão dos carboidratos fibrosos e não-fibrosos (PELL e SCHOFIELD, 1993; MALAFAIA et al., 1998; CABRAL et al., 2000a). Entretanto a falta de conhecimento em microbiologia de ruminantes e da própria técnica, tem limitado os avanços na sua utilização e que ainda requer validação.

A estimativa das taxas de digestão das frações protéicas, utilizando inóculo ruminal tem sido complicada pela incapacidade metodológica de distinguir a proteína microbiana da dietética nos resíduos de incubação e pela incorporação da proteína digerida nas células microbianas. Existem métodos que utilizam inibidores do metabolismo microbiano (BRODERICK, 1987) e proteases comerciais ou

isoladas da microbiota ruminal que visam eliminar estes problemas (KOHN e ALLEN, 1995; MALAFAIA et al., 1997; CABRAL et al., 2000b).

Os objetivos deste trabalho foram determinar as taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos para a silagem de milho, o feno de capim tifton-85, a silagem de capim-elefante e o farelo de soja.

### **Material e Métodos**

Para as silagens de milho (*Zea mays*, L.) e de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schumm) variedade Cameroon foi coletada uma amostra de cada um dos três silos, e para o feno de capim tifton-85 (*Cynodon spp.*) e o farelo de soja foi coletada uma amostra de cada um dos três períodos do experimento *in vivo* (CABRAL, 2002). As silagens de milho e de capim-elefante foram pré-secas em estufas de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas. Posteriormente, as amostras de silagem assim como de feno de capim tifton-85 e de farelo de soja foram moídas em moinho com peneira de 1 mm de diâmetro, para posteriores análises de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE), conforme AOAC (1990). As análises de fibra insolúvel nos detergentes neutro (FDN) e ácido (FDA) (VAN SOEST et al. 1991) foram feitas em autoclave conforme PELL e SCHOFIELD (1993). Os compostos nitrogenados não protéicos (NNP) foram determinados nas amostras *in natura* das silagens, conforme BRODERICK (comunicação pessoal), o qual foi quantificado como N solúvel em solução de ácido tricloroacético (TCA); os compostos nitrogenados insolúveis nos detergentes neutro (NIDN) e ácido (NIDA) foram determinados conforme LICITRA et al. (1996). A fração B3 da proteína foi obtida pela diferença entre o NIDN e o NIDA e, a proteína verdadeira solúvel em detergente neutro (PSDN), pela diferença entre o N insolúvel em TCA e o NIDN.

Os carboidratos totais (CHO) foram determinados conforme SNIFFEN et al. (1992), sendo os carboidratos fibrosos (CF), considerados como a FDN corrigida para o seu conteúdo em cinzas e proteínas (FDNcp), os carboidratos não-fibrosos (CNF) obtidos pela diferença entre os CHO e a FDNcp; e a fração C, obtida pela FDN indigerível após 144 horas de incubação *in vitro*. A fração B<sub>2</sub>, ou seja, a fração disponível da fibra, foi obtida pela diferença entre a FDNcp e a fração C.

As taxas de digestão dos CNF e da fração B<sub>2</sub> dos CT foram estimadas pela técnica de produção de gases, conforme PELL e SCHOFIELD (1993) com algumas adaptações. As incubações foram realizadas em frascos de vidro com capacidade de 50 mL, donde foram pesados aproximadamente 100 mg de substrato. Aos frascos foram adicionados 8 mL de tampão de McDOUGAL (McDOUGAL, 1949) previamente reduzido com CO<sub>2</sub> (pH 6,9-7,0) e 2 mL de inóculo, proveniente de um bovino fistulado no rúmen, filtrado em camada dupla de gaze sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Imediatamente após, os frascos receberam tampa de borracha e lacre de alumínio e, foram mantidos em mesa de agitação orbital a 39<sup>0</sup>C, em sala climatizada. A mensuração dos gases foi realizada por meio de um sensor de pressão acoplado a um voltímetro, nos seguintes tempos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60 e 72 horas. As leituras realizadas em volts foram convertidas para mL de gás, utilizando o fator 8,7 (1 volt = 8,7 mL de gás) conforme PELL e SCHOFIELD (1993). A cinética da produção cumulativa dos gases foi avaliada utilizando-se o modelo logístico bicompartimental descrito por SCHOFIELD et al. (1994):

$$V(t) = Vf_1/(1+\exp(2-4*c_1*(T-L))) + Vf_2/(1+\exp(2-4*c_2*(T-L)))$$

no qual V(t) é o volume acumulado no tempo t; Vf<sub>1</sub>, o volume de gás oriundo da fração de rápida digestão (CNF); c<sub>1</sub> (h<sup>-1</sup>), a taxa de degradação da fração de rápida digestão (CNF); L, a latência; e T, o tempo (h); Vf<sub>2</sub>, o volume de gás da fração de lenta degradação (B<sub>2</sub>); c<sub>2</sub> (h<sup>-1</sup>), a taxa de degradação da fração B<sub>2</sub>.

As taxas de digestão das frações protéicas foram estimadas a partir da utilização de enzimas isoladas da microbiota ruminal, conforme (KOHN e ALLEN, 1995).

## Resultados e Discussão

A composição químico-bromatológica dos alimentos avaliados é apresentada na Tabela 1 e, na Tabela 2 e Figura 1 são apresentadas as frações nitrogenadas dos mesmos. Quanto aos compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), as silagens de milho e de capim-elefante apresentaram valores de 51,07 e 56,90% da PB, possivelmente em virtude da fermentação no silo, onde grande porção da proteína da planta, representada pela ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase (RUBISCO), por ser altamente susceptível à proteólise, pode ser convertida a NNP (VAN SOEST, 1994).

Tabela 1 – Teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), carboidratos totais (CT), fibra em detergente neutro (FDN), FDN corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), carboidratos não fibrosos (CNF) e FDN indigestível (FDNI) obtidos para a silagem de milho (SM), o feno de capim tifton-85 (FCT), a silagem de capim-elefante (SCE) e o farelo de soja (FS)

Table 1 – Content of dry matter (DM), crude protein (CP), ash, ether extract (EE), total carbohydrate (TC), neutral detergent fiber (NDF), NDF corrected for ash and protein (NDFcp), non-fiber carbohydrate (NFC) and indigestible NDF (INDF) obtained for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH), elephant-grass silage (ES) and soybean meal (SBM)

| Ítems              | Alimentos |           |           |           |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | Feeds     |           |           |           |
|                    | SM<br>CS  | FCT<br>TH | SCE<br>ES | FS<br>SBM |
| MS (%)             | 25,65     | 86,00     | 18,34     | 88,00     |
| DM                 |           |           |           |           |
| PB <sup>1</sup>    | 7,31      | 5,00      | 6,53      | 47,58     |
| CP                 |           |           |           |           |
| MM <sup>1</sup>    | 5,79      | 6,83      | 11,18     | 5,84      |
| Ash                |           |           |           |           |
| EE <sup>1</sup>    | 2,49      | 1,37      | 1,52      | 1,52      |
| CT <sup>1</sup>    | 84,40     | 86,80     | 80,76     | 45,05     |
| TC                 |           |           |           |           |
| FDN <sup>1</sup>   | 56,58     | 87,63     | 75,42     | 11,57     |
| NDF                |           |           |           |           |
| FDNcp <sup>1</sup> | 53,14     | 80,70     | 68,86     | 10,92     |
| NDFcp              |           |           |           |           |
| CNF <sup>1</sup>   | 31,27     | 6,09      | 11,90     | 34,13     |
| NFC                |           |           |           |           |
| FDNI <sup>1</sup>  | 19,45     | 36,26     | 27,10     | 3,32      |
| INDF               |           |           |           |           |

<sup>1</sup> % na matéria seca - % in dry matter

Dos fatores predisponentes à proteólise, o teor de umidade e, consequentemente, o pH elevado são os principais (VAN SOEST, 1994). Embora em silagens de baixa qualidade, a maior parte do NNP seja representado por NH<sub>3</sub> e nitratos, silagens de boa qualidade apresentam maior parte do seu NNP na forma de aminoácidos (VAN SOEST, 1994). O NNP, se presente na forma de NH<sub>3</sub>, atende 1/3 das exigências em N dos microrganismos que fermentam CNF e toda a exigência daqueles que fermentam CF (RUSSELL et al., 1992).

A porcentagem da PB como NNP para a silagem de milho foi próxima do valor de 52,78% encontrado por CABRAL et al. (2000a) e de 45 a 55% sugeridos por SNIFFEN et al. (1992) para silagens de milho com teor de grãos de 45 a 25%, respectivamente. CABRAL (2002) verificaram aumento linear do NNP com o acréscimo de grãos à silagem de milho, cujos valores para as silagens com 0, 15, 30, 45 e 60% de grãos foram 34,05, 39,14, 50,67, 50,91 e 54,62% da PB.

Assumindo-se que as silagens de milho não sejam confeccionadas sem grãos, pode-se inferir que a porcentagem de NNP na PB deve ser pelo menos superior à 34,05%.

Tabela 2 – Teores médios dos compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), e das frações B1+B2 (PSDN), B<sub>3</sub> e C da proteína bruta obtidos para a silagem de milho (SM), o feno de capim tifton-85 (FCT), a silagem de capim-elefante (SCE) e o farelo de soja (FS)

Table 2 – Average content of non-protein compounds (NPN), and of B1+B2 (NDSP), B<sub>3</sub> and C fractions of crude protein obtained for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH), elephant-grass silage (ES) and soybean meal (SBM)

| Ítems        | Alimentos    |                    |           |           |
|--------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|
|              | <i>Feeds</i> |                    |           |           |
|              | SM<br>CS     | FCT<br>TH          | SCE<br>ES | FS<br>SBM |
|              |              | % na PB<br>% in CP |           |           |
| NNP<br>NPN   | 51,07        | 4,75               | 56,90     | 14,22     |
| PSDN<br>NDSP | 34,56        | 44,04              | 22,39     | 81,78     |
| B3           | 1,99         | 35,01              | 11,91     | 2,14      |
| C            | 12,38        | 16,19              | 8,80      | 1,87      |
|              |              | g/kg MS            |           |           |
| NNP<br>NPN   | 37,33        | 2,38               | 37,16     | 67,66     |
| PSDN<br>NDSP | 25,26        | 22,02              | 14,62     | 389,06    |
| B3           | 1,45         | 17,50              | 7,78      | 10,18     |
| C            | 9,05         | 8,10               | 5,75      | 8,90      |

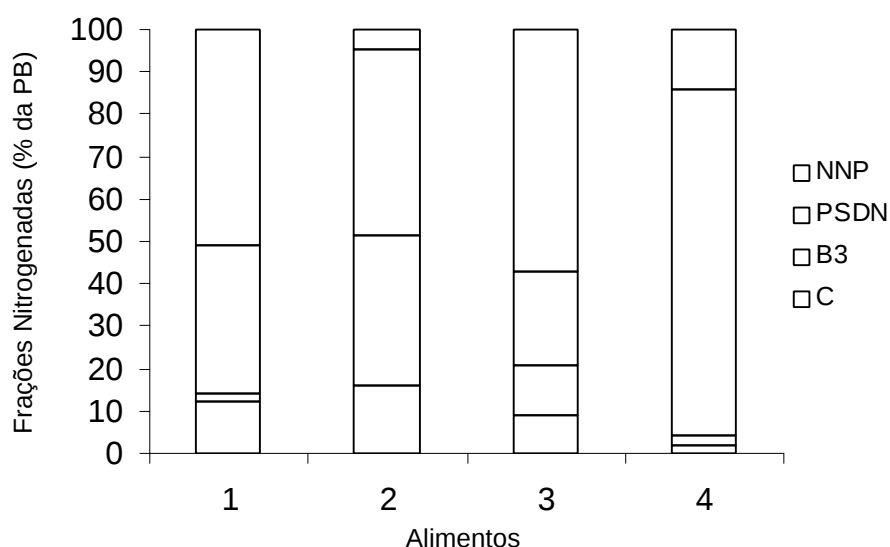


Figura 1 – Teores médios dos compostos nitrogenados não-protéicos (NNP), proteína solúvel em detergente neutro (PSDN) e das frações B<sub>3</sub> e C da proteína obtidos para a silagem de milho (1), o feno de capim tifton-85 (2), a silagem de capim-elefante (3) e o farelo de soja (4)

*Figure 1 – Average content of non protein nitrogen compounds (NPN), neutral detergent soluble protein (PSDN) and of B3 and C fractions of crude protein for corn silage (1), tifton-85 bermudagrass hay (2), elephant-grass silage (3) and soybean meal (4)*

Os teores de PSDN foram 34,56 e 22,39% da PB para as silagens de milho e de capim-elefante, respectivamente. O farelo de soja e o feno de capim tifton-85 destacam-se pela elevada proporção de PSDN (81,78 e 44,04%, respectivamente). A PSDN por apresentar rápida taxa de degradação ruminal relativa à fração B3, tende a ser extensivamente degradada no rúmen (SNIFFEN et al., 1992), contribuindo para o atendimento dos requisitos em N dos microrganismos deste compartimento. A rápida proteólise no rúmen da PSDN pode levar ao acúmulo de peptídeos e permitir o seu escape para os intestinos com a fase líquida, uma vez que a utilização de peptídeos tem sido referida como passo limitante à degradação de proteínas (WINTER et al., 1964). Entretanto, considerando que proteínas, tais como a do farelo de soja, são rapidamente utilizadas pelos microrganismos do rúmen, em virtude da sua composição aminoacídica, seria esperado o aumento da produção de  $N-NH_3$  no rúmen, principalmente em condições de baixa concentração de CNF (YANG e RUSSELL, 1993).

A fração B3 apresentou-se relativamente elevada (35,01%) no feno de capim tifton-85 e foi muito baixa para a silagem de milho e o farelo de soja. Esta fração é representada pelas extensinas, as quais são proteínas de ligação da parede celular que apresentam lenta taxa de degradação sendo, portanto, digeridas principalmente nos intestinos. Quanto a fração C da proteína, o farelo de soja apresentou baixíssima proporção (1,87%), enquanto a silagem de milho e o feno de capim tifton-85 apresentaram valores de 12,38 e 16,19%, respectivamente. O aumento da fração C ou NIDA de silagens pode ocorrer devido à formação de produtos da reação de Maillard em virtude do aumento da temperatura em silagens com elevado teor de umidade (VAN SOEST, 1994).

Para a silagem de milho foram encontrados valores para a PSDN e frações B3 e C próximos aos de 29,96 (B1+B2), 1,52 e 15,74% encontrados por CABRAL et al. (2000b). SNIFFEN et al. (1992) sugeriram valores de 84,0; 3,0 e 2,0% para as frações PSDN (B1+B2), B3 e C para o farelo de soja, valores estes, próximos aos obtidos no presente trabalho.

Na Tabela 3 e Figura 2 são apresentadas as frações dos carboidratos totais. Os CNF foram a principal fração dos carboidratos no farelo de soja. Embora na silagem de milho uma parcela dos CNF possa ser composta por ácidos orgânicos, a maioria dos CNF na silagem de milho e no farelo de soja é basicamente amido. Esta fração é utilizada pelos microrganismos fermentadores de CNF, o que aumenta a demanda em proteína degradada no rúmen para atender aos requisitos em N desta população, quando a dieta é a base de silagem de milho ou apresenta elevado teor de grãos. A porcentagem de CNF da silagem de milho foi próxima do valor de 36,24% dos CT, predito pela equação de regressão obtida para a relação entre a porcentagem de grãos e a porcentagem de CNF (CABRAL, 2002). A porcentagem de grãos da silagem de milho deste trabalho, estimada pela equação obtida pelo mesmo autor foi de 21%.

Tabela 3 – Teores médios de carboidratos não fibrosos (CNF) e das frações digestível (B2) e indigestível (C) da fibra em detergente neutro obtidas para a silagem de milho (SM), o feno de capim tifton-85 (FCT), a silagem de capim-elefante (SCE) e o farelo de soja

Table 3 – Average content of non-fiber carbohydrates (NFC) and of B2 and C fractions of total carbohydrate obtained for the corn silage (CS), the tifton-85 bermudagrass hay (TH), the elephant-grass silage (ES) and the soybean meal (SBM)

| Frações    | Alimentos                                            |           |           |           |
|------------|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|            | Feeds                                                |           |           |           |
|            | SM<br>CS                                             | FCT<br>TH | SCE<br>ES | FS<br>SBM |
|            | % dos Carboidratos Totais<br>% of total carbohydrate |           |           |           |
| CNF<br>NFC | 37,05                                                | 7,02      | 14,74     | 75,75     |
| B2         | 39,91                                                | 51,20     | 51,70     | 16,88     |
| C          | 23,04                                                | 41,77     | 33,56     | 7,37      |
|            | g/kg de MS<br>g/kg of DM                             |           |           |           |
| CNF<br>NFC | 312,72                                               | 60,98     | 119,02    | 341,30    |
| B2         | 336,90                                               | 444,44    | 417,57    | 76,03     |
| C          | 194,50                                               | 362,60    | 271,00    | 33,20     |

A fração B2, ou seja, os carboidratos fibrosos potencialmente digestíveis foi a principal fração dos carboidratos do feno de capim tifton-85 e da silagem de capim-elefante, apresentando-se também como importante fração da silagem de milho. Esta fração por apresentar lenta taxa de degradação ruminal, juntamente com a fração C (indigestível), que foi elevada no feno de capim tifton-85 e na silagem de

capim-elefante, tende a afetar o consumo negativamente pelo enchimento ruminal, afetando com isso o desempenho dos animais (MERTENS, 1987). Alimentos com elevado teor de fração B2, segundo RUSSELL et al. (1992), demandam NNP para atender aos requisitos em N dos microrganismos fermentadores de carboidratos estruturais. Embora a proteína verdadeira não seja utilizada diretamente por esta população microbiana, a fermentação de aminoácidos de cadeia ramificada gera os ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR), os quais são necessários para o crescimento dos microrganismos fibrolíticos (Bryant, 1973, citado por RUSSELL et al., 1992).

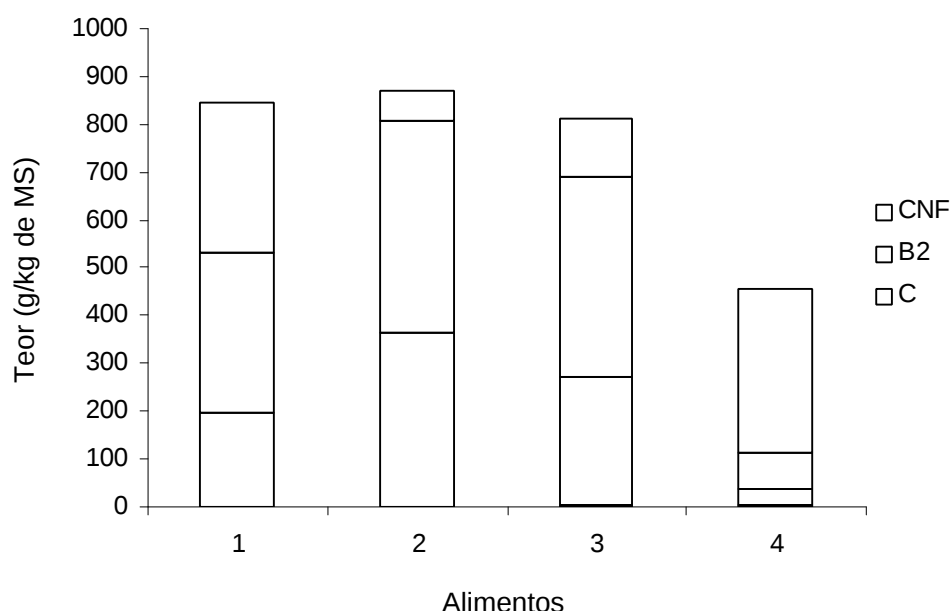


Figura 2 – Teores médios de carboidratos não fibrosos (CNF) e das frações digestível (B2) e indigestível (C) da fibra em detergente neutro obtidas para a silagem de milho (1), o feno de capim tifton-85 (2), a silagem de capim-elefante (3) e o farelo de soja (4)

*Figure 2 – Average content of non fiber carbohydrates (NFC) and of B2 and C fractions of total carbohydrates obtained for corn silage (1), Tifton-85 bermudagrass hay (2), elephant-grass silage (3) and soybean meal (4)*

A utilização de fontes protéicas de rápida degradação ruminal em dietas à base de alimentos com elevado teor da fração B2 dos carboidratos, pode promover elevada fermentação dos aminoácidos e peptídeos resultantes e o acúmulo de N-NH<sub>3</sub>, a qual será excretada através da urina. Isto decorre da lenta taxa de

degradação da fração B2 no rúmen, fazendo com que a proteína da dieta seja utilizada para fins de produção de energia, ao invés de produção de biomassa. Desta forma, a utilização de fontes protéicas de lenta degradação no rúmen podem trazer benefícios e aumentar a eficiência de utilização de N pelo animal.

Na Tabela 4 são apresentadas as taxas de digestão das frações protéicas e dos carboidratos. Dos alimentos avaliados, a silagem de milho e o farelo de soja apresentaram elevada taxa de degradação dos CNF. A taxa de digestão dos CNF ( $0,1950 \text{ h}^{-1}$ ) para a silagem de milho foi próxima ao valor sugerido por SNIFFEN et al. (1992) e ao encontrado por CABRAL (2002) para silagens de milho com mais de 15% de grãos. A taxa de digestão sugerida por SNIFFEN et al. (1992) para os CNF do farelo de soja varia de  $0,40$  a  $0,50 \text{ h}^{-1}$ , bem superior a média de  $0,1783 \text{ h}^{-1}$  obtida neste trabalho. Este fato pode ser atribuído ao elevado teor de proteína deste alimento, cuja fermentação reduz em  $2,48 \text{ mL}$  de gás por unidade de proteína fermentada (CONE e VAN GELDER, 1999; Cabral, 2002, dados ainda não publicados).

Quanto à fração B2 dos carboidratos, o feno de capim tifton-85 e a silagem de capim-elefante apresentaram baixa taxa de degradação ( $0,0254$  e  $0,0263 \text{ h}^{-1}$ , respectivamente), que pode ser atribuído ao elevado teor de FDN destes alimentos, uma vez que SMITH et al. (1972) observaram relação negativa entre a concentração de FDN e a taxa de digestão. A explicação para tal fato, surge da hipótese de que o aumento do teor de FDN na planta está associado ao espessamento da parede celular secundária e menor fragilidade à ruptura mecânica e penetração microbiana, reduzindo com isso, a área superficial para ataque microbiano (MERTENS, 1993).

Tabela 4 – Taxas de digestão ( $\text{h}^{-1}$ ) estimadas para os carboidratos não fibrosos (CNF), fibra potencialmente digestível (B2) e para as frações protéicas solúveis (PSDN) e insolúveis em detergente neutro (B3) obtidas para a silagem de milho (SM), feno de capim tifton-85 (FCT), silagem de capim-elefante (SCE) e farelo de soja (FS)

Table 4 – Digestion rates ( $\text{h}^{-1}$ ) estimated for the non fiber carbohydrates (NFC) and B2 fraction of total carbohydrates and for NDSP and B3 protein fractions obtained for the corn silage (CS), the tifton-85 bermudagrass hay (TH), the elephant-grass silage (ES) and the soybean meal (SBM)

| Ítems                                              | Alimentos |           |           |           |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                    | Feeds     |           |           |           |
|                                                    | SM<br>CS  | FCT<br>TH | SCE<br>ES | FS<br>SBM |
| Frações de Carboidratos<br>Carbohydrates fractions |           |           |           |           |
| CNF ( $\text{h}^{-1}$ )<br>NFC                     | 0,1905    | 0,1294    | 0,1410    | 0,1783    |
| B2 ( $\text{h}^{-1}$ )                             | 0,0300    | 0,0254    | 0,0263    | 0,0300    |
| Frações Protéicas<br>Protein fractions             |           |           |           |           |
| PSDN ( $\text{h}^{-1}$ )<br>NDSP                   | 0,1363    | 0,0636    | 0,1512    | 0,0758    |
| B3 ( $\text{h}^{-1}$ )                             | 0,0144    | 0,0081    | 0,0757    | 0,0161    |

A taxa de degradação estimada para a fração B2 dos carboidratos da silagem de milho foi próxima dos valores de 0,0305 a  $0,0315\text{h}^{-1}$  para silagens com 15 e 60% de grãos, respectivamente, encontrados por CABRAL (2002).

Para a fração PSDN da PB, as taxas de degradação estimadas para as silagens de milho e de capim-elefante foram elevadas (13,63 e 15,12, respectivamente). Entretanto, tal fato pode ser atribuído à intensa proteólise nos silos durante a fermentação, que pode gerar além de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_3^-$ , elevadas quantidades de peptídeos (VAN SOEST, 1994), os quais, quando de peso molecular maior, podem ser inclusos na fração PSDN, cuja taxa de hidrólise pelas enzimas extraídas da microbiota ruminal, provavelmente, seja elevada.

Para a fração B3, somente a taxa de digestão para a silagem de capim-elefante foi muito superior aos valores de 0,0005 a  $0,015\text{h}^{-1}$  sugerido por SNIFFEN et al. (1992). A taxa de degradação da PSDN do farelo de soja foi superior a obtida por CABRAL et al. (2000b) de  $0,0475\text{h}^{-1}$  para a fração B2 e próxima aos valores de 0,05 a  $0,12\text{h}^{-1}$  sugeridos por SNIFFEN et al. (1992) para a fração B2. Entretanto a taxa de digestão estimada para a fração B3 para o farelo de soja foi semelhante à obtida por CABRAL et al. (2000b) de  $0,016\text{h}^{-1}$ , mas superior aos valores sugeridos por SNIFFEN et al. (1992) que variaram de 0,001 a  $0,003\text{h}^{-1}$ .

Os carboidratos são a principal fonte de energia tanto para os microrganismos do rúmen quanto para o animal hospedeiro, da qual, maior parte está contida nos constituintes da parede celular vegetal. Estes compostos pela sua natureza química, e por questões físicas e anatômicas das gramíneas tropicais, são despolimerizados numa taxa relativamente lenta pelos microrganismos do rúmen, o que, ou limita a ingestão de alimentos pela repleção dos compartimentos digestivos, ou limita o aproveitamento máximo do seu conteúdo energético. Portanto, estes compostos tem sido relacionados negativamente com a ingestão de alimentos e a disponibilidade de energia da dieta (MERTENS, 1987).

O NRC (2001) propõe a estimativa do conteúdo energético dos alimentos por meio da composição química. Entretanto, para gramíneas tropicais, a utilização da concentração de lignina para estimar a disponibilidade dos CF, uma vez que as características físicas e anatômicas podem ser tanto ou mais importantes que as químicas (WILSON e MERTENS, 1995), principalmente em gramíneas com maturidade avançada, pode superestimar a contribuição energética destes compostos. Com base nisto, a estimativa da disponibilidade dos CF, provavelmente, poderá ser mais acuradamente estimada considerando-se a sua taxa de digestão, bem como as suas frações digestível e indigestível. Considerando que os CF correspondem à maior proporção da energia de gramíneas tropicais, a estimativa mais acurada de sua disponibilidade conduzirá a menores erros na predição do NDT.

A utilização do modelo bicompartimental (SCHOFIELD et al., 1994) permitiu estimar as taxas de digestão para os CF e CNF compatíveis com os valores citados na literatura, o que dispensa o isolamento da FDN e sua incubação, e elimina as críticas relativas ao possível efeito da extração com detergente neutro e do calor sobre a estrutura da parede celular vegetal, alterando-a.

### **Conclusões**

Os carboidratos não fibrosos são uma fonte importante de energia em silagens de milho, enquanto a silagem de capim-elefante e o feno de capim-tifton apresentam elevado teor de carboidratos fibrosos.

A utilização do modelo bicompartmental para estimativa das taxas de digestão resultou em valores satisfatórios.

A PSDN é a principal fração protéica no farelo de soja e, o feno de capim-tifton é boa fonte de B3.

### Literatura Citada

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15.ed., Arlington, Virginia. 1990.1117p.
- BRODERICK, G. A. Determination of protein degradation rates using a rumen *In Vitro* system containing inhibitors of microbial nitrogen metabolism. **British Journal of Nutrition**, v.58, p.463-475, 1987.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações de carboidratos de alimentos volumosos e suas taxas de degradação estimadas pela técnica de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6 (suplemento 1), p.2087-2098, 2000a.
- CABRAL, L.S., VALADARES FILHO, S.C., MALAFAIA, P.A.M. et al. Frações protéicas de alimentos tropicais e suas taxas de digestão estimadas pela incubação com proteases ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6 (suplemento 2), p.2316-2324, 2000b.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos in vivo e in vitro**. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- CONE, J.W.; VAN GELDER, A.H. Influence of protein fermentation on gas production profiles. **Animal Feed Science and Technology**, v.76, n.3-4, p.251-264, 1999.
- JUNG, H.G.; DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Ed) Forage cell wall structure and digestibility. Madison: America Society of Agronomy, Crop Sci. Society of America, Soil Sci. Society of America, 1993. p.315-46.
- KOHN, R.A.; ALLEN, M.S. In vitro protein degradation of feeds using concentrated enzymes extracted from rumen contents. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, n.1,2, p.15-28, 1995.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; VAN SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, n.4, p.347-358, 1996.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação e cinética ruminal das frações protéicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1243-1251, 1997.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non-automated system to measure gas production. **Livestock Production Science**, 1998.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.

- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATFIELD, R.D. et al. (Ed) Forage cell wall structure and digestibility. Madison: American Society of Agronomy, Crop Sci. Society of America, Soil Sci. Society of America, 1993. p.535-570.
- MERTENS, D.R. Using Fiber and Carbohydrate Analyses to Formulate Dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, USA, Proceedings..., Wisconsin, 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001. 381p.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- RUSSELL, B. J.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p.2980-2991, 1994.
- SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; GORDON, C.H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.1140-1147, 1972.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants: review. **Journal of Agricultural Science**, v.122,n.2, p.173-182, 1994.
- WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. **Crop Science**, v.35, n.1, p.251-259, 1995.
- WINTER, K.A.; JOHNSON, R.R.; DEHORITY, B.A. Metabolism of urea nitrogen by mixed cultures of rumen bacteria grown on cellulose. **Journal of Dairy Science**, v.47, p.793-797, 1964.
- YANG, C.M.J.; RUSSELL, J.B. Effect of monensin on the specific activity of ammonia production by ruminal bacteria and disappearance of amino nitrogen from the rumen. **Applied and Environment Microbiology**, v.59, n.10, p.3250-3254, 1993.

## **Estimação da Digestão Total e Ruminal da Matéria Seca e Carboidratos, e do Fluxo de Compostos Nitrogenados Microbianos no Abomaso por Intermédio de Métodos *In Vitro*: Validação**

**RESUMO** – Foram objetivos do presente trabalho validar as estimativas relativas à degradação ruminal dos carboidratos totais, da digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos (CF), do fluxo de compostos nitrogenados (N) microbianos no abomaso e da digestão aparente total da matéria seca. Foram utilizados seis bovinos fistulados no rúmen e abomaso, distribuídos em delineamento em quadrado latino 3 x 3 duplo, pela utilização da fibra em detergente neutro (FDN) indigestível como indicador para medir os parâmetros acima descritos. A degradação ruminal dos carboidratos totais e fibrosos foi estimada a partir das taxas de degradação obtidas para os carboidratos fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF) por intermédio da técnica de produção de gases *in vitro*, corrigidas para as respectivas taxas de passagem. A estimação da digestão total dos CF foi obtida pelo somatório da digestão ruminal com a digestão intestinal destes compostos, em que a última foi obtida, considerando-se a taxa de digestão dos CF como sendo de 90% daquela no rúmen e a taxa de passagem nos intestinos. O fluxo de N microbiano no abomaso foi estimado por meio da eficiência microbiana calculada para os microrganismos fermentadores de CF e CNF a partir das taxas de crescimento oriundas da técnica de produção de gases, multiplicada pela degradação ruminal estimada de cada fração e pelo teor médio de N das bactérias ruminais. A digestão aparente total da matéria seca foi estimada pela diferença entre o volume de gás produzido pelas amostras das dietas e respectivas amostras de fezes, dividido pelo volume de gás das dietas. As estimativas foram acuradas na predição da digestão ruminal dos carboidratos totais, da digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos e do fluxo de N microbiano no abomaso. A digestão aparente total da matéria seca também foi acuradamente predita pela diferença entre o gás da dieta e das fezes.

Palavras-chave: carboidrato, cinética, validação

**Estimation of Total and Ruminal Digestion of Dry Matter and Carbohydrates,  
and Microbial Nitrogen Flow in the Abomasum by *In Vitro* Procedures:  
Validation**

**ABSTRACT:** This work objectified to validate the estimative of ruminal degradation of total carbohydrates, total and ruminal digestion of fiber carbohydrates (FC), microbial nitrogen compounds (N) flow in the abomasum and apparent total dry matter digestibility. Six rumen and abomasum fistulated cattle arranged in a double 3x3 latin square were utilized, by indigestible neutral detergent fiber (INDF) utilization as marker for determine of these parameters above cited. The ruminal degradation of total carbohydrates and of fiber carbohydrates was estimated by digestion rates obtained for the FC and non fiber carbohydrates (NFC) by *in vitro* gas production technique corrected for the respective passage rates. The estimation of the total digestion of fiber carbohydrates was obtained by summing ruminal digestion with the intestinal digestion of these compounds, in which the later was obtained considering the digestion rate of FC as 90% of that in the rumen and the passage rate in the intestine. The microbial nitrogen compounds (N) flow in abomasum was estimated by the calculated microbial efficiency of microbial FC and NFC fermenters by the growth rate originated from gas production technique, multiplied by estimated ruminal degradation of FC and NFC and by average content of ruminal microbial N. The apparent total dry matter digestion was estimated by difference between the gas production originated of diets samples and respective faecal samples, divided by gas production of the diets samples. The estimates were acurated in prediction of ruminal digestion of total carbohydrates, of total and ruminal digestion of fiber carbohydrates and of microbial N flow in the abomasum. The apparent total dry matter digestion was acurately predicted by difference of gas production between diets and faeces samples

Key Words: carbohydrate, kinetic, validation

## Introdução

Nos ruminantes, devido ao papel central dos eventos digestivos que ocorrem no rúmen-retículo, a relação entre a composição da dieta e a resposta animal é confundida, como consequência de um melhor entendimento das interações do animal com os microrganismos do rúmen e a dieta.

O conhecimento do valor nutricional dos alimentos é de fundamental importância nos processos de adequação de dietas, na suplementação e na seleção e melhoramento de plantas. A determinação do valor nutricional de forragens envolve estudos que avaliam o consumo, a digestibilidade e o metabolismo. Entretanto, como o consumo é influenciado por fatores da dieta (químicos e físicos), do animal (fisiológicos) e do ambiente de alimentação (psicogênicos) (MERTENS, 1987; MERTENS, 1994), a determinação da digestibilidade torna-se alvo principal de estudos, quando buscam-se determinar as características inerentes ao alimento (PELL e SCHOFIELD, 1993).

Com base no exposto, a avaliação de alimentos para ruminantes implica na condução de ensaios de digestão, com animais fistulados em uma ou mais seções do trato gastrointestinal (TGI), de modo a quantificar a digestão, bem como o local onde ela ocorre. Entretanto, estes estudos são relativamente onerosos, laboriosos e longos, o que por sua vez, implica na necessidade do desenvolvimento de métodos para a estimação do valor nutritivo dos alimentos (PELL e SCHOFIELD, 1993).

Embora exista uma série de meios para a estimação da digestibilidade e degradação ruminal, incluindo os métodos biológicos e a utilização de equações, existe uma constante dificuldade na predição da digestão da FDN ou carboidratos fibrosos (CF), a qual é influenciada por características químicas, físicas e anatômicas da parede celular vegetal (WILSON e MERTENS, 1993; JUNG e DEETZ, 1994; WILSON, 1994) e, drasticamente afetada pela variação na taxa de passagem da digesta no TGI (MERTENS, 1994). Dos métodos biológicos, a incubação *in situ* vem sendo rotineiramente utilizada para este propósito (NOCEK, 1988), entretanto, as variações relativas ao tamanho das partículas e à porosidade dos sacos têm limitado a utilização deste método. Neste aspecto, a técnica de produção de gases se destaca, uma vez que não está sujeita a estas influências e,

adicionalmente, permite estimar a taxa de degradação dos carboidratos não fibrosos (PELL e SCHOFIELD, 1993).

Dos constituintes dietéticos, destacam-se os carboidratos (fibrosos e não fibrosos), os quais são a principal fonte de energia para os ruminantes e para a microbiota ruminal, cuja ação implica na mais importante estratégia de disponibilização dos polímeros dietéticos e na principal fonte de aminoácidos nos intestinos destes animais (VAN SOEST, 1994). Adicionalmente, os carboidratos, particularmente os integrantes da parede celular vegetal, pelas suas características químicas e físicas, têm sido os grandes responsáveis pela variação e incompleta utilização da energia da dieta, uma vez que apresentam lenta, incompleta e variável disponibilidade nutricional (VAN SOEST, 1967; MERTENS, 1996). Desde que VAN SOEST (1967) demonstrou que a fração solúvel em detergente neutro apresentava digestibilidade próxima a 100%, as diferenças entre forrageiras podem ser atribuídas à qualidade e composição da sua fração fibrosa (MERTENS e ELY, 1979). Portanto, o conhecimento da disponibilidade nutricional dos carboidratos fibrosos é de suma importância na avaliação de alimentos e na adequação dietética, uma vez que representam a principal fonte de energia nas forrageiras tropicais (VAN SOEST, 1994).

A digestibilidade de qualquer componente dietético pode ser facilmente relacionada ao mecanismo digestivo, uma vez que é função da cinética de digestão e de passagem (BALCH, 1950; WALDO et al., 1962). Considerando que a digestão dos nutrientes no TGI é um processo dependente do tempo, a taxa de digestão de um componente dietético relativa à sua taxa de passagem é um fator crítico que afeta a digestibilidade. Os carboidratos não fibrosos (CNF), por apresentarem elevada taxa de digestão ruminal, são pouco afetados quanto à digestibilidade pela variação na taxa de passagem; enquanto que os CF, tendem a ser grandemente afetados pela variação na taxa de passagem, uma vez que apresentam lenta taxa de digestão (MERTENS, 1994).

No sistema Cornell, os carboidratos e proteínas são classificados de acordo com as suas características químicas e taxas de digestão, objetivando-se mais adequada sincronização na disponibilidade de energia e compostos nitrogenados no rúmen para maximizar a eficiência microbiana e reduzir as perdas decorrentes da fermentação ruminal (RUSSELL et al., 1992). Com melhor classificação dos nutrientes dietéticos e de suas características cinéticas, presume-se que se consiga

melhor adequação dietética e predição da resposta animal (SNIFFEN et al., 1992). Neste sistema, o aporte de proteína microbiana aos intestinos é dependente da taxa de crescimento dos microrganismos, da exigência de manutenção e da disponibilidade de energia e N. Desta forma, o conhecimento da taxa de digestão dos componentes da dieta é um fator crítico no processo de adequação dietética, pois cria a possibilidade de uma intervenção mais eficiente do nutricionista na composição da dieta (RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992).

Entretanto, para a utilização prática das estimativas referentes às taxas de digestão dos nutrientes obtidas por meio de métodos biológicos, há a necessidade da verificação da sua acurácia na predição dos eventos digestivos medidos no animal, sob diferentes condições dietéticas, no processo denominado de validação. MERTENS (1976) relatou que o principal objetivo da validação é comparar a predição com as observações do mundo real e, indica se o modelo é ou não capaz de ser justificado para uso na representação na prática, o que estabelece as pressuposições de acurácia e conceitualização da realidade.

Portanto, foram objetivos do presente trabalho verificar a acurácia das predições relativas à digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos, da digestão ruminal dos carboidratos totais, do fluxo de N microbiano no abomaso e da digestão total da matéria seca a partir das estimativas obtidas pela utilização da técnica de produção de gases *in vitro*.

## **Material e Métodos**

A condução do experimento, dietas, animais, delineamento experimental, determinação da digestão total e ruminal da matéria seca, carboidratos totais e fibrosos e fluxo de compostos nitrogenados microbianos no abomaso foram descritos por CABRAL (2002).

As predições da digestão ruminal dos carboidratos totais (DRCT) e dos CF (DRCF) foram obtidas mediante a utilização da seguinte equação:

$$\text{DRCTP (kg/dia)} = \text{CNF ingerido} * \text{kd}/(\text{kd} + \text{kp}) + \text{CF ingerido} * \text{kd}/(\text{kd} + \text{kp});$$

onde, DRCTP, representa a degradação ruminal dos carboidratos totais; CNF, representa os carboidratos não fibrosos; kd, a taxa de degradação estimada para cada fração por intermédio da técnica de produção de gases (SCHOFIELD et al., 1994; CABRAL, 2002) e, kp, a taxa de passagem das frações, estimada para forragens e concentrados, conforme CANNAS e VAN SOEST (2000).

A digestão total dos carboidratos fibrosos (CF) foi estimada pelo somatório da digestão ruminal (DRCF) e a digestão intestinal destes compostos, a partir da seguinte equação:

$$DTCF \text{ (kg/dia)} = DRCF + CFE * kdi/(kdi + kpi);$$

onde, CFE, representa os carboidratos fibrosos que escapam da digestão ruminal; kdi, a taxa de digestão intestinal dos carboidratos fibrosos no intestino, sendo considerada como sendo 90% da taxa de digestão ruminal; e kpi, a taxa de passagem dos carboidratos fibrosos nos intestinos, sendo o valor de  $0,125 \text{ h}^{-1}$  utilizado, o qual corresponde à média dos valores observados por DETMANN et al. (2001). Embora Ulyatt et al. (1974), citados por MERTENS e ELY (1993), tenham sugerido que a atividade de células microbianas no intestino grosso é igual ou superior àquela observada no rúmen, em parte atribuído ao aumento da susceptibilidade da hemicelulose à digestão ao passar pela acidez do abomaso, BAILEY e MACRAE (1970) e HUNGATE (1966) sugeriram que atividade enzimática neste compartimento é menor que a do rúmen. Desta forma, conforme MERTENS e ELY (1979) a taxa de digestão dos carboidratos fibrosos no intestino grosso foi assumida ser 90% daquela do rúmen, uma vez que a fibra que escapa do rúmen, seria mais refratária à digestão.

O fluxo de compostos nitrogenados microbianos no abomaso foi estimado a partir da eficiência microbiana calculada pela equação de PIRT (1965):

$$1/Y = M/\mu + 1/Y_{\text{máx.}}$$

onde, Y, representa a eficiência microbiana estimada (g de células/g de carboidrato digerido); M, a exigência de manutenção (0,15 g de carboidrato/g de célula/h para os microrganismos fermentadores de carboidratos não estruturais e 0,05 g de carboidrato/g de célula/h para os fermentadores de carboidratos estruturais);  $\mu$ , é a taxa de crescimento microbiano, a qual foi considerada proporcional à taxa de degradação dos carboidratos e,  $Y_{\text{máx.}}$ , é o rendimento máximo teórico (0,4 g de célula/g de carboidrato) (RUSSELL et al., 1992). Uma vez obtida a eficiência para cada população microbiana, esta foi multiplicada pela respectiva degradação

ruminal estimada anteriormente, obtendo-se com isso, o fluxo de matéria seca microbiana no abomaso que, multiplicado pela porcentagem média de N das bactérias isoladas oriunda da literatura nacional, obteve-se o fluxo de N microbiano no abomaso.

A estimação da digestão total da matéria seca foi obtida por intermédio da produção de gases oriunda das amostras das dietas e respectivas amostras de fezes dos animais, para cada período e dieta. Considerando que os gases produzidos nos frascos de fermentação são oriundos da ação microbiana sobre os nutrientes disponíveis, a digestibilidade da matéria seca (DAMS) pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{DAMS (\%)} = (((\text{gás da dieta} - \text{gás das fezes}) * 100) / \text{gás da dieta})$$

A validação das predições relativas à degradação ruminal dos carboidratos totais, da digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos (kg/dia), do fluxo de N microbiano no abomaso (kg/dia) e da digestão da matéria seca (%) pela técnica de produção de gases foi realizada por intermédio da regressão dos valores preditos em relação aos observados. Adicionalmente, as estimativas dos parâmetros da regressão foram testadas pelas hipóteses  $H_0^{(a)} : \beta_0 = 0$  e  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$ , de modo a identificar se as estimativas foram subestimadas ou superestimadas.

## **Resultados e Discussão**

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios observados e preditos para a degradação ruminal dos carboidratos totais (DRCT, kg/dia), a digestão ruminal e total dos carboidratos fibrosos (DTCF e DRCF, kg/dia), o fluxo de N microbiano no abomaso (N Mic., g/dia), a digestão aparente da matéria seca (DAMS, %) e as taxas de passagens para as dietas à base das silagens de milho (SM) e de capim-elefante (SCE) e feno de capim tifton-85 (FCT). As taxas de passagens estimadas encontram-se nos limites encontrados na literatura nacional.

Tabela 1 – Médias dos valores preditos e observados para a degradação ruminal dos carboidratos totais (DRCT), a digestão total (DTCF) e ruminal dos carboidratos fibrosos (DRCF), o fluxo de N microbiano no abomaso (N Mic), digestão aparente da matéria seca e taxa de passagem estimada para as dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85

Table 1 – Average values predict and observed for the ruminal degradation of total carbohydrates (RDTC), total and ruminal digestion of the fiber carbohydrates (TDFC and RDFC), microbial N flow in the abomasums, apparent dry matter digestion (ADMD) and passage rates estimed for the corn silage (CS), elephant-grass silage (ES) and Tifton-85 bermudagrass hay (TH)

| Itens                                    | Dietas |       |       |
|------------------------------------------|--------|-------|-------|
|                                          | SM     | FCT   | SCE   |
|                                          | CS     | TH    | ES    |
| DRCT observada<br><i>RDTC observed</i>   | 3,07   | 1,96  | 1,77  |
| DRCT predita<br><i>RDTC predict</i>      | 3,10   | 2,30  | 1,91  |
| DRCF observada<br><i>RDFC observed</i>   | 1,45   | 1,83  | 1,31  |
| DRCF predita<br><i>RDFC predict</i>      | 1,45   | 1,90  | 1,32  |
| DTCF observada<br><i>TDFC observed</i>   | 1,69   | 2,11  | 1,36  |
| DTCF predita<br><i>TDFC predict</i>      | 1,74   | 2,26  | 1,55  |
| N Mic observada<br><i>Mic N observed</i> | 67,25  | 48,94 | 53,14 |
| N Mic predito<br><i>Mic N predict</i>    | 70,57  | 43,61 | 40,73 |
| DAMS observada<br><i>ADMD observed</i>   | 66,28  | 49,89 | 53,22 |
| DAMS predita<br><i>ADMD predict</i>      | 65,45  | 52,92 | 56,48 |
| kp-volumoso                              | 3,22   | 3,03  | 2,79  |
| kp-concentrado                           | 4,14   | 3,84  | 3,46  |

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes da regressão entre os valores preditos sobre os observados para as variáveis em estudo. Para a degradação ruminal dos carboidratos totais (DRCT), observa-se que o intercepto foi diferente do valor paramétrico zero, ou seja, rejeita-se a hipótese  $H_0^{(a)} : \beta_0 = 0$ , existindo um vício constante de 0,37 kg, enquanto o coeficiente angular não diferiu de um, aceitando-se, desta foram a hipótese  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$ . Na Figura 1, observa-se a relação entre os valores preditos e observados para os carboidratos totais degradados no rúmen. Nota-se que a maior parte dos pontos está junto à reta da equação  $Y=X$ , indicando a existência de uma relação linear entre os valores preditos e observados.

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros relativos à regressão dos valores preditos sobre os observados, considerando o modelo completo ( $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ ) e reduzido ( $Y = \beta_1 X$ ) para a degradação ruminal dos carboidratos totais (DRCT), a digestão total (DTCF) e ruminal dos carboidratos fibrosos (DRCF), o fluxo de N microbiano no abomaso (N Mic) e a digestão aparente da matéria seca (DAMS)

Table 2 – Estimative of the relative parameters to regression of predict values over observed values considering the complete model ( $Y = b_0 + b_1 X$ ) and reduced model ( $Y = b_1 X$ ) for ruminal degradation of total carbohydrate (RDTC), total and ruminal digestion of fiber carbohydrates (TDFC and RDFC), microbial N flow in the abomasums and the apparent dry matter digestion

| Itens | Modelo completo<br><i>Complete model</i> |           | Modelo reduzido<br><i>Reduced model</i> |
|-------|------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|
|       | $\beta_0$                                | $\beta_1$ | $\beta_1$                               |
| DRCT  | 0,37*                                    | 0,91      | -                                       |
| RDTC  |                                          |           |                                         |
| DRCF  | 0,23                                     | 0,87      | -                                       |
| RDFC  |                                          |           |                                         |
| DTCF  | 0,37*                                    | 0,86      | -                                       |
| TDFC  |                                          |           |                                         |
| N Mic | -14,17                                   | 1,16      | -                                       |
| Mic N |                                          |           |                                         |
| DAMS  | 20,61*                                   | 0,67*     | 1,02                                    |
| ADMD  |                                          |           |                                         |

P < 0,05 para as hipóteses  $H_0^{(a)} : \beta_0 = 0$  e  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$

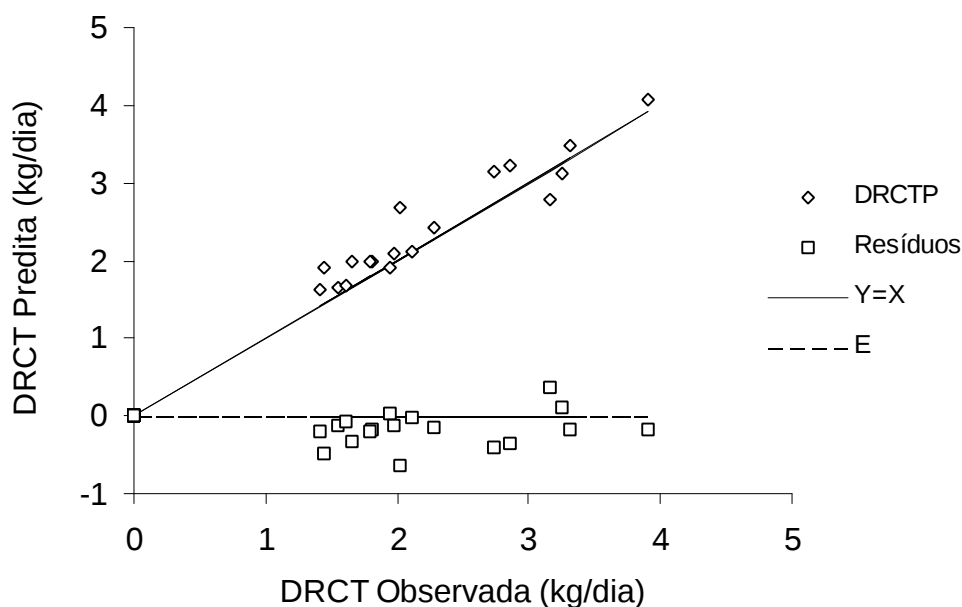


Figura 1 – Relação entre os valores preditos e observados e seus respectivos resíduos ordinários para a degradação ruminal dos carboidratos totais (kg/dia) (DRCT)

Figure 1 – Relation between the predict and observed values and your respective ordinary residual for ruminal degradation of the total carbohydrates

Para a degradação ruminal dos CF (DRCF) não houve diferença entre os valores preditos e observados quanto ao intercepto  $\beta_0$  (aceita-se  $H_0^{(a)}$ ) e o coeficiente angular (aceita-se  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$ ), indicando que os valores preditos foram acurados na estimação dos observados, conforme ilustrado na Figura 2, onde nota-se grande freqüência de pontos junto à reta da equação  $Y=X$ . Contrariamente, VIEIRA et al. (2000) observaram subestimação da digestão dos carboidratos fibrosos, os quais atribuem à falhas na obtenção das estimativas dos parâmetros da cinética de degradação *in vitro* para os carboidratos fibrosos (CF), e bem como falhas na obtenção das estimativas das taxas de passagem. Considerando que estes autores mediram a taxa de passagem das partículas por intermédio do cromo mordantado à fibra, a taxa de passagem das partículas marcadas pode ser superior às partículas da fibra do alimento, uma vez que a extração com detergente neutro pode alterar a estrutura física da parede celular e a ligação com o cromo pode aumentar a densidade das partículas, fazendo com que as partículas marcadas escapem do rúmen numa taxa mais elevada. A variação na taxa de passagem apresenta grande influência na predição da digestão dos CF, uma vez que esta apresenta lenta taxa de digestão sendo, portanto, grandemente afetada por pequenas variações na taxa de passagem (MERTENS, 1994).

A estimação da digestão total dos CF também foi acurada a partir das taxas de digestão obtidas pela utilização da técnica de produção de gases. Embora exista um vício constante de 0,37 para esta variável, pois o intercepto foi estatisticamente diferente do valor paramétrico zero, o coeficiente angular da regressão não diferiu do valor paramétrico 1. Considerando que as estimativas da digestão ruminal dos carboidratos fibrosos foram acuradas, pode-se dizer que as estimativas da sua digestão intestinal também foram, uma vez que a digestão total destes compostos foi acurada e é o somatório da digestão ruminal e a digestão intestinal, indicando que as pressuposições (MERTENS e ELY, 1973) para o seu cálculo têm significado biológico.

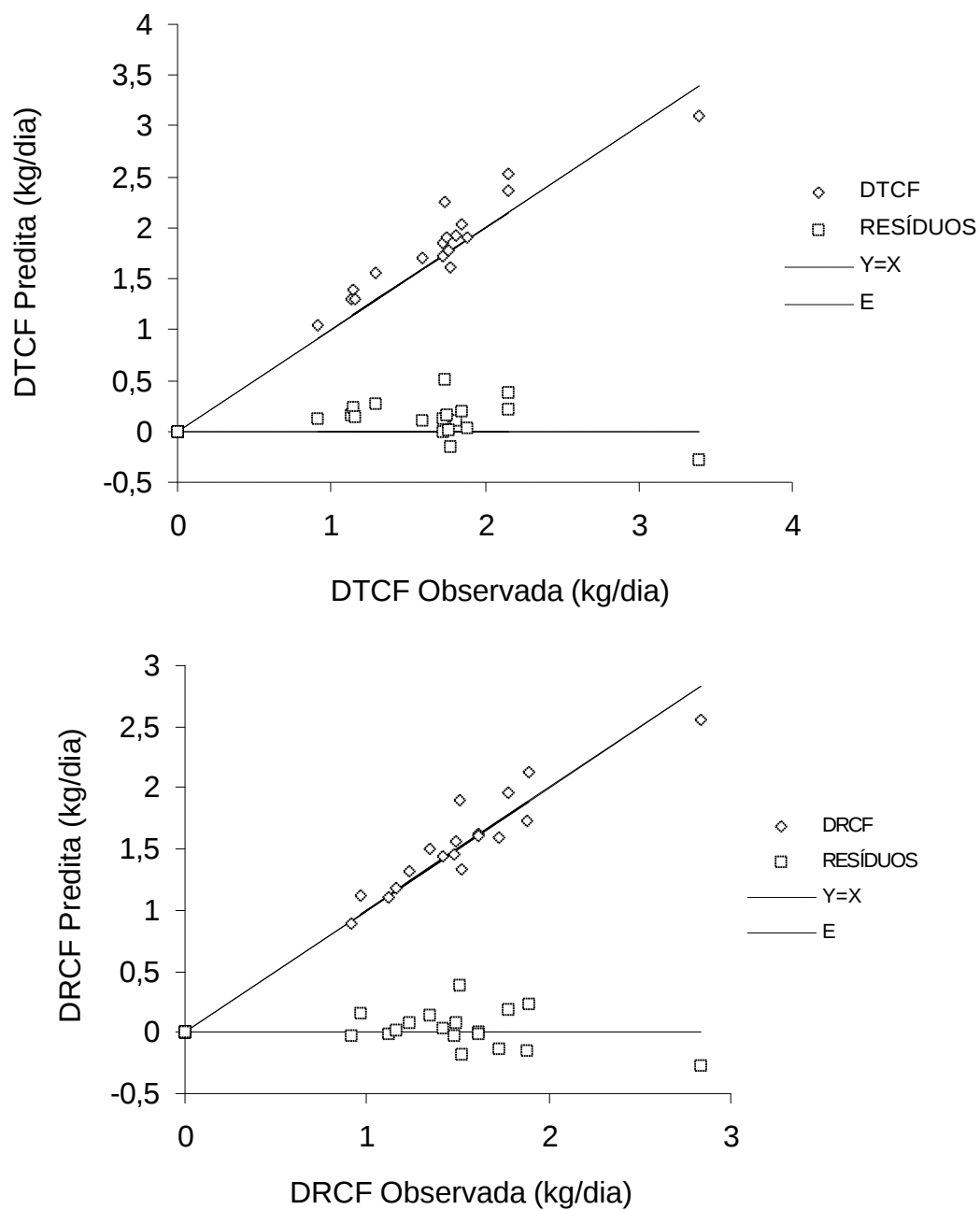


Figura 2 – Relação entre os valores preditos e observados e seus respectivos resíduos ordinários para a digestão total (DTCF) e ruminal dos CF (DRCF)

*Figure 2 – Relation between the predict and observed values and your respective ordinary residual for the total and ruminal digestion of the fiber carbohydrates*

A predição do fluxo de N microbiano no abomaso resultou em estimativas acuradas, conforme apresentado na Tabela 2, onde não foram detectadas diferenças entre os valores do intercepto e do coeficiente angular dos valores paramétricos zero e um, respectivamente. Entretanto, na Figura 3 nota-se um grande número de pontos abaixo da reta da equação  $Y=X$ , demonstrando a subestimação, embora pequena para esta variável. O valor do intercepto de  $-14,17$  g N bacteriano está próximo ao valor de  $-12$  g de N bacteriano encontrado por RUSSELL et al. (1992). VIEIRA et al. (2000) também observaram subestimação para o fluxo de N microbiano no abomaso.

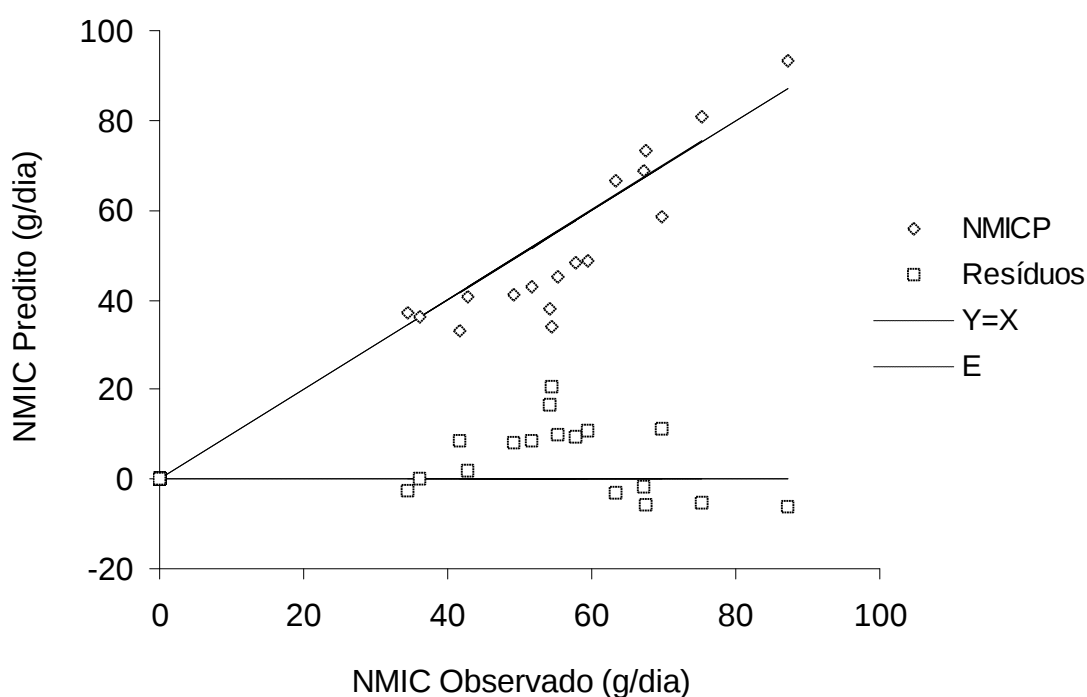


Figura 3 – Relação entre os valores preditos e observados e seus respectivos resíduos ordinários para o fluxo de N microbiano no abomaso (g/dia)

*Figure 3 – Relation between the predict and observed values and your respective ordinary residual for the microbial N in the abomasums (g/day)*

No modelo completo ( $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ ) para a digestão aparente da matéria seca (DAMS), o intercepto diferiu de zero, indicando que existe vício constante de 20,61 e o coeficiente angular da regressão diferiu de um (Tabela 2). No modelo reduzido, entretanto, o coeficiente angular não diferiu do valor paramétrico um. Considerando que biologicamente não existiria digestibilidade igual a zero, parece mais lógico usar o modelo reduzido, ou seja, sem intercepto. Com isso, a

digestibilidade da matéria seca foi estimada acuradamente a partir da relação entre os gases produzidos pelas dietas e amostras fecais, conforme ilustrado na Figura 4, onde pode ser observado maior concentração de pontos próximos à reta  $Y=X$ , bem como pequenos resíduos (predito – observado).

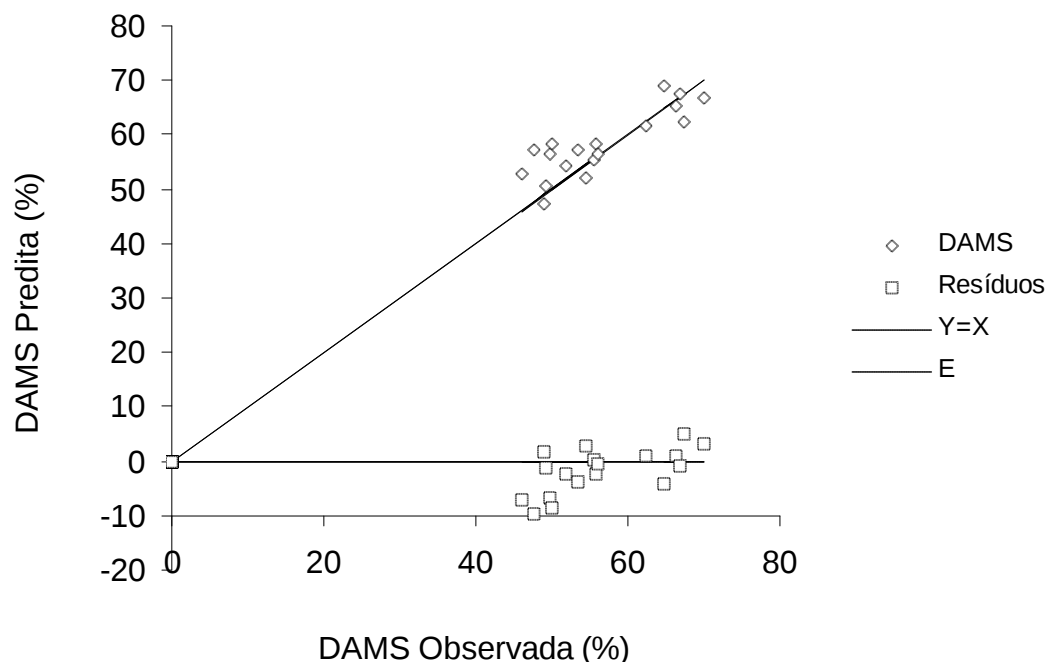


Figura 4 – Relação entre os valores preditos e observados e seus respectivos resíduos ordinários para a digestão aparente total da matéria seca (DAMS)

*Figure 4 – Relation between the predict and observed values and your respective ordinary residual for the apparent dry matter digestion (DAMS)*

Embora as taxas de passagem não tenham sido determinadas, utilizando-se desta forma, estimativas, os resultados apresentados habilitam, a princípio, a utilização da técnica de produção de gases para a estimativa dos parâmetros cinéticos da degradação dos carboidratos dos alimentos, pois tais estimativas foram acuradas na predição da digestão ruminal dos carboidratos totais e fibrosos. Adicionalmente, estas taxas de digestão permitiram estimar a contribuição da proteína microbiana nos intestinos e, com isto, a suplementação com proteína de escape pode resultar em melhores respostas à adequação dietética. A estimação da digestibilidade total da matéria seca a partir do gás oriundo das amostras da dieta e das fezes foi acurada, sendo de grande utilidade, tanto em instituições de pesquisa, quanto em situações práticas.

Embora mais experimentos sejam necessários com outras condições dietéticas, a validação destas estimativas pode trazer grande contribuição na formulação de dietas e na predição do desempenho, bem como na avaliação de alimentos por meio da simulação, reduzindo com isto, o custo e labor inerentes da experimentação com animais.

Dos resultados apresentados, o de maior interesse é a acurada estimação da digestão total dos carboidratos fibrosos. Estes compostos armazenam a maior proporção da energia nas forrageiras tropicais, entretanto, por apresentarem disponibilidade incompleta no trato gastrointestinal dos herbívoros, são responsáveis pela menor utilização da energia das dietas baseadas nestes volumosos. Devido à natureza intrínseca da parede celular destas forrageiras, ditada por suas características químicas, físicas e anatômicas, a relação entre a composição química a disponibilidade desta fração é variável, dificultando melhor entendimento dos fatores que limitam a sua digestão.

O NRC (2001) propõe a estimação do teor em nutrientes digestíveis totais (NDT) dos alimentos a partir da composição química e sugere que a digestibilidade da FDN pode ser estimada pela incubação por 48 horas *in vitro*. Entretanto, variações na taxa de digestão desta fração, na proporção de fibra indigestível entre e dentre alimentos e na taxa de passagem em função de diferentes condições dietéticas, limitam a utilização destas estimativas. A utilização de parâmetros cinéticos pode ser mais acurada na estimação da digestão total da FDN, pois leva em conta as características inerentes à fibra (taxas de digestão), bem como a taxa de passagem, que é o fator que mais afeta a disponibilidade da fibra no trato gastrointestinal. Tal fato permitirá melhor estimação da energia disponível das dietas, uma vez que a fibra é a principal fonte de energia da dieta dos ruminantes sob condições tropicais, e a responsável pela variação na disponibilidade de energia das mesmas.

## **Conclusões**

A utilização das taxas de digestão estimadas pela técnica de produção de gases estimou com acurácia a digestão ruminal dos carboidratos totais e fibrosos.

A digestão total dos carboidratos fibrosos pode ser estimada a partir de parâmetros cinéticos obtidos pela técnica de produção de gases.

O fluxo de N microbiano no abomaso foi acuradamente predito a partir das estimativas obtidas pela técnica de produção de gases.

A digestão aparente total da matéria seca pode se predita a partir da relação entre os gases da dieta e das amostras fecais.

### **Literatura Citada**

- BAILEY, R.W.; MACRAEE, C.J. The hidrolisis by rumen and caecal microbiol enzymes of hemicellulose in plant and digesta particles. **Journal of Agricultural Science**, v.75, p.321, 1970.
- BALCH, C.C. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. I. The rate of passage of food through the digestive tract. **British Journal of Nutrition**, v.4, p.361, 1950.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro***. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002
- CANNAS, A.; VAN SOEST, J.P. Simple allometric models to predict rumen feed passage rate in domestic ruminants. In: McNAMARA, J.P.; FRANCE, J.; BEEVER, D.E. (Ed.) **Modeling nutrient utilization in farm animals**. UK: CAB INTERNATIONAL, 2000. p.49-62.
- HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. Academic Press. New York. 1966.
- MERTENS, D.R.; ELY, L.O. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. **Journal of Animal Science**, v.49, n.4, p.1085-1095, 1979.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.5, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FORAGE QUALITY, EVALUATION, AND UTILIZATION, 1994, USA, Proceedings... Wisconsin, 1994.
- MERTENS, D.R. Using Fiber and Carbohydrate Analyses to Formulate Dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGES INDUSTRIES, 1996, USA, Proceedings..., Wisconsin, 1996.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, D.J.; FOX, D. G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3581, 1992.

- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577, 1992.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. The influence of elephant-grass (*Pennisetum purpureum*., Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.151-161, 1997.
- WALDO, D.R.; SMITH, L.W.; COX, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.125, 1972.
- WALDO, D.R. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.617-631, 1986.
- WEISS, P.W. SYMPOSIUM: PREVAILING CONCEPTS IN ENERGY UTILIZATION BY RUMINANTS. Predicting energy values of feeds. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1802-1811, 1993.

## **Estimação da Digestibilidade e Excreção Fecal em Bovinos por Intermédio de Indicadores Internos e Externos**

**RESUMO** – O presente trabalho objetivou estimar a digestibilidade aparente total da matéria seca e a excreção fecal em bovinos, alimentados com dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85, por intermédio de indicadores internos e externos. Foram avaliadas a fibra em detergente neutro indigestível (FDNI) e a fibra em detergente ácido indigestível (FDAI) como indicadores internos e o óxido crômico como indicador externo, os quais foram comparados com a digestibilidade obtida por meio da coleta total de fezes em seis bovinos distribuídos em delineamento inteiramente casualizado. A FDNI e FDAI foram determinadas *in vitro* após 144 horas de incubação nas amostras dos alimentos, fezes e sobras. A excreção fecal a partir do óxido crômico foi obtida pela determinação da concentração de cromo nas amostras fecais coletadas a cada 26 horas durante seis dias em relação à quantidade de cromo administrada. A excreção fecal e a digestibilidade aparente da matéria seca foram acuradamente preditas a partir do cromo e da FDNI, entretanto, com a utilização da FDAI, houve subestimação da digestibilidade e superestimação da excreção fecal, para a dieta com feno de capim tifton-85.

Palavras-chave: digestibilidade, excreção fecal, indicadores

## **Estimation of Digestibility and Faecal Output in Cattle by Means of Internal and External Markers**

**ABSTRACT:** The present work objectified to estimate the total apparent digestibility of dry matter and the faecal excretion in cattle fed diets based on corn silage, tifton-85 bermudagrass hay and elephant-grass silage by using internal and external markers. The digestibility obtained by the internal markers indigestible neutral detergent fiber (INDF) and indigestible acid detergent fiber (IADF) and by the external marker chromic oxide were compared with the digestibility obtained by total collection of faeces in six cattle arranged in a completely randomized design. The INDF and IADF were determined after 144 hours of *in vitro* incubation of samples of feeds, faeces and orts. The faecal excretion by chromic oxide was obtained by determination of chrome concentration in faecals samples obtained each 26 hours during six days in relation to the amount of chrome administered. The faecal excretion and the apparent digestibility of dry matter were accurately predicted by chrome and INDF, however with the IADF utilization, there was underestimation of digestibility and overestimation of total excretion for the tifton-85 bermudagrass hay diet.

Key Words: digestibility, faecal excretion, markers

## Introdução

A busca de métodos para a estimação do valor nutricional tem sido alvo de inúmeras pesquisas nacionais e internacionais na nutrição de ruminantes, uma vez que os ensaios com animais são caros, laboriosos e relativamente longos (PELL e SCHOFIELD, 1993). Entretanto, os métodos *in vivo* continuam a ser importantes, uma vez que são referência, tanto na avaliação de alimentos, como na validação dos métodos de estimação.

A determinação da digestibilidade tem sido o principal objetivo da experimentação *in vivo*, uma vez que esta variável quantifica a disponibilidade dos nutrientes dos alimentos no trato gastrointestinal dos animais, envolvendo mensurações de consumo e da excreção fecal. Considerando o elevado consumo de alimentos pelos ruminantes e a proporcional elevada excreção fecal, a coleta total de fezes por determinado período de tempo torna-se impraticável, o que levou à utilização de indicadores para a estimação da excreção fecal e da digestibilidade (COCHRAN et al., 1986).

Indicadores são compostos indigestíveis, inerentes dos alimentos ou adicionados a eles, o que os classifica como internos ou externos, respectivamente (OWENS e HANSON, 1992). OWENS e HANSON (1992) sugerem que um indicador deve apresentar as seguintes características para ser considerado como ideal: (1) não deve ser absorvido pelo trato gastrointestinal; (2) não deve afetar ou ser afetado pelo trato gastrointestinal e sua população microbiana; (3) deve escapar do rúmen numa taxa compatível com a digesta ou fração a ser marcada; (4) deve ter método sensível e específico de determinação. Entretanto, a princípio, nenhum indicador atende todos os requisitos acima.

Dos indicadores externos, o óxido crômico tem sido o mais utilizado em estudos de digestão, entretanto por apresentar passagem pelo trato gastrointestinal distinta daquela dos constituintes dos alimentos e, devido à variação diurna na sua excreção fecal, necessitando de coletas mais freqüentes (TITGEMEYER, 1997), o que tem levado à utilização de indicadores internos mais freqüentemente.

Embora seja extensa a utilização de indicadores para a estimação da excreção fecal e da digestibilidade das dietas, poucos estudos têm verificado a acurácia de tais estimativas, o que torna necessária a comparação da coleta total com as estimativas.

Portanto, foram objetivos do presente trabalho verificar a acurácia das estimativas da excreção fecal e digestibilidade aparente da matéria seca por intermédio do óxido crômico, FDN e FDA indigestíveis *in vitro*, em bovinos, alimentados com dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85.

### **Material e Métodos**

Foram utilizadas neste trabalho, as dietas à base das silagens de milho (*Zea mays*, L.) e de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schumm) cv. Cameroon e feno de capim tifton-85 (*Cynodon spp.*) citadas por CABRAL (2002). Foram utilizados seis animais bovinos com peso vivo médio inicial de 350 kg distribuídos em delineamento em quadrado latino 3 x 3 duplo.

A determinação da excreção fecal e digestibilidade aparente da matéria seca foi realizada nos dois últimos períodos do experimento, durante os três dias finais de cada período, onde foram mensurados o consumo de matéria seca e a excreção fecal, por meio de coleta total de fezes.

Para a estimação da digestibilidade aparente da matéria seca e da excreção fecal utilizou-se o óxido crômico, a fibra em detergente neutro indigestível (FDNI) e a fibra em detergente ácido indigestível (FDAI). Cada período experimental constou de 16 dias, dos quais, os 10 primeiros foram destinados à adaptação dos animais às dietas e os seis restantes, destinados às coletas de amostras fecais a cada 26 horas. A partir do 5<sup>o</sup> dia do período de adaptação, foram administrados 15 g de óxido crômico diariamente a cada animal, às 11:00 horas, cuja dose foi mantida até o último dia de cada período.

As amostras dos alimentos, sobras e de fezes coletadas foram pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55<sup>o</sup>C durante 72 horas e, então formaram amostras compostas para cada animal dentro de cada período. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho com peneiras de 1 mm para posteriores análises de matéria seca (MS), cromo, FDNI e FDAI.

A concentração de cromo nas amostras fecais foi determinada conforme WILLIAMS et al. (1962). A FDNI e FDAI foram determinadas nos alimentos, sobras e fezes por incubação *in vitro* durante 144 horas, conforme COCHRAN et

al. (1986), com algumas modificações. As amostras foram pesadas (100 mg) em frascos de vidro de 50 mL, os quais receberam 8 mL de solução tampão de McDOUGAL (1949) previamente reduzida com CO<sub>2</sub> (pH 6,8 – 7,0) e 2 mL de inóculo ruminal coletado de um bovino fistulado no rúmen, sob aspersão de CO<sub>2</sub>. Os frascos foram lacrados, permanecendo em mesa de agitação orbital, a 39°C durante 144 horas. No final da incubação, os frascos receberam 25 mL de solução detergente neutra (FDNI) ou ácida (FDAI) (VAN SOEST et al., 1991) sendo, em seguida, colocados em autoclave por 1 hora a 100°C (PELL e SCHOFIELD, 1993). Em seguida, os resíduos foram filtrados em cadinho filtrante de porosidade zero, lavados com água quente e acetona, secos em estufa a 105°C durante uma noite e, pesados.

A comparação das estimativas foi realizada por meio de análise de regressão dos valores preditos sobre os observados (coleta total). Adicionalmente, as estimativas dos parâmetros da regressão foram testadas pelas hipóteses  $H_0^{(a)} : \beta_0 = 0$  e  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$ , de modo a identificar se as estimativas foram subestimadas ou superestimadas.

Como foi verificado elevado CV (%) para a FDAI os dados foram também analisados por intermédio do seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + e_{ijk} + M_l + TM_{il} + e_{ijklm}$$

Onde,

$\mu$  = efeito constante;

$T_i$  = efeito do tratamento i;

$P_j$  = efeito do bloco ou período j;

$e_{ijk}$  = efeito residual das parcelas;

$M_l$  = efeito da metodologia l;

$TM_{il}$  = efeito da interação do tratamento i com a metodologia l;

$e_{ijklm}$  = erro aleatório pressuposto NID (0,  $\sigma^2$ )

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com duas repetições por tratamento dentro de cada bloco, adotando-se esquema de sub-divisão das parcelas em função das metodologias, adotando-se  $\alpha = 0,05$ , pelo teste de Dunnett.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise de regressão entre os valores preditos e os observados. A princípio, a predição da excreção fecal e da digestibilidade aparente foi acurada utilizando qualquer um dos indicadores, uma vez o intercepto não diferiu do valor paramétrico zero, ou seja, aceita-se a hipótese de nulidade  $H_0^{(a)} : \beta_0 = 0$ , e o coeficiente angular da regressão não diferiu do valor paramétrico 1, onde também aceita-se  $H_0^{(b)} : \beta_1 = 1$ . Entretanto, para a excreção fecal, o coeficiente angular da regressão ( $\beta_1$ ) para a FDAI não diferiu de zero, mas também não diferiu do valor paramétrico 1, o que pode ser atribuído ao elevado coeficiente de variação para este indicador na estimação da excreção fecal.

Embora não tenha sido verificada diferença entre o intercepto e o coeficiente angular da regressão dos valores preditos sobre os observados para os indicadores avaliados, nota-se que os coeficientes citados para a FDNI aproximaram-se mais dos valores paramétricos zero e 1 e, para a FDAI, obtiveram-se os valores mais distantes dos valores paramétricos.

Tabela 1 – Estimativas dos parâmetros relativos à regressão dos valores preditos sobre os observados, considerando o modelo completo ( $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ ) e coeficiente de variação para a excreção fecal e a digestibilidade aparente da matéria seca estimadas pelo óxido crômico (CR), fibra em detergente neutro indigestível (FDNI) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAI)

Table 1 – Parameters estimative relative to regression of predict values over the observed values, considered the complete model ( $Y = b_0 + b_1X$ ) and variation coefficient for faecal excretion and the apparent dry matter digestibility estimated by chromic oxide (CO), indigestible neutral detergent fiber (INDF) and indigestible acid detergent fiber (IADF)

| Ítems | Modelo completo<br>Complete model                                             |           | CV(%) |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|
|       | $\beta_0$                                                                     | $\beta_1$ |       |
|       | Excreção fecal<br>Faecal excretion                                            |           |       |
| CR    | 0,41                                                                          | 0,83      | 21,48 |
| RC    |                                                                               |           |       |
| FDNI  | -0,19                                                                         | 1,11      | 17,08 |
| INDF  |                                                                               |           |       |
| FDAI  | -0,51                                                                         | 1,43      | 44,98 |
| IADF  |                                                                               |           |       |
|       | Digestibilidade aparente da matéria seca<br>Apparent dry matter digestibility |           |       |
| CR    | 21,37                                                                         | 0,63      | 11,37 |
| RC    |                                                                               |           |       |
| FDNI  | 0,76                                                                          | 0,98      | 6,73  |
| INDF  |                                                                               |           |       |
| FDAI  | -54,52                                                                        | 1,84      | 24,93 |
| IADF  |                                                                               |           |       |

Na Tabela 2 é apresentado o resultado da análise de variância para os indicadores em relação à coleta total, para as dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante e feno de capim tifton-85. Tanto para a excreção fecal ou digestibilidade aparente da matéria seca, os indicadores não diferiram da coleta total para as dietas à base das silagens de milho e de capim-elefante. Entretanto, para a dieta à base de feno de capim tifton-85, a FDAI superestimou a excreção fecal e, consequentemente, subestimou a digestão aparente da matéria seca.

Tal comportamento para a FDAI não tem sido verificado na literatura nacional e internacional e, portanto, carece de explicação. Embora alguns autores concluem que a utilização de indicadores internos obtidos *in vitro* deve ser cuidadosa (COCHRAM et al., 1986), acreditando que a indigestibilidade pode não ser atingida nestes sistemas, VAN SOEST (1994) sugere que a utilização de FDAI e FDNI deve ser obtida por métodos *in vitro*, uma vez que a incubação ruminal por longos períodos de tempo pode resultar em influxo de partículas e causar considerável e variável contaminação dos resíduos.

Embora as amostras dos alimentos, sobras e de fezes tenham todas sido moídas em moinho com peneira de 1 mm, existe grande diferença visual no tamanho das partículas entre o feno de capim tifton-85 e respectivas amostras de fezes, quando comparadas às silagens de milho e de capim-elefante. Tal fato pode

levar a perda diferenciada de partículas nos poros dos cadinhos filtrantes entre as amostras do alimento e das fezes, o que poderia afetar a concentração do indicador nas amostras dos alimentos e, com isso, afetar as estimativas da excreção fecal e digestibilidade aparente. Desta forma, talvez a moagem em moinho de bola fosse mais adequada para o feno, uma vez que o alimento apresentava-se em estágio de maturidade bastante avançada e, portanto, oferecendo maior resistência à moagem. Adicionalmente, a incubação *in situ* poderia eliminar este problema, uma vez que as partículas estariam sendo submetidas aos eventos físicos de contração e movimentação no interior ruminal, bem como recebendo a força física exercida pelos líquidos que entram no ambiente ruminal.

BERCHIELLI et al. (2000), entretanto, verificaram que a estimação da digestibilidade dos nutrientes quando estimada por indicadores internos determinados pela incubação *in vitro* durante seis dias não diferiu da coleta total.

Tabela 2 – Valores médios e coeficientes de variação para a excreção fecal e digestibilidade aparente da matéria seca determinados pela coleta total de fezes e estimados pelo cromo, fibra em detergente neutro indigestível (FDNI) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAI) para as dietas à base de silagem de milho (SM), feno de capim tifton-85 (FCT) e silagem de capim-elefante (SCE)

Table 2 – Average values and variation coefficient for faecal excretion and apparent dry matter digestibility determined by total collection and estimated by chrome, indigestible neutral detergent fiber (INDF) and indigestible acid detergent fiber (IADF) for corn silage (CS), tifton-85 bermudagrass hay (TH) and elephant-grass silage (ES) diets

| Ítems                                                                                        | Dietas<br>Feeds |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                                                                                              | SM<br>CS        | FCT<br>TH | SCE<br>ES |
| Excreção fecal (kg/dia)<br><i>Faecal excretion (kg/day)</i>                                  |                 |           |           |
| Coleta total<br><i>Total collection</i>                                                      | 2,285           | 2,235     | 2,258     |
| Cromo<br><i>Chrome</i>                                                                       | 2,088           | 2,675     | 2,115     |
| FDNI<br><i>INDF</i>                                                                          | 2,119           | 2,713     | 2,124     |
| FDAI<br><i>IADF</i>                                                                          | 2,199           | 4,074*    | 1,931     |
| Digestibilidade aparente da matéria seca (%)<br><i>Apparent dry matter digestibility (%)</i> |                 |           |           |
| Coleta total<br><i>Total collection</i>                                                      | 64,49           | 51,28     | 55,25     |
| Cromo<br><i>Chrome</i>                                                                       | 65,72           | 51,80     | 53,91     |
| FDNI<br><i>INDF</i>                                                                          | 66,00           | 51,03     | 53,45     |
| FDAI<br><i>IADF</i>                                                                          | 64,86           | 28,21*    | 57,99     |

\* diferente estatisticamente da coleta total pelo teste de Dunnett (P<0,05)

## Conclusões

A estimação da excreção fecal e da digestibilidade aparente da matéria seca com cromo e FDNI foram acuradas.

A utilização da FDAI superestimou a excreção fecal e subestimou a digestibilidade aparente da matéria seca para a dieta à base de feno de capim tifton-85.

## Literatura Citada

- BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.830-833, 2000.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro***. Viçosa, MG: UFV, 2002, Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- COCHRAN, R.C.; ADAMS, D.C.; WALLACE, J.D. et al. Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers. **Journal of Animal Science**, v.63, p.1476-1483, 1986.
- McDOUGAL, E.I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, n.1, p.99-109, 1949.
- OWENS, F.N.; HANSON, F.H. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2605-2617, 1992.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- TITGEMEYER, E.C. Design and interpretation of nutrient digestion studies. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2235-2247, 1997.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed., Cornell University Press, Ithaca, New York, 1994, 476p.
- WILLIAMS, C.H., DAVID, D.J., IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agricultural Science**, v.59, p.381, 1962.

## CONCLUSÕES GERAIS

O acréscimo de grãos à silagem de milho aumentou linearmente os teores de carboidratos não fibrosos (CNF), bem como a produção de gás, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e o teor em nutrientes digestíveis totais (NDT) estimado e reduziu os teores fibra em detergente neutro (FDN) e lignina. Considerando a inversa relação entre o teor de FDN e o NDT, este último pode ser estimado a partir da concentração em FDN.

O acréscimo de panículas à silagem de sorgo, embora tenha aumentado linearmente os teores de CNF e reduzido o teor de FDN, não afetou o teor da fração indigestível (C), o volume final de gás e afetou quadraticamente a DIVMS. A estimativa do NDT para silagem de sorgo a partir da composição químico-bromatológica parece não ser adequada.

Dos alimentos avaliados na experimentação *in vivo*, a silagem de milho destacou-se como importante fonte de carboidratos não fibroso (CNF), enquanto o feno de capim tifton-85 e a silagem de capim-elefante importantes fontes de carboidratos fibrosos.

Na experimentação *in vivo*, a silagem de milho resultou em maior consumo em nutrientes digestíveis totais que a silagem de capim-elefante e o feno de capim tifton-85. O rúmen foi o principal sítio de digestão dos carboidratos totais e fibrosos. O teor de FDN indigestível (FDNI) pode ser utilizado para prever a digestibilidade de dietas baseadas em volumosos tropicais. A dieta à base de silagem de milho proporcionou maior degradação ruminal dos carboidratos totais e maior fluxo de proteína microbiana para o abomaso, entretanto, a eficiência microbiana foi superior para as dietas à base de silagem de capim-elefante e feno de

capim tifton-85. Para a dieta à base de silagem de milho também foram verificados menores valores de pH e concentração de N-NH<sub>3</sub> ruminal.

A utilização dos parâmetros cinéticos obtidos pela técnica de produção de gases permitiu prever a digestão ruminal dos carboidratos totais, a digestão total e ruminal dos carboidratos fibrosos, o fluxo de compostos nitrogenados microbianos no abomaso e a digestão aparente da matéria seca de forma acurada. A estimação da digestão dos carboidratos fibrosos no trato gastrintestinal pode ser feita de forma acurada a partir de parâmetros cinéticos obtidos *in vitro*, ao invés da utilização de componentes químicos, tais como a lignina, que tendem a subestimar a fração indigestível.

A utilização do cromo e FDN e FDA indigestíveis (FDNI e FDAI) estimou de forma acurada a excreção fecal e a digestibilidade aparente da matéria seca para as dietas à base de silagens de milho e de capim-elefante, mas a FDAI subestimou a digestão aparente e superestimou a excreção fecal para a dieta à base de feno de capim tifton-85.