

EDINALDO DA SILVA BEZERRA

**EFETIVIDADE FÍSICA DA FIBRA NA DIETA
DE VACAS LEITEIRAS**

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
2000

A Lia e Bezerra, pelo que são e pelo que sou.

À minha adorável filha, Júlia, por quem tanto esforço valeu a pena.

AGRADECIMENTO

O desenvolvimento de uma tese é uma tarefa árdua e extremamente laboriosa, e acredito que apenas aqueles que vivenciaram essa situação podem ter a exata dimensão das dificuldades a que me refiro. É um trabalho que dificilmente pode ser realizado sem a colaboração de inúmeras pessoas e instituições, e agradecê-las, mais do que um ato formal, é uma obrigação.

Sou grato à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro que, ciente da importância da capacitação de seus professores, me liberou para treinamento em nível de Doutorado, e à Universidade Federal de Viçosa, que aceitou e desempenhou a contento essa incumbência.

Ao Programa Institucional de Capacitação de Docentes e Técnicos-PICDT da UFRRJ, cujo apoio financeiro foi de crucial importância, especialmente porque grande parte dos recursos financeiros para custear as despesas referentes aos trabalhos de campo originou-se de minha conta-corrente pessoal, o que só foi possível graças à bolsa de estudos concedida por essa instituição.

Ao professor Augusto César de Queiroz, por ter, muito gentilmente, aceitado a incumbência de me orientar. A ele sou especialmente grato pela paciência e por não ter, em nenhum momento, duvidado de que eu seria capaz. Seu apelido, “Miudinho”, não faz jus ao tamanho de seu coração.

À minha amiga Fabiana Maldonado, por ter sido, durante o trabalho de campo e nas análises laboratoriais, o meu braço direito, e muitas vezes até mesmo o esquerdo. Tudo seria muito mais difícil sem a sua inestimável ajuda.

Ao professor José Carlos Pereira, pelas importantes sugestões ao trabalho, por sua presteza em todos os momentos em que precisei e por ser um profissional exemplar. Foi uma honra para mim ter sido seu aluno, e espero ter o privilégio de ser também seu amigo.

Este trabalho, muito provavelmente, não teria sido executado sem a inestimável contribuição do Dr. Ricardo Augusto Mendonça Vieira, que além de meu amigo pessoal foi um conselheiro de fato, com valiosas sugestões para a elaboração do projeto. Foi ainda quem calculou os parâmetros de passagem, tarefa bastante complexa, digna de sua mente privilegiada.

Aos professores Mário Fonseca Paulino, Rogério de Paula Lana e José Maurício de Souza Campos, pelas importantes sugestões durante a elaboração da tese.

Tive a satisfação de ter como colegas de Curso Euzânia Sales Pereira e Ronaldo Lopes de Oliveira, hoje professores em importantes instituições de ensino superior no Brasil. Ambos deram uma grande contribuição na condução dos trabalhos, especialmente quanto a questões metodológicas, e também se tornaram dois grandes amigos.

Cristina Amorim Ribeiro de Lima foi minha companheira durante muitos anos; sua contribuição no Doutorado se deu indiretamente, mas nem por isto foi menos importante. Além de ter me dado uma filha maravilhosa, deu-me também grandes contribuições ao longo de minha vida, e a ela devo muito do que sou hoje, como pessoa e como profissional.

Pela natureza de meu trabalho e pelo estilo de vida que levei, fiz poucos amigos em Viçosa. Mas os poucos que fiz certamente serão para sempre. Neste rol eu posso inserir, seguramente, Carlos Alberto de Souza Gondim e o casal Renato e Maria de Lourdes Rosa, de quem jamais esquecerei.

À Isabela e Poliana Nunes, que contribuíram significativamente para tornar a tarefa da condução do experimento e das análises laboratoriais menos

árdua. Além de colaboradoras, ganhei duas amigas. Também sou grato à minha amiga Raquel Omyia, cuja contribuição foi fundamental nas análises laboratoriais.

Contei, muitas vezes, com a ajuda de bolsistas do Convênio Nestlé/UFV para a execução de tarefas experimentais, e gostaria de agradecer especialmente às acadêmicas de veterinária Andréia Brasileiro e Kátia Atoji. Também deu sua contribuição a acadêmica de zootecnia Valquíria.

Aos funcionários do Setor de Bovinocultura do Leite da UFV, pela grande colaboração durante os trabalhos experimentais, em especial ao Luiz Carlos e José Antônio, pela dedicação e pelo companheirismo, tão importantes nos momentos difíceis.

Ao meu amigo, colega de infância, de turma e hoje de profissão, Luciano Cabral, cujas sugestões foram muito bem aproveitadas durante a elaboração da tese e por ter contribuído, inúmeras vezes, na condução dos trabalhos de campo.

Ao professor Pedro A.M. Malafaia, do DNAP/IZ/UFRRJ, por ter gentilmente cedido as instalações de seu laboratório para que eu pudesse concluir algumas análises laboratoriais e por ter dado valiosas sugestões para a tese. É um excelente profissional e um grande companheiro, de quem espero privar sempre da amizade.

À Professora Ângela David Quintão Lana, do Departamento de Matemática da UFRRJ, meus sinceros agradecimentos por ter acertadamente mudado o rumo das análises estatísticas do trabalho. Da mesma forma, quero agradecer aos Laboratoristas Emanuel e Marquinhos, do Instituto de Zootecnia da UFRRJ, que me fizeram ver alguns erros crassos que poderia ter cometido em minhas análises bromatológicas.

Aos professores de DZO, que contribuíram nesta etapa da minha formação profissional, especialmente ao professor Sebastião Campos de Valadares Filho, cujos ensinamentos foram de extrema valia e por ser, certamente, um ótimo exemplo de profissional a ser seguido.

Ao professor Odilon, por ter gentilmente cedido o material utilizado para compor os tratamentos empregados neste experimento.

Aos colegas professores do Departamento de Produção Animal da UFRRJ, por me liberarem e se comprometerem em suprir minha ausência no interregno do curso de Pós-Graduação.

À Maria Helena Diogo Sampaio e Carlos Alberto de Freitas, ambos do Laboratório de Controle de Qualidade da FUNARBE, que foram fundamentais nas análises de amostras do leite.

Ao Roberto Grégio de Souza, técnico do Laboratório de Análise de Nitrogênio do CNPAB-EMBRAPA, por sua presteza ímpar ao se oferecer para realizar algumas análises de grande relevância para minha tese. É o tipo de amigo que se deseja sempre por perto.

À minha melhor amiga e também minha amada, Ana Raquel Gomes Faria, da Fundação Rio-Zoo, por ter me ajudado nos momentos finais de conclusão de meus trabalhos e, portanto, não poderia deixar de ser mencionada.

Aos meus colegas Alberto e Sherlânea, grandes companheiros durante muitas horas de estudo, por terem contribuído para uma estada mais amena em Viçosa.

Aos funcionários Monteiro, Fernando, Vera Lúcia, Valdir e Wellington, do Laboratório de Nutrição Animal, pela contribuição durante parte das análises laboratoriais.

Em especial ao professor Igor M.E.V. von Tiesenhausen, da Universidade Federal de Lavras, meu mentor inicial e um entusiasta incentivador do aprimoramento profissional. Obrigado “Barão”, serei-lhe eternamente grato.

Enfim, àqueles cujos nomes, não por injustiça, mas por lapso de memória deixei de mencionar diretamente, e que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

BIOGRAFIA

EDINALDO DA SILVA BEZERRA, filho de José Alves Bezerra e Maria Luíza da Silva Bezerra, nasceu em 15 de agosto de 1961, na cidade do Rio de Janeiro-RJ.

Fez o curso de Técnico em Agropecuária no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e o de Zootecnia na mesma universidade, tendo concluído a graduação em 1984.

Entre 1994 e 1996, foi pesquisador do Centro Internacional para Estudo de Miíases Tropicais, no Rio de Janeiro, e nesse mesmo ano foi convidado para trabalhar na Cooperativa Nacional Agroindustrial, em Ribeirão Preto-SP, como assistente técnico em extensão rural, onde permaneceu até 1987.

Em março de 1987, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Lavras, obtendo o título de Mestre em 1989. Nesse mesmo ano, mediante concurso público, ingressou na Fundação Universidade Estadual de Maringá, exercendo a função de professor até 1992.

Em junho de 1992, prestou concurso público para lecionar na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, estando na função até a presente data.

Em 1996, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, obtendo o título de Doutor em Zootecnia em novembro de 2000.

CONTEÚDO

| | Página |
|---|---------------|
| LISTA DE TABELAS | xi |
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| RESUMO | xv |
| ABSTRACT | xvii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Fibra efetiva e fisicamente efetiva | 4 |
| 2.2. Nitrogênio uréico do leite..... | 6 |
| 2.3. Fibra e consumo de matéria seca..... | 7 |
| 2.4. Fibra e crescimento microbiano | 8 |
| 2.5. Taxa de passagem..... | 10 |
| 2.6. Ácidos graxos voláteis e pH ruminais..... | 11 |
| 2.7. Comportamento alimentar de vacas em produção de leite..... | 12 |
| 2.8. Efetividade da fibra e desempenho animal | 13 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 3.1. Local..... | 16 |
| 3.2. Desenho experimental | 16 |
| 3.3. Instalações | 18 |
| 3.4. Tratamentos..... | 18 |
| 3.5. Manejo alimentar..... | 21 |

| | Página |
|---|---------------|
| 3.6. Amostragem | 22 |
| 3.7. Procedimentos laboratoriais | 24 |
| 3.7.1. Composição bromatológica..... | 24 |
| 3.7.2. Determinação do cromo fecal | 25 |
| 3.7.3. Composição do leite | 26 |
| 3.7.4. Nitrogênio uréico do leite (MUN)..... | 27 |
| 3.7.5. pH e ácidos graxos voláteis..... | 28 |
| 3.7.6. Degradabilidade | 28 |
| 3.8. Estudo do comportamento animal..... | 29 |
| 3.9. Análises estatísticas..... | 30 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 32 |
| 4.1. Consumo e conversão alimentar | 32 |
| 4.2. Tempo médio de retenção e degradabilidade das dietas | 36 |
| 4.3. Parâmetros fisiológicos ruminais | 42 |
| 4.4. Desempenho produtivo | 50 |
| 4.5. Comportamento ingestivo | 55 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES | 62 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 65 |
| APÊNDICES..... | 79 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|---------------|
| 1 Distribuição dos tratamentos, seguindo um modelo <i>switch-back</i> | 17 |
| 2 Perfil de distribuição (%) das partículas de fibra nos tratamentos... | 21 |
| 3 Composição bromatológica da ração total oferecida e de seus ingredientes | 22 |
| 4 Esquema de coleta de fezes para determinação da taxa de passagem | 23 |
| 5 Consumo de ração, expresso em valores absolutos (kg/cab/dia), em relação ao peso vivo (%/PV) e em gramas, por unidade de peso metabólico (g/kg PV ^{0,05}), e conversão alimentar (kg de ração total/kg de leite produzido)..... | 33 |
| 6 Consumo de proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, matéria orgânica e carboidratos, expressos em termos absolutos (kg/cab)dia), e em gramas, por unidade de peso vivo metabólico (g/kg PV ^{0,75}) | 35 |
| 7 Tempo médio (h) de retenção (TMR) e valores médios (%) de digestibilidade da matéria seca (DMS), da matéria orgânica (DMO), da proteína bruta (DPB), da fibra em detergente neutro (DFDN), da fibra em detergente ácido (DFDA) e dos carboidratos não-estruturais (DCNE) das dietas | 36 |

| | | |
|----|--|----|
| 8 | Concentrações molares (mMol) de ácidos graxos voláteis acético (Acet), propiônico (Prop) e butírico (But) no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial | 42 |
| 9 | Concentrações relativas (%) de ácidos graxos voláteis acético (Acet), propiônico (Prop) e butírico (But) no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial | 43 |
| 10 | Proporção molar entre os ácidos acético e propiônico no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial | 43 |
| 11 | Valores de pH do líquido ruminal | 48 |
| 12 | Produção, concentração de sólidos e de uréia e acidez do leite | 50 |
| 13 | Comportamento ingestivo dos animais em relação aos tempos gastos, em minutos (min.), com ingestão de alimentos, ruminação, consumo de água e com outras atividades, taxa de mastigação e tempo médio, em segundos (seg.), para formação de cada bolo alimentar | 56 |
| 1A | Planilha para coleta de dados de comportamento em cada período..... | 80 |
| 2A | Planilha para registro do número de mastigações meréricas por bolo formado e o tempo (seg.) gasto para a formação de cada bolo..... | 81 |
| 3A | Valores de quadrado médio (QM), nível de significância e coeficiente de variação dos parâmetros estudados..... | 82 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| 1 Peneiras utilizadas no triturador de feno que compuseram os tratamentos 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) e 5 (e)..... | 19 |
| 2 Separador de partículas modelo <i>Penn State</i> na ordem inversa de empilhamento (a) e as bandejas separadas (b). Padrões de movimentação do separador (c). Os retângulos são as representações esquemáticas do separador em diferentes orientações; as setas indicam o sentido dos movimentos horizontais do separador de partículas; a linha cheia indica o lado do separador marcado para orientar a rotação; o número acima da seta indica quantas vezes foi realizado o movimento; e o número abaixo de cada retângulo indica a seqüência das rotações utilizadas na separação das partículas..... | 20 |
| 3 Variações nas concentrações molares de ácidos graxos voláteis, em diferentes períodos pós-prandial | 44 |
| 4 Variações nas concentrações relativas de ácidos graxos voláteis, em diferentes períodos pós-prandial | 45 |
| 5 Variações nos valores de pH do líquido ruminal | 49 |
| 6 Produção de leite dos animais em teste | 51 |
| 7 Concentração de gordura no leite dos animais em teste..... | 53 |

| | Página |
|----|---|
| 8 | Comportamento ingestivo dos animais 57 |
| 9 | Taxa de mastigação (mastigação/bolo) 58 |
| 10 | Taxa de mastigação (mastigação/minuto) 61 |
| 11 | Tempo de formação do bolo ruminal 61 |
| 1A | Curva de recuperação do cromo mordante..... 84 |

RESUMO

BEZERRA, Edinaldo da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2000. **Efetividade física da fibra na dieta de vacas leiteiras.** Orientador: Augusto César de Queiroz. Conselheiros: José Carlos Pereira e Mário Fonseca Paulino.

Entre março e julho de 1999, 10 vacas com grau de sangue HPB foram submetidas a um ensaio em *switch back* de 3 períodos para avaliar o efeito da efetividade física de dietas sobre parâmetros nutricionais, fisiológicos, de desempenho e comportamentais. Os animais foram estabelecidos no Setor de Bovinocultura da UFV e alimentados com rações totais isonutricionais constituídas de feno de tifton (50,4%) e concentrado à base de milho e soja (49,6%). O feno foi moído em moinho com peneiras de malha 3,2, 4,8, 7,9, 15,9 e 25,4mm e amostras de cada moagem foram submetidas ao separador de partículas *Penn State* para determinação do perfil de distribuição das partículas da fibra. Foram constituídos 5 tratamentos: T1 – 100% das partículas abaixo de 8 mm; T2 – 76% abaixo de 8 mm e 24% entre 8 e 19 mm; T3 – 36,7% abaixo de 8 mm, 26,6% entre 8 e 19 mm e 36,7% acima de 19 mm; T4 – 32% abaixo de 8 mm, 28% entre 8 e 19 mm e 40% acima de 19 mm; T5 – 26% abaixo de 8 mm, 28% entre 8 e 19 mm e 46% acima de 19 mm. Digestibilidade e tempo médio de retenção foram determinados usando-se as

técnicas do FDN indigerível e do cromo mordante, respectivamente. Acidez e ácidos graxos voláteis (AGV) foram determinados em líquido de rúmen coletado via sonda esofagiana. O comportamento alimentar foi avaliado para cada período experimental. Verificou-se que o consumo não foi afetado pela efetividade física da ração, embora tenham sido constatadas diferenças na digestibilidade e no trânsito da digesta, sugerindo que a concentração e a natureza química da fibra, mais do que a forma física, são as principais responsáveis na determinação da ingestão de alimentos. A efetividade física exerceu efeito no trânsito das partículas, observando-se que dietas com maior efetividade física promoveram maior tempo de permanência da digesta no trato gastrointestinal. Da forma como a efetividade física afetou os coeficientes de digestão da matéria seca, da matéria orgânica e da fibra neste trabalho percebe-se a necessidade de mais estudos para melhor compreensão das inter-relações entre processamento dos ingredientes, tamanho das partículas dietéticas e digestibilidade. Alterações constatadas nas concentrações molares e relativas dos AGV frente às diferenças nos níveis de efetividade física suportam a tese de que a natureza física das partículas dietéticas deve ser considerada na avaliação da efetividade das dietas ou de seus ingredientes. A efetividade física da dieta promoveu variações no comportamento alimentar dos animais, com conseqüências no desempenho e na composição do leite. Uma análise conjunta de todos os parâmetros sugere que o processamento dos ingredientes, com redução no tamanho da partícula, deve ser considerado criteriosamente, já que respostas mais positivas ocorreram quando os animais foram submetidos às dietas de efetividade física intermediária. Os resultados evidenciam que a efetividade física de dietas e de ingredientes, da forma como foram avaliados neste trabalho, é um processo relativamente fácil de ser determinado e pode ser empregado na análise de qualquer tipo de dieta utilizada para vacas leiteiras.

ABSTRACT

BEZERRA, Edinaldo da Silva, D.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2000. **Physical effectiveness of the fiber in dairy cows diet.** Adviser: Augusto César de Queiroz. Committee members: José Carlos Pereira and Mário Fonseca Paulino.

Between March and July of 1999, 10 Holstein cows with weight between 450 and 650 kg were submitted to an essay in switch back of three consecutive periods to evaluate the physical effectiveness of diets on the food intake and feed conversion, medium time of retention and digestibility of the diets, ruminal physiologic parameters, production performance and intake behavior. The animals were individually in system tie stall, in the UFV's Dairy Cattle Section and feeding twice a day with total mixed rations constituted equality nutritional of tifton hay (50.4%) and concentrated ration to the corn and soy based (49.6%). The hay to compose the total diets was ground in commercial miller with sieves mesh of 3.2, 4.8, 7.9, 15.9 and 25.4 mm and samples of each grinding were submitted to of Particles Separator Model Penn State for determination of distribution profile of the fiber particles. Then, were constituted five treatments: T1 – 100% of the particles below 8 mm; T2 – 76% below 8 mm and 24% between 8 and 19 mm; T3 –

36.7% below 8 mm, 26.6% between 8 and 19 mm and 36.7% above 19 mm; T4 – 32% below 8 mm, 28% between 8 and 19 mm and 40% above 19 mm; T5 – 26% below 8 mm, 28% between 8 and 19 mm and 46% above 19 mm. Digestibility of the diets was determined by using FDN unavailable and the medium time of retention, the chrome mordant as indicators, respectively. Acidity and analyses of volatile fat acids were certain in rumen fluid collected road with esophageal probes. Feeding behavior was evaluated by visual appreciation for 48 uninterrupted hours for each experimental period. When evaluating the results obtained in this work, it was possible to observe that feed intake was not affected by the physical effectiveness, even though differences have been verified in the digestibility and in the traffic of the digesta, supporting the thesis that the concentration and the chemical nature of the dietary fiber, more than the physical form is the primary responsible in the determination of the ingestion of victuals. The physical effectiveness exercised a preponderant effect in the speed of passage of food in the apparatus gastrointestinal of the animals and the magnitude of those effects was enough to affect the digestibility of food and of your components, suggesting that that parameter should be considered when making balanced rations for high production dairy cows. The alterations verified in the molar and relative concentrations of the principal volatile fat acids respect to differences in the levels of physical effectiveness of the diets, support the thesis that the physical nature of the dietary particles can and should be considered as criteria to evaluate the effectiveness of the diets or of your ingredients. The physical effectiveness of the diet promoted substantial variations in the feeding behavior on the animals in test, with consequences in the productive performance and in the milk composition, with economical implications. A global analysis of all the appraised parameters suggests that the food processing of diets reducing in particle size should be carefully considered, since, in a general way, the most positive answers, as the metabolic point of view as the dairy performance, they happened when the animals were submitted to the diets of intermediate physical effectiveness. Finally, the

results here observed evidence that the physical effectiveness of diets and ingredients, in the way how they were appraised in this work, it is relatively a easy process to be certain and it can be used in the analysis of any diet type used for dairy cows.

1. INTRODUÇÃO

Em alimentação de ruminantes, a ingestão de matéria seca é um dos aspectos mais importantes a serem considerados na formulação de dietas, por causa de sua estreita relação com o desempenho produtivo e reprodutivo. São inúmeros os fatores que podem exercer influência sobre a capacidade do animal em consumir alimento, alguns de ordem ambiental e outros inerentes ao animal ou ao alimento.

O efeito individual de cada um desses fatores e suas inter-relações assumem maior ou menor importância em função da estratégia alimentar empregada, de acordo com o animal e o tipo de exploração em curso. No caso de ruminantes, no que se refere à necessidade de trabalhar com sistemas de produção mais intensivos, em razão da demanda crescente por proteína animal de qualidade pelos seres humanos e da redução de áreas agrárias, a dieta ainda é baseada em quantidades relativamente altas de forragens, ricas em fibra detergente neutro (FDN). Isto deriva não só do fato de esses animais ainda dependerem bastante dos efeitos físicos e fisiológicos da fibra presente, mas também da significativa redução nos custos com a dieta que esses alimentos podem representar dentro de um programa de alimentação.

Uma dieta com nível mais alto de FDN pode garantir uma fermentação adequada, o que proporciona um aporte significativo de proteína

e outros nutrientes de origem microbiana, e, conseqüentemente, pode reduzir custos com a alimentação. Porém, também pode promover restrições ao consumo alimentar, pela necessidade de maior tempo de permanência do alimento no rúmen, e limitar a exploração econômica em sistemas de produção mais intensivos se a demanda nutricional é mais elevada. A relação entre a presença de FDN, a capacidade do animal em consumir alimentos e o rendimento microbiano tem sido investigada, pois, embora substanciais avanços tenham sido conseguidos, algumas questões ainda precisam ser elucidadas.

Argumenta-se que as diferenças de natureza química da fibra entre os ingredientes disponíveis para o balanceamento de dietas podem exercer influência na resposta animal e interferir na determinação das exigências em fibra. Por outro lado, a dificuldade prática de utilizar a composição química da fibra como um elemento de entrada na elaboração dos modelos de predição tem direcionado esforços no sentido de conseguir parâmetros quantitativos de fácil medição e que possam ser utilizados nesses modelos. Desta forma, a efetividade física tem sido proposta como um parâmetro a ser utilizado na determinação da exigência de fibra pelo ruminante. As questões que se colocam, todavia, são até que ponto ela é uma boa estimativa das exigências de fibra pelo ruminante e como ela pode ser relacionada com o consumo de matéria seca e os padrões de fermentação ruminal.

O objetivo deste trabalho, num sentido mais amplo, foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de fibra fisicamente efetiva em dietas formuladas para vacas em lactação, com as mesmas proporções de concentrado e volumoso, sobre o desempenho e o consumo alimentar e as suas relações com a taxa de passagem e degradabilidade.

Especificamente, procurou-se acessar a fibra fisicamente efetiva dos ingredientes que compuseram as rações totais usadas na alimentação de vacas em produção, constituídas por feno de capim tifton (*Cynodon spp.*, cv.85) e por concentrado à base de milho e soja, e, utilizando diferentes níveis de fibra fisicamente efetiva, determinar a relação entre este fator e a produção e a

composição do leite, o consumo e a digestibilidade da matéria seca e de nutrientes, os padrões de comportamento ingestivo, o tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal e os parâmetros ruminais de vacas leiteiras especializadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fibra efetiva e fisicamente efetiva

As dietas para animais de alta produção são balanceadas para maximizar a ingestão de energia e a síntese microbiana, o que exige, em tese, alimentos altamente fermentáveis como fonte de energia para os microrganismos ruminais. Considerando que a fibra é menos fermentável que o amido e os açúcares, é de se esperar que o conteúdo em energia fermentável de uma dieta aumente à medida que se reduz a quantidade de fibra dessa dieta (ALLEN, 1996). Ocorre que para maximizar a produção bovina, além de uma densidade adequada de energia, os animais exigem também uma quantidade mínima de fibra para garantir a ruminação e a produção de saliva adequadas (SUDWEEKS et al., 1981), a digestão satisfatória da fibra (MERTENS e LOFTEN, 1980) e a manutenção do pH ruminal (NOCEK, 1997).

O NRC (1988) sugere o atendimento mínimo de fibra a partir das quantidades de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), mas esses parâmetros parecem não ser adequados (SANTINI et al., 1983; VAN SOEST, 1994), uma vez que as diferenças no tamanho e na distribuição das partículas da fibra e o tempo de retenção podem variar (ALLEN, 1996), alterando sua eficiência no estímulo da mastigação e,

conseqüentemente, na produção de saliva e manutenção do pH ruminal. Desta forma, tem sido proposta a utilização de um coeficiente de efetividade da fibra que poderia ser calculado com base nas respostas do animal diante das diferentes fontes de fibra presente nos alimentos.

A efetividade da fibra dos alimentos é calculada, fundamentalmente, a partir das variações nas respostas quanto à consistência da malha formada no rúmen (WEIDNER e GRANT, 1994), ao teor de gordura do leite (SWAIN et al., 1991; CLARK e ARMENTANO, 1993), às proporções de ácidos graxos voláteis e ao pH ruminal (ARMENTANO e PEREIRA, 1997). Por definição, o valor de efetividade da fibra pode variar de 0, quando o alimento é incapaz de manter o teor de gordura do leite, até 1, quando o alimento mantém o teor de gordura do leite tão efetivamente quanto à atividade de mastigação.

Quando se calcula a efetividade da fibra, considerando as respostas de certos atributos, os efeitos físicos da FDN sobre a mastigação, a salivação e o pH ruminal se confundem com os efeitos metabólicos devido às diferenças na composição química da fibra (MERTENS, 2000). Para distinguir os efeitos metabólicos decorrentes da composição química da FDN daqueles determinados pelas propriedades físicas, utiliza-se o tempo gasto na mastigação como parâmetro para se obter a FDN fisicamente efetiva (BALCH, 1971; DE BOEVER et al., 1993).

A efetividade física da fibra está relacionada, portanto, com as características físicas da fibra dietética que influenciam a atividade de mastigação e a natureza bifásica do conteúdo ruminal, sendo definidas e determinadas quantitativamente em laboratórios. As partículas que aparecem nas fezes escaparam do rúmen e podem ser usadas para indicar o tamanho das partículas que não necessitam ou não são capazes de estimular a mastigação (MERTENS, 1997). Há um maior tempo de retenção ruminal de partículas quando o seu comprimento supera 1,18 mm, portanto, foi sugerido que a efetividade física pode ser determinada em laboratório, mediante o uso de peneiras com essa malha para separação da fração do alimento que apresenta efetividade (POPPI et al., 1985; MERTENS, 1986). Entretanto, foram

sugeridos comprimentos maiores (de 3 a 4 mm) para novilhos (DIXON e MILLIGAN, 1985) e para vacas leiteiras (CARDOZA e MERTENS, 1986).

2.2. Nitrogênio uréico do leite

A uréia é a forma básica do nitrogênio não utilizado, excretado por mamíferos, e quando se apresenta em altos níveis no sangue pode indicar ineficiência do uso de proteína pelo animal, especialmente em vacas leiteiras. Formada nos rins e no fígado, a uréia é um constituinte comum nos fluidos corporais. O carbonato de amônia produzido quando da quebra da proteína é extremamente tóxico, e a sua conversão à uréia, principalmente no fígado, previne a intoxicação por amônia, sendo a uréia excretada na urina.

A uréia se difunde rapidamente do sangue para o leite, sendo um constituinte normal que se apresenta na forma de nitrogênio não-protéico no leite. A concentração sangüínea é muito variável, sendo influenciada pela ingestão de proteína e de energia e pela excreção urinária. O consumo de dietas com altos níveis de proteína resultará em maiores níveis de uréia no sangue. Ao contrário, o maior consumo de energia promoverá um decréscimo na concentração sangüínea de uréia (EMERY, 1978).

Em vacas leiteiras, a uréia sangüínea irá refletir não somente o catabolismo da proteína nos tecidos, mas também o catabolismo protéico das bactérias ruminais. A digestão de proteína no rúmen libera amônia, que pode ser utilizada pela bactéria ou ser absorvida e cair na corrente sangüínea.

Durante o dia, ocorrem flutuações principalmente devido à alimentação. Cerca de quatro e seis horas após a alimentação, os níveis séricos de uréia atingem o ponto mais elevado (BAKER et al., 1995). O fornecimento de volumoso e de concentrado separados, comparado ao fornecimento de ração completa, tende a aumentar a concentração de uréia no leite (EMERY, 1978).

A variação na concentração de uréia do leite entre rebanhos e vacas de um rebanho indica uma ampla variação na ingestão de energia e proteína.

Quando as rações são adequadamente formuladas, elas contêm uma proporção aceitável entre proteína degradável e indegradável no rúmen, carboidratos fermentáveis no rúmen e absorção pós-ruminal de metabólitos energéticos (ROSELER et al., 1993a).

Quando há uma variação normal na ingestão de matéria seca e na produção de leite para um lote de vacas consumindo uma determinada dieta, espera-se que a concentração de uréia láctea fique dentro de uma variação previsível. Se essa concentração varia além do previsto, pode significar problemas no fornecimento de proteína. Assim, a concentração de uréia no leite fornece uma oportunidade para avaliar a adequacidade de um programa nutricional para um lote de vacas.

Os valores de uréia no leite de vacas em condições de ingestão ótima, normalmente, variam entre 10 e 14 mg/dL, mas variações individuais podem chegar a mais ou menos 6 mg por decilitro de leite. Assim, se um grupo de vacas apresenta uma média de 12 mg de uréia/dL de leite, 95% do grupo deve apresentar valores entre 6 e 18 mg/dL (DePETERS e FERGUSON, 1992).

2.3. Fibra e consumo de matéria seca

A determinação do consumo de alimento pelo animal é fundamental para o balanceamento adequado de suas dietas, mas em ruminantes existem inúmeros fatores que interferem nesse consumo, com intensidade de diferentes magnitudes. A quantidade de alimento ingerido pode sofrer variações da ordem de 40 a 60%, de 20 a 30%, de 10 a 15% e de 10 a 15% respectivamente, por efeito de fatores inerentes ao animal, ao alimento, ao ambiente e às condições de manejo (ROSELER et al., 1993b).

A influência do alimento sobre o consumo de matéria seca está bastante associada à sua composição em FDN, especialmente para animais em condições de alta produção, que demandam quantidades elevadas de energia em suas dietas. A formulação de dietas com adequados níveis de energia para atender às altas produções, normalmente, resulta em rações com altos níveis

de grãos em detrimento da fibra (STOKES, 1997), o que pode ocasionar problemas como acidose, laminite, cetose, deslocamento de abomaso, além de redução no teor de gordura do leite (SHEARER, 1996).

Por outro lado, as dietas com altos níveis de fibra impõem ao ruminante a necessidade de maior tempo de permanência do alimento e ampla capacidade ruminal em acomodar material de baixa densidade, para que se processe uma fermentação adequada (NRC, 1988). Há possibilidades, nestes casos, de que o *fill* ou enchimento ruminal exerça efeito significativo sobre a capacidade do animal em consumir matéria seca. A distensão física do retículo-rúmen é o principal fator limitante na ingestão de muitas forragens e dietas ricas em fibra, mas também a presença de mecanorreceptores ao nível de parede ruminal é responsável por esse efeito (FORBES, 1995).

2.4. Fibra e crescimento microbiano

A complexidade do aparelho digestivo dos ruminantes torna-os animais de grande valor econômico, pelo seu potencial em aproveitar alimentos pouco usuais na alimentação de animais não-ruminantes e do homem. Tal fato se deve a uma adaptação evolutiva desses herbívoros para digerir carboidratos estruturais fibrosos que não podem ser degradados com eficiência pelas enzimas gástricas e intestinais dos mamíferos. Em função dessa adaptação, eles utilizam a população microbiana do rúmen, por meio de um processo simbiótico, na preparação dos alimentos para a digestão química enzimática que ocorre no abomaso e no intestino delgado. Em razão desse mecanismo simbiótico, o fornecimento de rações para um rebanho leiteiro deve ter como objetivo propiciar um ambiente ruminal que permita maximizar o crescimento microbiano (ALDRICH e AKEY, 1997) e, conseqüentemente, permitir o máximo desempenho animal.

Existem três ambientes ruminais inter-relacionados nos quais os microrganismos estão localizados. O primeiro ambiente é a fase líquida, em que grupos de microrganismos livres no fluido ruminal se utilizam de

carboidratos e proteínas solúveis como substrato, correspondendo a 25% da massa microbiana. No segundo, cerca de 5% dos microrganismos estão aderidos às células do epitélio ruminal e aos protozoários. O terceiro e último ambiente é a fase sólida, em que grupos de microrganismos associados ou aderidos às partículas de alimento digerem polissacarídeos, como amido e fibra, assim como proteínas menos solúveis, correspondendo a cerca de 70% da massa microbiana (ISHLER et al., 1996).

O crescimento microbiano é função, primeiramente, da quantidade e da taxa de digestão de carboidratos no rúmen (HOOVER e STOKES, 1991), pois vários estudos (McCARTHY et al., 1989; HERRERA-SALDAÑA et al., 1991; ALDRICH et al., 1993) têm demonstrado que ele aumenta com o fornecimento de carboidratos de fácil fermentação, em comparação ao uso de carboidratos de fermentação lenta. Entretanto, a redução do pH como consequência do uso de carboidratos de fermentação rápida é considerada um dos principais fatores a influenciar o crescimento (SNIFFEN e ROBINSON, 1987) e a composição (ISHLER et al., 1996) da microbiota ruminal.

As bactérias precisam de um tempo de geração menor que a taxa de *turnover* da digesta ruminal para que a população possa ser mantida no rúmen (CHURCH, 1988). Uma vez que a taxa de passagem da fase sólida é muito menor que a da fase líquida no rúmen, as espécies de crescimento lento têm de se aderir às partículas do material para que não sofram lixiviação e remoção do rúmen (VAN SOEST, 1994). Tal fato tem especial importância para dietas à base de forragens, cujo tempo de permanência no rúmen é maior. Esta maior permanência facilita a colonização e a digestão da parede celular (BONDI, 1988), sendo a taxa de passagem, portanto, um importante fator a afetar o crescimento microbiano.

O crescimento microbiano também sofre influência da fonte de nitrogênio, posto que bactérias celulolíticas necessitam de amônia como fonte daquele nutriente em níveis adequados para garantir máximo crescimento da microbiota (MEHREZ et al., 1977). Além de nitrogênio, o crescimento

microbiano eficiente exige suprimento de energia, fósforo e enxofre (ØRSKOV, 1988).

2.5. Taxa de passagem

A passagem, ou trânsito, refere-se ao fluxo de resíduos indigeríveis através do trato digestório. A taxa de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal tem significativo efeito sobre a degradação ruminal da fibra (FIRKINS, 1997), especialmente em animais de alto desempenho. Quanto maior a taxa de passagem, menor é a degradabilidade da FDN, que é a responsável por fornecer energia para suportar o crescimento microbiano no rúmen; mas o aumento da taxa de passagem também pode estimular a eficiência de síntese microbiana, em razão da redução da energia gasta para manutenção dos microrganismos (RUSSELL et al., 1992; FIRKINS, 1996).

A saída das partículas alimentares do retículo-rúmen é determinada principalmente pelo tamanho e pela densidade dessas partículas (KASKE e ENGLEHARDT, 1990; WEIDNER e GRANT, 1994), que estão, por sua vez, intrinsecamente associados à degradabilidade do alimento oferecido. O destino do alimento é determinado, em última análise, pelas taxas de fermentação e passagem (WALDO e SMITH, 1972). A taxa de fermentação é uma propriedade inerente ao alimento, enquanto a taxa de passagem pode ser regulada pela ingestão de alimento, pelo processamento ou pelo tamanho da partícula e pelo tipo de alimento que está sendo consumido (RUSSELL et al., 1992).

A interação entre digestão e passagem, entretanto, é bastante complexa, e muitos estudos vêm tentando desenvolver modelos matemáticos sobre esses processos dinâmicos que ajudem a compreender melhor a atividade gastrointestinal e a eficiência digestiva. É importante observar que o crescimento microbiano é essencialmente limitado pela taxa de digestão, que, por sua vez, é limitada pela composição e estrutura do alimento oferecido

(VAN SOEST, 1994), especialmente no que concerne à quantidade e qualidade da fibra presente nesse alimento.

2.6. Ácidos graxos voláteis e pH ruminais

No ecossistema anaeróbico ruminal, a maior parte da energia oriunda da fermentação da matéria orgânica é retida nos produtos dos processos fermentativos, ou seja, os ácidos graxos voláteis, que podem representar até 70% da energia necessária aos ruminantes (HOBSON e STEWART, 1997), e as células microbianas, ocorrendo algumas perdas de energia na forma de metano e calor. Os componentes intermediários da fermentação da matéria orgânica podem ser utilizados como monômeros para a síntese microbiana e, desta forma, pode-se dizer que existe uma relação intrínseca entre a produção de ácidos graxos voláteis e a síntese microbiana (LENG e NOLAN, 1984).

A proporcionalidade entre os principais ácidos graxos voláteis presentes no líquido ruminal reflete, intrinsecamente, o plano alimentar a que os animais estão sendo submetidos. O ácido acético pode constituir de 50 a 60% do total dos ácidos graxos voláteis presentes no rúmen, especialmente quando as dietas são predominantemente à base de forragens. Sua produção em níveis adequados no rúmen é considerada essencial para a manutenção da saúde animal e da produção de gordura. Os níveis de ácido acético no rúmen podem diminuir se não há suficiente quantidade de fibra efetiva na ração, e isto geralmente ocorre quando as dietas apresentam altos níveis de concentrado ou quando a forma física da fibra presente não estimula a mastigação.

Em condições normais, o ácido propiônico pode representar de 18 a 20% dos ácidos graxos presentes no rúmen, podendo variar com o nível de concentrado na ração. As dietas ricas em carboidratos não-estruturais favorecem a maior síntese de ácido propiônico.

À medida que a efetividade é reduzida na ração, uma cascata de eventos ocorre normalmente. O pH e a produção e proporcionalidade dos

ácidos graxos voláteis são alterados, podendo ocorrer, em casos agudos, acidose láctica, laminite, displasia abomasal e até morte (MERTENS, 2000). Um baixo valor de pH tem sido relacionado com o tamanho da partícula de forragem moída (VAN SOEST, 1963; SUDWEEKS et al., 1981; WOODFORD et al., 1986; WOODFORD e MURPHY, 1988; GRANT et al., 1990a,b).

Os ácidos graxos voláteis são removidos do rúmen por absorção através da parede ruminal e pela passagem ao abomaso pelo orifício retículo omasal. Praticamente não existe absorção de ácidos graxos na forma ionizada, portanto a absorção de ácidos graxos voláteis resulta na remoção de íons hidrogênio do rúmen (ALLEN, 1997). Em condições de pH ruminal alto, existe pouco ácido graxo volátil na forma associada e a taxa de absorção é reduzida (ASH e DOBSON, 1963). Aparentemente, não existem diferenças nas taxas de absorção dos ácidos acético, propiônico e butírico no rúmen em condições de pH neutro, mas à medida que o meio se torna mais ácido, a taxa de absorção aumenta proporcionalmente à massa molecular (WEIGAND et al., 1972; THORLACIUS e LODGE, 1973; DIJKSTRA et al., 1993).

Embora tenham constantes de dissociação similares, os ácidos graxos voláteis no rúmen têm diferentes efeitos sobre o pH ruminal, em virtude de suas diferentes taxas de absorção. Desta forma, o ácido acético tem maior efeito na redução do pH que o ácido propiônico, que, por sua vez, tem maior efeito que o ácido butírico (ALLEN, 1997).

2.7. Comportamento alimentar de vacas em produção de leite

Os animais se comportam segundo determinados padrões, sendo estes definidos como um segmento organizado de atitudes para um determinado propósito. Os animais exibem seus padrões de comportamento ciclicamente, uma vez que estes ocorrem em resposta aos desafios externos e internos, muitos dos quais seguem ciclos regulares (PIRES et al., 1998).

O comportamento ingestivo de ruminantes tem sido estudado, observando-se inúmeros parâmetros, como tempo e frequência de alimentação (DADO e ALLEN, 1994), tempo e frequência de ruminação e atividades merísticas (JACKSON et al., 1991). Os períodos utilizados para alimentação, ruminação e ócio, em geral, podem variar consideravelmente, em função do manejo e do tipo de dieta fornecida (ALBRIGHT, 1993).

O intervalo entre dois períodos de ruminação, observado por DADO e ALLEN (1994), foi de 7,5 minutos, no mínimo. JACKSON et al. (1991) verificaram, em vacas holandesas lactantes, valores médios em torno de 15 alimentações diárias, dispendendo cerca de 219 minutos por dia para essa atividade. ALBRIGHT (1993) relatou frequências de 5,9 a 11,4 alimentações por dia, para vacas holandesas lactantes consumindo feno.

O tempo de ruminação é consideravelmente influenciado pela natureza da dieta, sendo proporcional ao conteúdo de FDN (VAN SOEST, 1994). Da mesma forma, o número de mastigações merísticas sofre efeito da concentração dietética em FDN, sendo tanto maior quanto maior for o conteúdo celular (WELCH e HOOPER, 1988).

Em um experimento realizado com novilhas holandesas alimentadas com feno picado em três tamanhos diferentes, JASTER e MURPHY (1983) verificaram a formação de 1,15 bolo por minuto de ruminação, aumentando para até 1,18 bolo para aqueles animais que receberam feno cortado em um tamanho maior. O tempo gasto para a formação de cada bolo aumentou de 47 segundos, para animais que receberam feno mais finamente moído, para 52 segundos, para os animais que receberam feno mais grosseiro.

2.8. Efetividade da fibra e desempenho animal

A necessidade de adequação da fibra da dieta para vacas em lactação já é conhecida por muitos produtores, tendo em vista que à ausência desse nutriente é reportada uma série de distúrbios ruminais e metabólicos que geram conseqüências para a saúde e o desempenho dos animais. Essa assertiva

é corroborada por ALLEN (1997), para quem os ruminantes precisam de forragem em suas dietas para atender às suas exigências em fibra e maximizar a produção e manter a saúde por meio da manutenção da estabilidade das condições ruminais. Mas, conforme observaram ARMENTANO e PEREIRA (1997), a definição dessas exigências é bastante complexa, porque o ajustamento da fibra dietética com os ingredientes usuais da ração das vacas promove uma mudança em vários aspectos da dieta, que, por conseguinte, geram uma série de respostas inter-relacionadas no animal.

As diferenças nas quantidades e propriedades físicas da fibra podem afetar a utilização da dieta e, conseqüentemente, o desempenho animal (MERTENS, 1997). Quando muita fibra é colocada na ração, a densidade energética abaixa, a ingestão é reduzida e a produtividade diminui significativamente (BEAUCHEMIN, 1996; MERTENS, 1996). Ao contrário, se a quantidade de fibra na dieta é muito reduzida, uma gama de sintomas pode ocorrer, variando desde uma alteração no padrão de fermentação ruminal até uma acidose aguda, que pode levar à morte do animal (MERTENS, 1996).

A ausência de efetividade da dieta é considerada, por muitos autores (SUDWEEKS et al., 1981; WOODFORD et al., 1986; GRANT et al., 1990a,b), como a principal causa de acidose subclínica e queda no teor de gordura do leite. A rápida fermentação observada em dietas com baixa fibra efetiva resulta em rápido acúmulo de ácidos no rúmen, reduzindo o pH. Num efeito cascata, as bactérias acidificadoras acéticas que digerem fibra não sobrevivem ao abaixamento do pH e os microrganismos que produzem propionato e lactato se tornam preponderante, causando mais acúmulo de ácidos e reduzindo ainda mais o pH ruminal. O acúmulo de ácidos promove danos ao epitélio ruminal, reduzindo a absorção de ácidos e colaborando, também, para o maior acúmulo (ISHLER et al., 1996). A conseqüência é a diminuição na ingestão de matéria seca, seguida de queda na produção de leite e no teor de gordura.

Pequenas partículas alimentares são digeridas a taxas mais rápidas do que partículas maiores, porque apresentam uma maior área de superfície

exposta por volume de tecido (BUXTON e REDFEARN, 1997). Entretanto, embora a trituração das forragens por meio de moagem forneça uma maior área de superfície para ação das enzimas, a utilização dos carboidratos estruturais não é aumentada (VARGA e KOLVER, 1997). De fato, aumentos no desempenho animal são obtidos principalmente a partir de aumentos na ingestão de energia digestível (BOURQUIN et al., 1990).

BEAUCHEMIN (1996) verificou que pequenas diferenças no comprimento das partículas de silagem de alfafa foram capazes de afetar a produtividade de vacas leiteiras. Tal fato ocorreu, provavelmente, porque o aumento de 5 para 10 mm no comprimento das partículas favoreceu a atividade ruminal, especialmente no tempo de ruminação, quando se trabalhou com dietas que continham 12% de fibra em detergente neutro oriunda da forragem. Em dietas formuladas com 22% de FDN, não se observaram efeitos da mudança do comprimento da partícula da silagem, porque o aumento da FDN reduziu a ingestão de matéria seca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

Os trabalhos de campo com os animais foram desenvolvidos no Setor de Bovinocultura de Leite do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), na cidade de Viçosa-MG, entre os meses de março e julho de 1999. Os trabalhos de incubação em líquido de rúmen de fezes, sobras e alimentos foram realizados no Instituto de Zootecnia (IZ) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). As análises químicas e bromatológicas foram realizadas nos Laboratórios de Nutrição Animal do DZO e do IZ e no Laboratório de Análise de Nitrogênio do Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (CNPAB) da EMBRAPA, Seropédica-RJ.

3.2. Desenho experimental

Foram utilizadas dez vacas com grau de sangue HPB variando entre 7/8 e PC, entre a segunda e a quinta ordem de lactação, com peso vivo médio inicial variando de 450 a 650 kg, todas elas já tendo atingido o pico de

lactação. Os animais foram vermifugados, identificados por meio de brincos na orelha e pesados no início e no final de cada período experimental.

Foi utilizado o delineamento em *switch-back*, conforme preconizado por LUCAS (1960), com dez vacas distribuídas em dois blocos, utilizando a ordem de parição como variável restritiva para composição dos blocos. Os dados foram coletados por três períodos consecutivos de 28 dias, sendo 14 dias de adaptação dos animais às dietas, sete dias de coleta de dados de produção e sete dias para estudo do comportamento dos animais e da taxa de passagem. Os tratamentos foram distribuídos conforme orientação descrita na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos tratamentos, seguindo o modelo *switch-back*

| Tratamento | Período | Bloco | Animal |
|------------|---------|-------|--------|
| 1 | 1 | 1 | A |
| 1 | 1 | 2 | B |
| 1 | 2 | 1 | C |
| 1 | 2 | 2 | D |
| 1 | 3 | 1 | A |
| 1 | 3 | 2 | B |
| 2 | 1 | 1 | E |
| 2 | 1 | 2 | F |
| 2 | 2 | 1 | A |
| 2 | 2 | 2 | G |
| 2 | 3 | 1 | E |
| 2 | 3 | 2 | F |
| 3 | 1 | 1 | H |
| 3 | 1 | 2 | I |
| 3 | 2 | 1 | E |
| 3 | 2 | 2 | B |
| 3 | 3 | 1 | H |
| 3 | 3 | 2 | I |
| 4 | 1 | 1 | J |
| 4 | 1 | 2 | D |
| 4 | 2 | 1 | H |
| 4 | 2 | 2 | F |
| 4 | 3 | 1 | J |
| 4 | 3 | 2 | D |
| 5 | 1 | 1 | C |
| 5 | 1 | 2 | G |
| 5 | 2 | 1 | J |
| 5 | 2 | 2 | I |
| 5 | 3 | 1 | C |
| 5 | 3 | 2 | G |

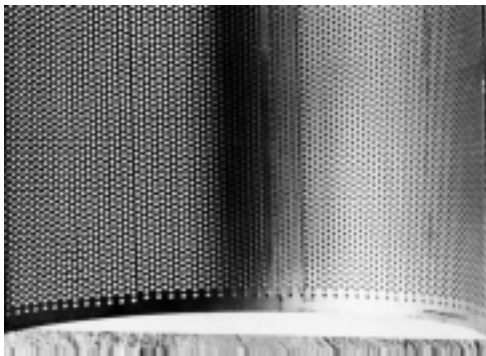
3.3. Instalações

As vacas foram alojadas em baias individuais tipo *tie stall*, dotadas de comedouros convencionais em madeira e concreto e bebedouro tubular de concreto, com bóias de controle de nível. O galpão tinha piso revestido em concreto, pé-direito de 2,80 m, com meias-paredes de 1,5 m de altura, e era coberto com telha de barro.

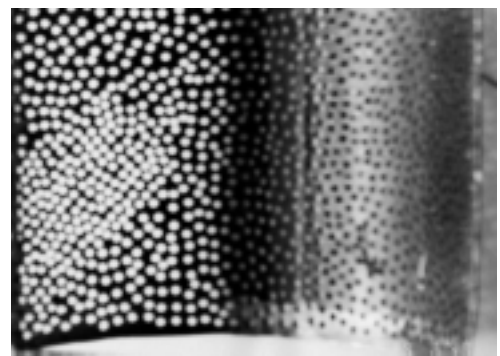
3.4. Tratamentos

Para compor os tratamentos, o feno foi submetido à desintegração com triturador comercial de facas, dotado de peneiras com malha de 3,2, 4,8, 7,9, 15,9 e 25,4 mm (Figura 1).

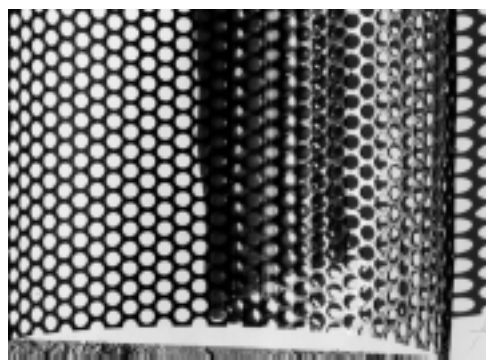
Aproximadamente 100 g de amostra do material triturado em cada peneira foram colocados em separador de partículas modelo *Penn State* (Figura 2), de acordo com a metodologia proposta por HEINRICH (1996) e LAMMERS et al. (1996) e com os procedimentos sugeridos pela AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION (1970). As três caixas plásticas foram empilhadas uma sobre a outra, ficando na parte superior a peneira de maior malha, no meio a peneira de menor malha e na parte inferior a bandeja coletora. Numa balança eletrônica foram pesados 100 g de feno oriundo das diferentes moagens, que foram então colocados sobre o separador de partículas. Numa superfície plana, a pilha foi agitada em cada direção, por cinco vezes, conforme demonstrado na Figura 2. Depois de agitada em um sentido, a pilha foi rotacionada em um quarto de giro, sendo este processo repetido por mais sete vezes, sofrendo, portanto, dois giros completos. Após esse procedimento, o material remanescente em cada peneira e na bandeja coletora foi pesado em balança eletrônica, tendo sido, desta forma, determinado o perfil da fibra do feno e, conseqüentemente, da dieta total. Os tratamentos foram constituídos, de acordo com o perfil da fibra de cada material oriundo das peneiras de moagem, conforme ilustrado na Tabela 2.



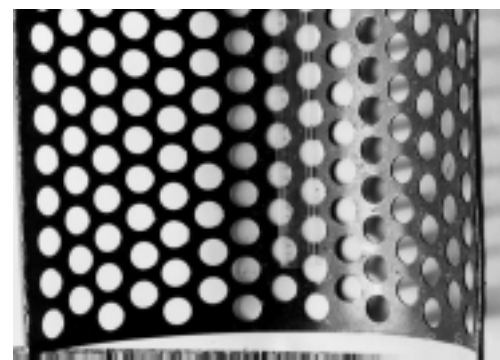
(a)



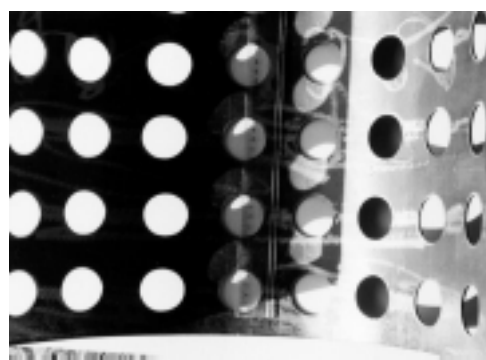
(b)



(c)

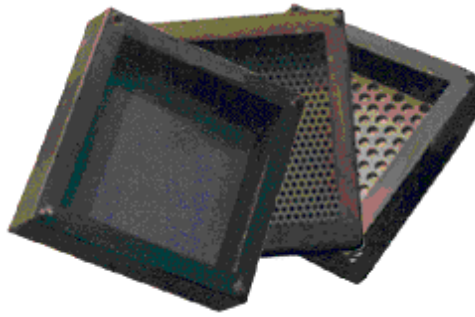


(d)

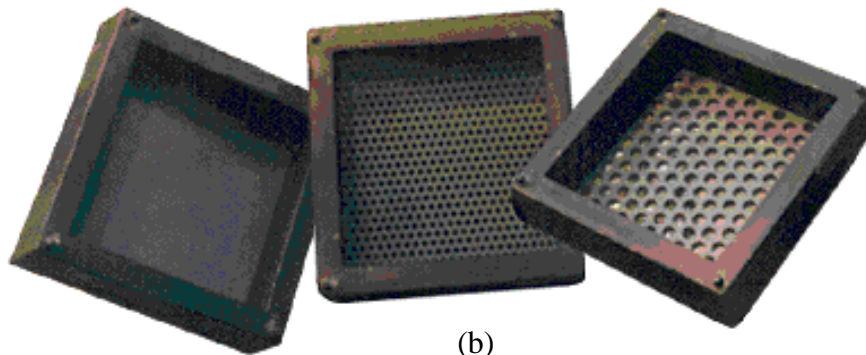


(e)

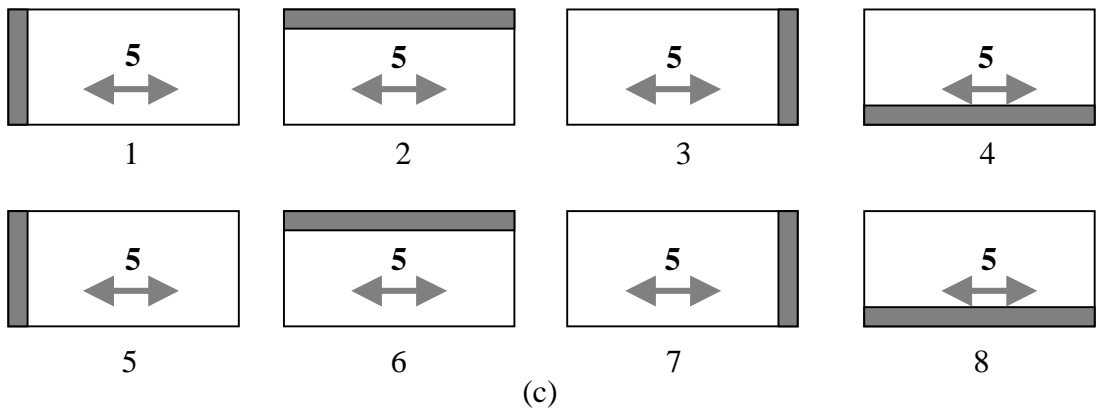
Figura 1 - Peneiras utilizadas no triturador de feno que compuseram os tratamentos 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) e 5 (e).



(a)



(b)



(c)

Figura 2 - Separador de partículas modelo *Penn State* na ordem inversa de empilhamento (a) e as bandejas separadas (b). Padrões de movimentação do separador (c). Os retângulos são as representações esquemáticas do separador em diferentes orientações; as setas indicam o sentido dos movimentos horizontais do separador de partículas; a linha cheia indica o lado do separador marcado para orientar a rotação; o número acima da seta indica quantas vezes foi realizado o movimento; e o número abaixo de cada retângulo indica a seqüência das rotações utilizadas na separação das partículas.

Tabela 2 - Perfil de distribuição (%) das partículas de fibra nos tratamentos

| Tamanho das Partículas | Tratamento | | | | |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| Acima de 19 mm | 0,0 | 0,0 | 36,7 | 40,0 | 46,0 |
| Entre 8 e 19 mm | 0,0 | 24,0 | 26,6 | 28,0 | 28,0 |
| Acumulado (≥ 8 mm) | 0,0 | 24,0 | 63,3 | 68,0 | 74,0 |
| Abaixo de 8 mm | 100,0 | 76,0 | 36,7 | 32,0 | 26,0 |
| Acumulado total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

3.5. Manejo alimentar

Foram utilizadas dietas isonutricionais do tipo completa para todos os animais, constituídas por feno de tifton e suplemento concentrado elaborado com milho e soja. As exigências nutricionais foram estabelecidas com base nas recomendações preconizadas pelo National Research Council (NRC, 1989), levando em consideração o peso vivo inicial das vacas e o desafio para estimular a produção de leite. As amostras dos ingredientes foram analisadas no Laboratório de Nutrição Animal da UFV, para determinação da composição nutricional (Tabela 3). As rações concentradas e a proporção entre volumoso e concentrado foram calculadas mediante o uso do pacote computacional *Pudairy*, desenvolvido pela Universidade de Purdue.

As dietas foram pesadas diariamente e oferecidas duas vezes ao dia, pela manhã e à tarde, imediatamente antes das ordenhas. A quantidade correspondente de feno a ser distribuído para cada animal foi colocada nos cochos individuais e a ração concentrada foi distribuída por cima, sendo, então, ambos misturados manualmente, até se obter a homogeneidade.

A quantidade da mistura total foi ajustada no período de adaptação, para garantir uma sobra de aproximadamente 10% do oferecido. As sobras foram retiradas antes do primeiro arraçoamento da manhã e pesadas para cálculo do consumo.

Tabela 3 - Composição bromatológica¹ da ração oferecida e de seus ingredientes

| | MS (%) | PB (%) | FDN (%) | FDA (%) | EE (%) | MO (%) | CNE (%) |
|--------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Milho | 87,93 | 7,46 | 31,01 | 1,42 | 4,15 | 98,35 | 55,72 |
| Farelo de soja | 85,56 | 42,62 | 9,35 | 7,82 | 1,95 | 94,61 | 40,69 |
| Calcário | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fosf. bicálcico | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sal comum | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Supl. vitamínico | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Supl. mineral | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Feno | 92,76 | 4,75 | 62,33 | 32,50 | 0,76 | 94,75 | 26,90 |
| Concentrado ² | 87,76 | 19,35 | 21,73 | 3,59 | 3,15 | 91,63 | 47,40 |
| Ração total ³ | 90,26 | 12,05 | 42,03 | 18,22 | 1,96 | 93,19 | 37,15 |

¹ Expressa na matéria natural, determinada em laboratório.

² 59% de milho, 35% de farelo de soja, 1,9% de calcário, 1,1% de fosfato bicálcico, 1% de sal comum, 1% de suplemento mineral comercial e 0,5% de suplemento vitamínico comercial.

³ 50,4% de feno de tifton e 49,6% de ração concentrada.

Para determinação da taxa de passagem, 100 g de feno complexado com cromo mordante foram fornecidos isoladamente em dose única para cada animal, às 8 horas, antes do primeiro arraçoamento do dia, distribuindo-se a ração diária do animal após a certificação de que toda a fibra complexada havia sido consumida.

3.6. Amostragem

As amostras da ração e do feno foram coletadas e envasadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e armazenadas em *freezer*, para análises laboratoriais posteriores.

As sobras foram retiradas pela manhã e no final do período de coleta. Depois de pesadas, alíquotas proporcionais ao peso das sobras de cada dia de coleta foram retiradas, envasadas em sacos plásticos e postas em *freezer*. Posteriormente, essas amostras foram descongeladas e homogeneizadas, para formar uma amostra composta relativa ao período e à repetição correspondente. A amostra composta foi novamente envasada em saco plástico, identificada e mantida sob refrigeração para posterior análise laboratorial.

Para determinação dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca e dos demais nutrientes, foi utilizada a técnica do indicador interno, usando a FDN indigerível como fator de referência. Para isto, foram coletadas amostras de fezes diretamente no reto, pela manhã e à tarde, em três dias alternados durante o período de coleta. As amostras de fezes foram envasadas em sacos plásticos, identificadas e armazenadas em *freezer*, para posterior processamento. O preparo da amostra composta foi realizado após a pré-secagem e moagem do material.

Para determinação do tempo médio de retenção, as amostras de fezes foram coletadas em diferentes horários, diretamente no reto, de acordo com o esquema descrito na Tabela 4, envasadas em sacos plásticos e congeladas para posterior processamento.

Tabela 4 - Esquema de coleta de fezes para determinação da taxa de passagem

| Intervalo (h) Pós- Fornecimento | Horário de Coleta do Dia (Horas) | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1º Dia | 2º Dia | 3º Dia | 4º Dia | 5º Dia | 6º Dia |
| 0 | 8 | | | | | |
| 2 | 10 | | | | | |
| 4 | 12 | | | | | |
| 6 | 14 | | | | | |
| 8 | 16 | | | | | |
| 12 | 20 | | | | | |
| 16 | | 2 | | | | |
| 24 | | 8 | | | | |
| 30 | | 14 | | | | |
| 36 | | 20 | | | | |
| 48 | | | 8 | | | |
| 72 | | | | 8 | | |
| 96 | | | | | 8 | |
| 120 | | | | | | 8 |

Durante o período de avaliação da produção láctea, foram coletadas amostras de leite em quantidades proporcionais ao volume produzido nas ordenhas da manhã e da tarde. As amostras da manhã foram acondicionadas em vasilhames apropriados e armazenadas a frio. As amostras da tarde foram

misturadas proporcionalmente às amostras correspondentes, coletadas pela manhã, para formar uma amostra composta, que foi então novamente armazenada a frio, para serem analisadas em laboratório na manhã do dia seguinte.

No oitavo dia de coleta de dados de produção de cada período, as amostras de líquido ruminal foram coletadas nos tempos zero, duas, quatro e seis horas pós-prandial, para determinação do pH e da proporção de ácidos graxos voláteis. A coleta foi realizada via sonda esofagiana, sendo o líquido ruminal amparado em béquer. Para diluir a contaminação com saliva, foram coletados cerca de 1.000 mL de líquido ruminal e feita a leitura imediata do pH. Esse material foi coado em gaze e transferido para vidros escuros contendo ácido fórmico p.a., em volume igual ao líquido de rúmen, sendo imediatamente colocado em *freezer*, para posterior análise de ácidos graxos voláteis.

3.7. Procedimentos laboratoriais

3.7.1. Composição bromatológica

As amostras de fezes, de sobras e de feno foram secas em estufa ventilada a 65°C, por 72 horas, para posterior realização da moagem. Os ingredientes da ração e o material seco em estufa foram moídos em moinho tipo Willye, dotado de peneira de 1,0 mm, envasados em vidros com tampas e armazenados, para posteriores análises laboratoriais.

Os materiais foram analisados em laboratório, para avaliação do conteúdo em matéria seca (MS), fibra em detergente ácido (FDA) e nitrogênio total (N), pelas metodologias propostas por SILVA (1990). A fibra em detergente neutro (FDN), a lignina, o nitrogênio insolúvel em detergente neutro e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido foram determinados pelas metodologias propostas por VAN SOEST et al. (1991). Os teores de cinzas e o extrato etéreo bruto foram determinados pela metodologia do AOAC (1990).

O teor de carboidratos não-estruturais (CNE) foi estimado por diferença, usando-se a seguinte equação: $CNE = 100 - [\text{nitrogênio total} \times 6,25 + \text{cinzas} + \text{extrato etéreo} + (\text{fibra em detergente neutro} - \text{nitrogênio insolúvel em detergente neutro} \times 6,25)]$ (VAN SOEST et al., 1991).

3.7.2. Determinação do cromo fecal

Para determinar a taxa de passagem, utilizou-se a metodologia descrita por UDÉN et al. (1980), fazendo-se a complexação da fibra do feno com cromo mordante. Aproximadamente 1 kg de feno de cada tratamento foi pesado e colocado em um recipiente com capacidade volumétrica de 20 L. Foram adicionados água e detergente neutro comercial nas proporções de 15 L e 20 mL por kg de feno, respectivamente. O material foi então fervido durante aproximadamente três horas, e após esse período foi colocado dentro de um saco de tecido de algodão, para proceder à lavagem em água corrente, visando a remoção do excesso de materiais solúveis em detergente neutro. O material retido no saco de tecido foi posto a secar em estufa ventilada a 65°C, por 72 horas.

O material seco em estufa foi pesado, e a ele foi adicionada uma solução de dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) em água destilada, de maneira a garantir uma proporção de 13% de cromo sobre o peso da fibra seca em estufa, usando o seguinte procedimento:

| |
|---|
| $\begin{array}{r} 298 \text{ —} 104 \\ x \text{ —} 0,13 (\text{fibra}) \end{array}$ |
|---|

em que **298** corresponde ao peso molecular do dicromato de sódio, **104** representa o peso dos dois átomos de cromo, **x** é o peso correspondente do dicromato de sódio a ser adicionado à solução, **0,13** é a proporção de cromo desejada (13%) e **fibra** é o peso da amostra de feno a ser complexada.

O material que continha solução e feno foi colocado em uma vasilha de alumínio, coberto com papel-alumínio e levado para estufa à temperatura de 105°C, por 24 horas. Após esse período, o material foi novamente colocado em um saco de tecido de algodão e lavado em água corrente, até a remoção do excesso de solução. Em seguida, ele foi seco em estufa a 65°C, por 72 horas, depois foi pesado e espalhado em uma bandeja plástica. Então, adicionou-se uma solução de ácido ascórbico em água destilada, correspondente a 50% do peso da fibra, que foi colocado em descanso por uma hora. Após esse período o material foi novamente colocado em um saco de tecido de algodão e lavado em água corrente, até a remoção total dos materiais solúveis, sendo em seguida seco em estufa a 65°C durante 72 horas, obtendo-se, desta forma, a fibra complexada com cromo mordante.

As amostras de fezes destinadas à determinação do teor de cromo foram preparadas de acordo com a metodologia sugerida por WILLIAMS et al. (1962) A concentração de cromo nas fezes foi determinada em espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando a metodologia descrita por SILVA (1981).

3.7.3. Composição do leite

As amostras de leite foram analisadas no Laboratório de Controle de Qualidade da Fundação Artur Bernardes, para determinação do teor de gordura, do teor de sólidos totais, da densidade e da acidez. A gordura foi determinada por fotometria, usando o Milk Tester ITR MK 2.5 com diluente versene. A acidez e a densidade foram determinadas segundo a recomendação do LANARA (1981). O teor de sólidos totais foi estimado pela fórmula de Fleishmann.

3.7.4. Nitrogênio uréico do leite (MUN)

O teor de uréia láctica foi determinado no Laboratório de Análise de Nitrogênio do CNPAB, de acordo com o protocolo sugerido por SILVA et al. (1997). Inicialmente, foi preparado o reagente de cor. Foram pesados 5 g de *p*-dimetilaminobenzaldeído p.a., que foram dissolvidos em 20 mL de ácido clorídrico p.a., acrescentando-se mais 80 mL de água destilada. Para elaborar a curva de calibração, 5 g de uréia p.a. foram dissolvidos em 100 mL de ácido tricloroacético a 12%. Em cinco cubetas, adicionou-se de 1 até 5 mL da solução preparada e completou-se o volume para 5 mL com ácido tricloroacético a 12%, adicionando-se, a seguir, 1 mL do reagente de cor em cada cubeta. O material foi deixado em repouso por 10 minutos, antes de se proceder à leitura.

Em um balão volumétrico de 100 mL, foram colocados 15 mL de leite, 60 mL de água destilada e 20 mL de ácido tricloroacético 48%. O volume do balão foi completado com água destilada e, em seguida, tampado, fazendo-se a mistura por inversões. A solução foi filtrada através de papel-filtro qualitativo para um erlenmeyer de 250 mL; adicionou-se, então, 0,25 g de carvão ativado e agitou-se por 30 segundos. A solução foi novamente filtrada através de papel-filtro qualitativo para um erlenmeyer de 250 mL, e 5 mL do filtrado foram transferidos para uma cubeta, onde foi acrescentado 1 mL de um reagente de cor. Uma prova em branco foi realizada, transferindo-se para outra cubeta 5 mL de ácido tricloroacético a 12% e acrescentando 1 mL do reagente de cor. O material foi deixado em repouso por 10 minutos e, então, foi feita a leitura em espectrofotômetro de luz ultravioleta visível, determinando-se a absorvância a 430 nm. A concentração de uréia foi calculada por meio da curva de calibração elaborada com a uréia p.a.

3.7.5. pH e ácidos graxos voláteis

O pH do líquido de rúmen foi determinado em pH-metro Tecnal modelo TEC-2 e a concentração de ácidos graxos voláteis foi determinada por cromatografia de fase gasosa no laboratório do CNPAB, de acordo com o protocolo descrito por OLIVEIRA et al. (1983).

3.7.6. Digestibilidade

Para verificar a digestibilidade total das dietas em teste e dos seus ingredientes, utilizou-se a concentração em FDN indigerível como indicador interno. A fibra em detergente neutro de amostras dos ingredientes da ração total, das fezes e das sobras foi isolada, utilizando-se o procedimento sugerido por VAN SOEST et al. (1991). Após a extração, o material foi seco em estufa ventilada a 65°C, por 72 horas

Para acessar a FDN indigerível, utilizou-se o protocolo adaptado de PELL e SCHOFIELD (1993). O FDN absoluto total de cada material foi colocado em recipientes de incubação com temperatura controlada e ajustada para 39°C, por meio de aquecedores e termostato.

Nos recipientes para incubação foram colocados, aproximadamente, 6 mL de líquido ruminal filtrado, retirado de animais holandeses mantidos em condições de pastagens, 1,6 mL de solução média fosfato-bicarbonato e 26,4 mL de solução de redução enriquecida com CO₂, juntamente com 400 mg de FDN de cada amostra e 1,0 mL de água destilada. Os recipientes foram então vedados com tampa de borracha e colocados em banho-maria. A cada três horas de incubação, a pressão no interior dos tubos foi zerada, furando-se a tampa com agulha por 5 segundos.

Após 120 horas de incubação, os recipientes foram colocados sob refrigeração. O material no interior dos recipientes foi removido com água destilada e colocado em béquer de 500 mL, contendo um volume de solução detergente neutra equivalente ao volume extraído dos recipientes de

incubação. Colocou-se então o material para ferver durante uma hora, para eliminar a massa bacteriana, depois filtrou-se o resíduo em cadinho de vidro e colocou-se o material em estufa a 105°C, por 24 horas. Após esse período, o material foi pesado em balança analítica, obtendo-se assim a FDN indigerível.

As digestibilidades aparentes da matéria seca e dos nutrientes das dietas foram calculadas pela expressão:

$$\text{Digestibilidade}_{(n)} = 100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{ indicador na dieta}}{\% \text{ indicador nas fezes}} \times \frac{\% \text{ nutriente nas fezes}}{\% \text{ nutrientes no alimento}} \right)$$

3.8. Estudo do comportamento animal

O comportamento dos animais em relação às dietas a que foram submetidos foi avaliado conforme a metodologia adaptada de JOHNSON e COMBS (1991). Os animais foram monitorados durante 24 horas, em intervalos regulares de 5 minutos, determinando-se as atividades de alimentação, ruminação, consumo de água, ócio e outras atividades.

O tempo gasto na ruminação foi estimado de acordo com o protocolo utilizado por JASTER e MURPHY (1983). Durante dois dias consecutivos em cada período, os animais foram monitorados por apreciação visual em dois turnos, um pela manhã e outro no final da tarde. Cada animal foi observado por um período suficiente para que três ciclos de ruminação fossem observados.

Os movimentos de mastigações meréricas foram contabilizados para a formação de cada bolo alimentar de regurgitação, enquanto o tempo gasto para essa atividade era registrado com o auxílio de um cronômetro digital. Os dados foram registrados em planilhas, tendo sido tiradas as médias dos dois períodos observados.

3.9. Análises estatísticas

Para determinação dos parâmetros de trânsito da digesta, as curvas de concentração de cromo foram ajustadas ao modelo exponencial bicompartimental G2G1 proposto por POND et al. (1988), conforme apresentado a seguir.

$$Y = C_2 [\delta^2 e^{-k_2(t-TT)} - e^{-\lambda_1(t-TT)}(\delta^2 + \delta \lambda_1 t)]$$

em que Y representa a concentração fecal do marcador num determinado tempo, C_2 é a concentração inicial do marcador, k_2 é a taxa para os tempos de permanência com distribuição exponencial; t é o tempo após dosagem do cromo, TT é o tempo de trânsito; λ_1 é a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; e $\delta = \lambda_1 / (\lambda_1 - k_2)$.

O tempo médio de retenção (TMR) foi calculado como segue:

$$TMR (h) = TR_1 + TR_2$$

em que $TR_1 = 2 / \lambda_1 + 1 / k_2$; e $TR_2 = TT$.

Os parâmetros da cinética de degradação ruminal foram estimados por meio da aplicação de modelos matemáticos, utilizando os procedimentos sugeridos por VIEIRA (1995) e empregando o procedimento REGMRQ do SAEG - Sistema de Análises Estatísticas (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, 1995).

Para analisar os dados de produção de leite, as médias foram comparadas com as sugeridas por LUCAS (1956), cujos contrastes foram comparados como segue:

$$D = Y_1 - 2Y_2 + Y_3$$

em que Y_1 , Y_2 e Y_3 são as produções de cada animal no primeiro, no segundo e no terceiro períodos, respectivamente.

Os resultados para os demais parâmetros estudados foram analisados de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + P_j + T_k + B_l + \epsilon_{ijkl}$$

em que Y_{ij} é o dado referente ao i -ésimo animal, no j -ésimo período, do k -ésimo tratamento; μ é a média geral observada; A_i é o efeito do i -ésimo animal; P_j é o efeito do j -ésimo período; T_k é o efeito do k -ésimo tratamento; B_l é o efeito l -ésimo bloco; e ϵ_{ijk} é o erro aleatório associado ao i -ésimo animal, do j -ésimo período do k -ésimo tratamento. Os valores médios obtidos foram comparados pelo teste de Student Newman Keuls.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Consumo e conversão alimentar

Na Tabela 5, estão os resultados de consumos de ração total e de matéria seca, expressos em valores absolutos, em relação ao peso vivo e ao peso vivo metabólico, assim como as médias de conversão alimentar.

Os valores encontrados indicam que não houve efeito ($P > 0,05$) do perfil da fibra fisicamente efetiva das dietas sobre os padrões de consumo das rações e da matéria seca, nem sobre a eficiência de transformação dos alimentos em leite. Os resultados aqui reportados coincidiram com os observados por KASKE e ENGELHARDT (1990), que também não observaram efeito sobre o consumo de matéria seca e de nutrientes quando trabalharam com dietas nas quais o perfil granulométrico variava.

Existem evidências suficientes na literatura para suportar o conceito de que a regulação de consumo por vacas leiteiras de alto desempenho depende de uma série de eventos, principalmente da densidade energética e da capacidade de repleção (NRC, 1988; ROSELER et al., 1993b; MERTENS, 1994; VAN SOEST, 1994; HUTJENS, 1995).

Tabela 5 - Consumo de ração, expresso em valores absolutos (kg/cab/dia), em relação ao peso vivo (%/PV) e em gramas, por unidade de peso metabólico (g/kg PV^{0,75}), e conversão alimentar (kg de ração total/kg de leite produzido)

| Parâmetros | Tratamentos | | | | | CV ¹ |
|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Matéria natural | | | | | | |
| kg/cab/dia | 21,52 | 22,95 | 22,49 | 20,95 | 22,78 | 12,35 |
| %/PV | 4,15 | 4,28 | 4,01 | 3,83 | 3,71 | 9,31 |
| g/kg PV ^{0,75} | 198,10 | 206,00 | 194,70 | 185,10 | 184,40 | 8,99 |
| Matéria seca | | | | | | |
| kg/cab/dia | 19,42 | 20,72 | 20,30 | 18,91 | 20,56 | 12,35 |
| %/PV | 3,75 | 3,87 | 3,62 | 3,46 | 3,35 | 9,31 |
| g/kg PV ^{0,75} | 178,80 | 185,90 | 175,70 | 167,10 | 166,40 | 8,99 |
| Conversão alimentar | | | | | | |
| kg ração/kg de leite | 1,03 | 1,06 | 1,14 | 1,20 | 1,19 | 20,54 |

¹ Coeficiente de variação (%).

Uma vez que as dietas eram isonutricionais, os níveis de energia e de FDN não poderiam ter influência sobre o consumo de matéria seca e, desta forma, não poderiam ter reflexos sobre o consumo de nutrientes, indicando que esses resultados podem, de certa forma, ser considerados normais. Entretanto, os consumos de ração e de seus componentes nutricionais foram testados, tendo em vista que o perfil da fibra da dieta poderia ter reflexos sobre o tempo médio de retenção da digesta e, assim, ter significativo efeito sobre o consumo de ração.

De acordo com VAN SOEST (1994), a ingestão de alimentos, especialmente os fibrosos, pode ser consideravelmente aumentada quando eles são processados por moagem ou peletização, pois tais procedimentos promovem a desestruturação física da parede celular e o aumento da densidade da dieta, o que leva a uma maior taxa de passagem, ao menor tempo de ruminação e, concomitantemente, à maior disponibilidade de tempo para consumir alimentos.

A densidade da partícula tem correlação negativa com o seu tamanho (HUNGATE, 1966; SAUVANT, 1997), e as partículas com densidade inferior à unidade tendem a permanecer no rúmen por mais tempo (KASKE e ENGELHARDT, 1990; VAN SOEST, 1994). Quando um bolo alimentar é formado, remastigado e redeglutido, as partículas mais finas são depositadas próximas ao orifício retículo omasal, e aquelas mais pesadas passam mais facilmente pelo canal (DES BORDES e WELCH, 1984).

Embora o tempo médio de retenção tenha sido afetado pelos tratamentos, como poderá ser visto mais adiante, aparentemente ele não foi suficiente para provocar um efeito significativo sobre o consumo alimentar. A interação entre diversos fatores talvez possa justificar os resultados aqui observados. Essa assertiva é suportada pelos resultados encontrados por BEAUCHEMIN et al. (1994), que, ao compararem dietas com dois níveis de forragens cortadas em dois comprimentos, observaram haver um efeito interativo entre as fontes de forragens e o comprimento de corte.

Os consumos relativos ao peso vivo dos animais variaram de 3,35 a 3,75%, ficando dentro de uma faixa considerada normal para essa categoria animal, nas condições fisiológicas e de peso em que se encontravam, segundo os padrões de alimentação para gado leiteiro (HODEN et al., 1988; NRC, 1988; AFRC, 1993).

Na Tabela 6 encontram-se os dados de consumos médios diários de proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, matéria orgânica e carboidratos não-estruturais, expressos em valores absolutos e em relação ao peso vivo metabólico.

Verifica-se que a efetividade da fibra da dieta não teve efeito ($P > 0,05$) sobre o consumo de nutrientes pelos animais testados. Esses resultados, certamente, foram influenciados pelos mesmos padrões de consumo observados para a matéria seca e para a matéria orgânica. A alta correlação normalmente existente entre esses parâmetros explica tal fato, conforme já observado em outros trabalhos (BEZERRA et al., 1993). Tendência semelhante foi observada por MOONEY e ALLEN (1997), ao verificarem que

Tabela 6 - Consumo de proteína bruta, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, matéria orgânica e carboidratos, expressos em termos absolutos (kg/cab/dia) e em gramas, por unidade de peso vivo metabólico (g/kg PV^{0,75})

| Parâmetros | Tratamentos | | | | | CV |
|------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Proteína bruta | | | | | | |
| kg/cab/dia | 2,36 | 2,47 | 2,48 | 2,28 | 2,48 | 12,39 |
| g/kg PV ^{0,75} | 20,10 | 20,20 | 21,40 | 22,20 | 21,70 | 9,79 |
| Fibra em detergente neutro | | | | | | |
| kg/cab/dia | 9,42 | 8,56 | 9,38 | 9,64 | 8,89 | 13,87 |
| g/kg PV ^{0,75} | 76,10 | 75,60 | 81,00 | 86,50 | 81,80 | 10,21 |
| Fibra em detergente ácido | | | | | | |
| kg/cab/dia | 4,05 | 3,77 | 4,09 | 4,20 | 3,84 | 14,27 |
| g/kg PV ^{0,75} | 32,80 | 33,30 | 35,30 | 37,60 | 35,40 | 10,55 |
| Matéria orgânica | | | | | | |
| kg/cab/dia | 21,42 | 19,82 | 21,21 | 21,67 | 20,39 | 12,29 |
| g/kg PV ^{0,75} | 173,40 | 175,20 | 183,60 | 194,40 | 187,80 | 8,96 |
| Carboidratos não-estruturais | | | | | | |
| kg/cab/dia | 9,11 | 8,45 | 9,02 | 9,17 | 8,84 | 11,27 |
| g/kg PV ^{0,75} | 73,74 | 74,69 | 78,28 | 82,28 | 81,43 | 8,33 |

o comprimento da partícula de silagem não influenciou a ingestão nem de matéria seca nem dos nutrientes por vacas holandesas em lactação. GRANT et al. (1990a) também não verificaram o efeito do tamanho da partícula de feno sobre as ingestões de matéria seca e dos nutrientes das rações por vacas leiteiras em início de lactação.

De fato, o consumo de matéria seca e de nutrientes de uma dieta para vacas leiteiras é muito dependente do *status* fisiológico da vaca (CAMPLING, 1966; HUTJENS, 1994) e da composição em FDN da dieta (OKINE et al., 1997). ROSELER et al. (1993b) observaram que as altas produções de leite demandam grandes quantidades de nutrientes e que esse é um dos principais fatores responsáveis pelo estabelecimento do consumo de matéria seca.

Por outro lado, o desequilíbrio de nutrientes de uma dieta pode ser um fator inibidor do consumo de matéria seca e de nutrientes dessa dieta, por causa do aumento excessivo de metabólitos (ILLIUS e JESSOP, 1996). Como as dietas eram isonutricionais e não se perceberam diferenças significativas nos seus consumos em função das mudanças de efetividade física das rações, era esperado que também os nutrientes apresentassem a mesma tendência. Os consumos de nutrientes observados para todos os tratamentos foram suficientes para garantir um aporte nutricional adequado para sustentar a produção de leite e manter o escore corporal dos animais dentro da faixa desejada para o *status* fisiológico em que os animais se encontravam.

4.2. Tempo médio de retenção e digestibilidade das dietas

O tempo médio de retenção (TMR) de cada dieta e os resultados para digestibilidade da matéria seca (DMS), da matéria orgânica (DMO), da proteína bruta (DPB), da fibra em detergente neutro (FDN), da fibra em detergente ácido (DFDA) e dos carboidratos não-estruturais (DCNE) podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo médio (h) de retenção (TMR) e valores médios (%) de digestibilidade da matéria seca (DMS), da matéria orgânica (DMO), da proteína bruta (DPB), da fibra em detergente neutro (DFDN), da fibra em detergente ácido (DFDA) e dos carboidratos não-estruturais (DCNE) das dietas

| Parâmetros | Tratamentos ¹ | | | | | CV |
|------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| TMR | 46,87 _b | 52,56 _{ab} | 58,90 _{ab} | 57,43 _{ab} | 63,15 _a | 13,93 |
| DMS | 70,20 _a | 63,93 _{ab} | 62,93 _{ab} | 68,87 _a | 58,75 _b | 9,25 |
| DMO | 70,90 _a | 64,84 _b | 64,07 _b | 69,62 _a | 59,77 _b | 8,96 |
| DPB | 73,46 | 70,29 | 69,27 | 70,15 | 63,37 | 11,01 |
| DFDN | 67,64 _a | 58,06 _b | 58,31 _b | 66,58 _a | 58,71 _b | 7,57 |
| DFDA | 61,12 _a | 49,74 _b | 47,26 _b | 60,52 _a | 48,98 _b | 9,62 |
| DCNE | 73,51 | 70,43 | 68,39 | 72,54 | 59,42 | 13,24 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si (P < 0,05).

A análise dos dados revelou um efeito significativo ($P < 0,05$) da efetividade da dieta sobre o tempo médio de retenção das partículas dietéticas. O maior tempo de permanência foi observado na dieta com maior proporção de partículas mais grosseiras, verificando-se que as partículas da dieta com menor efetividade física ficou um tempo significativamente menor. Os resultados são compatíveis com os verificados na literatura (DIXON e MILLIGAN, 1985; BOSCH e BRUINING, 1995), que demonstram claramente ser o tamanho da partícula dietética um dos principais fatores a determinar a velocidade de trânsito da digesta no trato gastrointestinal.

A dinâmica de partículas, especialmente a degradação e o escape, é uma das principais características da digestão ruminal, mas, de fato, pouco progresso tem sido feito nessa área, devido às dificuldades metodológicas (SAUVANT, 1997). Contudo, os estudos de modelagem têm apresentado algumas proposições com relação aos aspectos dinâmicos.

À medida que entram no rúmen, as partículas alimentares são distribuídas de acordo com o seu tamanho e a sua densidade, e a forma como se dá essa distribuição depende do tamanho do corte ou da moagem do alimento processado, do teor de umidade, da composição química e da atividade de mastigação pelo animal (ALLEN e MERTENS, 1988). Partículas de tamanho superior a um determinado limite terão de ser reduzidas antes de poderem escapar do rúmen-retículo, sendo esse limite bastante variável. A partir da análise fecal, tem-se postulado que as partículas alimentares maiores que 2,0 mm para ovinos e 4,0 mm para bovinos tem baixa probabilidade de deixar o rúmen-retículo (POPPI et al., 1980; DES BORDES e WELCH, 1984; ALLEN e MERTENS, 1988; KASKE e ENGELHARDT, 1990).

POPPI et al. (1980) propuseram a “teoria do tamanho crítico”, em que a retenção de partículas no rúmen-retículo é dependente do tamanho dessas partículas. SAUVANT (1996) relatou que a proporção de partículas de determinado tamanho, obtida num bolo alimentar ingerido, guarda uma correlação positiva com a mesma proporção medida numa determinada dieta e sugeriu que o fluxo de partículas ruminais é dependente do tamanho da

partícula, do conteúdo em parede celular dietética, da fração indigerível da dieta e do peso vivo do animal. Tal observação é confirmada com os resultados aqui apresentados, em que as dietas com proporção de partículas de maior tamanho ficaram mais tempo retidas no trato gastrointestinal.

DIXON e MILLIGAN (1985) verificaram que a velocidade do fluxo da digesta no trato gastrointestinal de ovinos foi influenciada pelo tamanho e pela densidade da partícula de feno, com o maior tempo de permanência associado às dietas que apresentavam maior tamanho da partícula e menor densidade. O mesmo padrão foi observado por KASKE e ENGELHARDT (1990).

Os coeficientes de digestibilidade da matéria seca e da matéria orgânica foram significativamente afetados ($P < 0,05$) pelas mudanças no perfil da fibra. A dieta cujo perfil da fibra tinha a menor granulometria foi a que apresentou maior coeficiente e, no extremo oposto, a dieta de perfil granulométrico mais grosseiro foi a que apresentou menor coeficiente de digestibilidade.

Dois aspectos associados ao tamanho da partícula poderiam ser responsabilizados pelos resultados de digestibilidade apresentados: área de superfície de contato e densidade das partículas alimentares entrantes no trato gastrointestinal.

A área de superfície das partículas pode ser um dos principais determinantes no processo de colonização e, conseqüentemente, na digestão enzimática microbiana ao nível de rúmen (FISHER et al., 1989; SAUVANT, 1997). A adesão é uma estratégia da qual os microrganismos se utilizam para melhor utilizar o substrato ao qual se aderem e, principalmente, evitar a remoção por lavagem decorrente do fluxo digestivo (FLINT e FORSBERG, 1995). Essa adesão é feita por vários mecanismos, mas, de acordo com YOKOYAMA e JOHNSON (1988), os organismos celulolíticos ruminais se utilizam principalmente do glicocálix emitido, fundamentalmente, nas bordas dos pontos que apresentam algum tipo de ruptura promovida por processos mecânicos (mastigação, processamento etc.).

Se as partículas são finamente moídas, com menor número de pontos de adesão, pode ocorrer inibição do crescimento microbiano por lavagem antes que o devido processo de colonização se instale (VAN SOEST, 1994). Assim, quanto menor o tamanho da partícula do substrato a que os microrganismos estão se aderindo, menores e em menor número são os pontos disponíveis para adesão e mais difícil é o processo de colonização, com conseqüente queda na digestibilidade do substrato.

A influência da densidade também está associada ao processo de colonização microbiana. Neste caso, é preciso entender o rúmen como um sistema multicompartimentado, implicando microrganismos livres no fluido ruminal, microrganismos associados com a parede ruminal e microrganismos aderidos às partículas alimentares (CHENG e McALLISTER, 1997).

Partículas menos densas, em geral associadas à massa sólida de digesta, formam uma espécie de esteira ruminal, que sofre colonização e digestão por ação de enzimas microbiológicas. A ação microbiana favorece a redução do tamanho da partícula, aumentando seu peso relativo, o que faz com que se desprenda da massa, ficando em suspensão no líquido ruminal. Os microrganismos livres no compartimento líquido vão favorecer a redução da partícula suspensa até o ponto em que ela fica passível de remoção do sistema ruminoreticular. A digestão da fibra dietética no rúmen impõe a necessidade de um maior tempo de permanência para a colonização (NRC, 1988). Se as partículas são muito pequenas, elas serão rapidamente lavadas e removidas do rumen-retículo e não sofrerão a devida ação biológica.

Vistos sob essa ótica, os resultados aqui encontrados seriam contraditórios, já que justamente as dietas constituídas de partículas maiores foram as que apresentaram menor digestibilidade. Todavia, outros fatores tão ou mais importantes que o tamanho e a densidade das partículas também podem responder pela maior ou menor digestibilidade da matéria seca e da matéria orgânica. De fato, a mastigação durante a alimentação e a ruminação promove uma quebra nas barreiras estruturais do alimento resistentes à digestão, como cutículas nas forragens e no pericarpo nos grãos, e expõe os

tecidos internos ricos em nutrientes à colonização microbiana (BEAUCHEMIN et al., 1994). Até certo ponto, o processamento de forragens pode ter um efeito semelhante, uma vez que a desintegração das partículas alimentares poderia, em princípio, aumentar a superfície relativa, permitindo que as enzimas tenham mais área de contato e, desta forma, favoreçam a ação microbiana (BUXTON e REDFEARN, 1997).

Não houve efeito ($P > 0,05$) das dietas sobre a digestibilidade da proteína bruta e dos carboidratos não-estruturais. Da composição das dietas e de seus ingredientes, pode-se depreender que os ingredientes concentrados foram responsáveis por praticamente metade da matéria seca da dieta consumida pelos animais. Com a baixa concentração protéica do feno, os farelos foram responsáveis pela maior parte do suprimento de proteína aos animais. Sendo esses alimentos reconhecidamente de elevada digestibilidade, não é surpresa que o perfil da fibra não tenha exercido influência sobre a digestibilidade daquele nutriente.

Um enfoque semelhante pode ser dado ao fato de que a digestibilidade dos carboidratos não-estruturais também não tenha sido influenciada pelo aumento da efetividade da fibra das dietas. Afinal, com pouco mais de 20% de carboidratos não-estruturais em sua composição, o feno contribuiu com menos de 10% da oferta desses carboidratos na dieta dos animais e, portanto, seria pouco provável um efeito direto significativo da efetividade da fibra desse ingrediente sobre a digestibilidade dos carboidratos de reserva.

Embora em termos absolutos as médias de digestibilidade dos carboidratos não-estruturais pareçam discrepantes entre os tratamentos, o fato de a análise estatística não ter revelado um contraste significativo pode estar relacionado a um elevado coeficiente de variação, o que reduz as chances de identificar diferenças mínimas significativas.

Os valores de digestibilidade da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido se mostraram sensíveis ($P < 0,05$) à variação da efetividade física das dietas. A exemplo do que ocorreu com a matéria seca e com a matéria orgânica, maiores valores de digestibilidade foram apresentados

pela dieta cujas partículas tinham num perfil mais fino, enquanto os animais submetidos às dietas caracterizadas por apresentarem um perfil granulométrico mais grosseiro foram os que menos digeriram a fibra dietética.

Existem poucos dados na literatura para ilustrar o efeito da efetividade física da dieta sobre a digestibilidade, especialmente sobre os nutrientes da ração, até porque o conceito de efetividade da fibra do ponto de vista físico é relativamente recente. MOONEY e ALLEN (1997), todavia, verificaram que o tamanho da partícula de silagem não teve efeito sobre a taxa e a degradação da fibra.

Normalmente, espera-se que o aumento relativo do tamanho da partícula entrante com a dieta promova um aumento na digestibilidade da fibra (MERTENS e LOFTEN, 1980; UDÉN, 1992), em razão do maior tempo de permanência da partícula no rúmen. Entretanto, FIRKINS (1997) chamou a atenção para o fato de que os coeficientes de digestibilidade da fibra podem ser superestimados quando se utiliza a técnica *in situ*, pois pequenas partículas podem escapar dos sacos (MICHALET-DOREAU e OULD-BAH, 1992; BOWMAN e FIRKINS, 1993) quando o material é finamente moído.

Há muito se sabe que existe uma relação inversa entre taxa de passagem e taxa de digestão da fibra no rúmen (ALLEN e MERTENS, 1988), de maneira que qualquer fator que possa afetar o tempo de permanência de partículas alimentares no rúmen poderá ter efeito sobre a digestibilidade do alimento. Um exemplo típico, já mencionado aqui, é o da área de superfície das partículas alimentares que, quando aumentada por moagem, pode elevar a taxa de digestão, em razão do melhor acesso das enzimas microbianas.

A taxa de passagem mais rápida deveria ter contribuído para que as dietas com uma maior proporção de fibra fisicamente efetiva apresentassem menor digestibilidade da fibra, como observado por FIRKINS (1997). Entretanto, embora a maior digestibilidade possa expor mais nutrientes para a síntese protéica microbiana, também a maior velocidade de trânsito pode estimular a eficiência de síntese protéica dos microrganismos, pela redução do

gasto de energia para atividades de manutenção desses microrganismos (HESPELL e BRYANT, 1979; FIRKINS, 1996).

4.3. Parâmetros fisiológicos ruminais

As concentrações e proporções, no líquido ruminal, dos ácidos graxos voláteis acético, propiônico e butírico, nos tempos zero, duas, quatro e seis horas após a refeição, estão apresentadas nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 - Concentrações molares (mM) dos ácidos graxos voláteis acético (Acet), propiônico (Prop) e butírico (But) no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial

| Parâmetros | | Tratamentos ¹ | | | | | CV |
|------------|-----|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Acet | 0 h | 49,40 _c | 52,14 _b | 49,08 _c | 54,30 _a | 51,75 _b | 3,15 |
| | 2 h | 50,47 _d | 51,87 _{cd} | 55,16 _b | 53,66 _{bc} | 57,66 _a | 3,50 |
| | 4 h | 52,99 _a | 54,63 _a | 54,78 _a | 56,14 _a | 41,63 _b | 13,18 |
| | 6 h | 52,57 _b | 54,68 _a | 55,15 _a | 52,04 _b | 52,28 _b | 2,75 |
| Prop | 0 h | 13,73 _{ab} | 15,37 _a | 12,21 _{ab} | 12,83 _{ab} | 11,22 _b | 17,35 |
| | 2 h | 15,27 _a | 13,90 _b | 15,10 _a | 11,97 _c | 13,65 _b | 26,07 |
| | 4 h | 15,26 _a | 15,82 _a | 16,68 _a | 11,50 _b | 8,39 _b | 20,03 |
| | 6 h | 15,27 _{ab} | 15,72 _{ab} | 16,93 _a | 10,57 _b | 11,65 _b | 23,63 |
| But | 0 h | 8,25 _a | 7,51 _{ab} | 6,44 _{bc} | 8,36 _a | 5,74 _c | 13,95 |
| | 2 h | 8,20 | 7,49 | 7,86 | 7,98 | 7,29 | 12,10 |
| | 4 h | 7,95 | 8,09 | 9,11 | 8,03 | 8,38 | 13,23 |
| | 6 h | 7,48 | 7,44 | 7,38 | 6,58 | 5,93 | 13,53 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si ($P > 0,05$).

O perfil da fibra das dietas exerceu influência ($P < 0,05$) no *status* ruminal, promovendo modificações significativas nas concentrações molares dos principais ácidos graxos voláteis e, em especial, nas concentrações dos ácidos acético e propiônico. As variações, todavia, não obedeceram a um padrão definido nos diferentes períodos de coleta.

De zero a até duas horas após o primeiro arraçoamento do dia, a tendência foi de os animais alimentados com dietas de maior efetividade apresentarem maior concentração de ácido acético no líquido de rúmen e, em

Tabela 9 - Concentrações relativas (%) dos ácidos graxos voláteis acético (Acet), propiônico (Prop) e butírico (But) no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial

| Parâmetros | Tratamentos ¹ | | | | | | |
|------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | CV | |
| 0 h | Acet | 69,21 _c | 69,50 _c | 72,47 _b | 71,93 _b | 75,32 _a | 2,27 |
| | Prop | 19,23 | 20,49 | 18,02 | 17,00 | 16,33 | 15,70 |
| | But | 11,56 _a | 10,01 _{ab} | 9,51 _{ab} | 11,07 _a | 8,35 _b | 14,52 |
| 2 h | Acet | 68,26 | 70,80 | 70,62 | 72,90 | 73,36 | 4,16 |
| | Prop | 20,65 | 18,98 | 19,33 | 16,26 | 17,37 | 19,06 |
| | But | 11,09 | 10,23 | 10,06 | 10,84 | 9,28 | 10,88 |
| 4 h | Acet | 69,53 | 69,56 | 67,99 | 74,19 | 71,28 | 3,98 |
| | Prop | 20,03 _a | 20,14 _a | 20,70 _a | 15,20 _b | 14,37 _b | 15,89 |
| | But | 10,44 _b | 10,30 _b | 11,31 _b | 10,60 _b | 14,35 _a | 21,52 |
| 6 h | Acet | 69,80 _b | 70,24 _b | 69,41 _b | 75,22 _a | 74,83 _a | 3,97 |
| | Prop | 20,27 | 20,20 | 21,31 | 15,28 | 16,67 | 18,22 |
| | But | 9,93 | 9,56 | 9,28 | 9,51 | 8,50 | 13,24 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si (P < 0,05).

Tabela 10 - Proporção molar entre os ácidos acético e propiônico no líquido ruminal, em diferentes períodos pós-prandial

| Período | Tratamentos ¹ | | | | | |
|---------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | CV |
| 0 h | 3,74 | 3,40 | 4,31 | 4,27 | 4,66 | 18,55 |
| 2 h | 3,78 | 3,74 | 3,96 | 4,49 | 4,30 | 22,47 |
| 4 h | 3,87 _b | 3,46 _b | 3,31 _b | 4,93 _a | 4,89 _a | 17,34 |
| 6 h | 3,70 _b | 3,48 _b | 3,60 _b | 4,94 _a | 4,49 _{ab} | 19,38 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si (P < 0,05).

contrapartida, terem menor concentração de ácido propiônico. O comportamento dos dados obtidos com quatro e seis horas pós-prandial foi diferente do verificado nas primeiras horas de coleta. Observando as Figuras 3 e 4, é possível perceber que o pico de produção de ácido acético ocorreu em torno de quatro horas após o arraçoamento para as dietas com maior efetividade física, com exceção do tratamento 5.

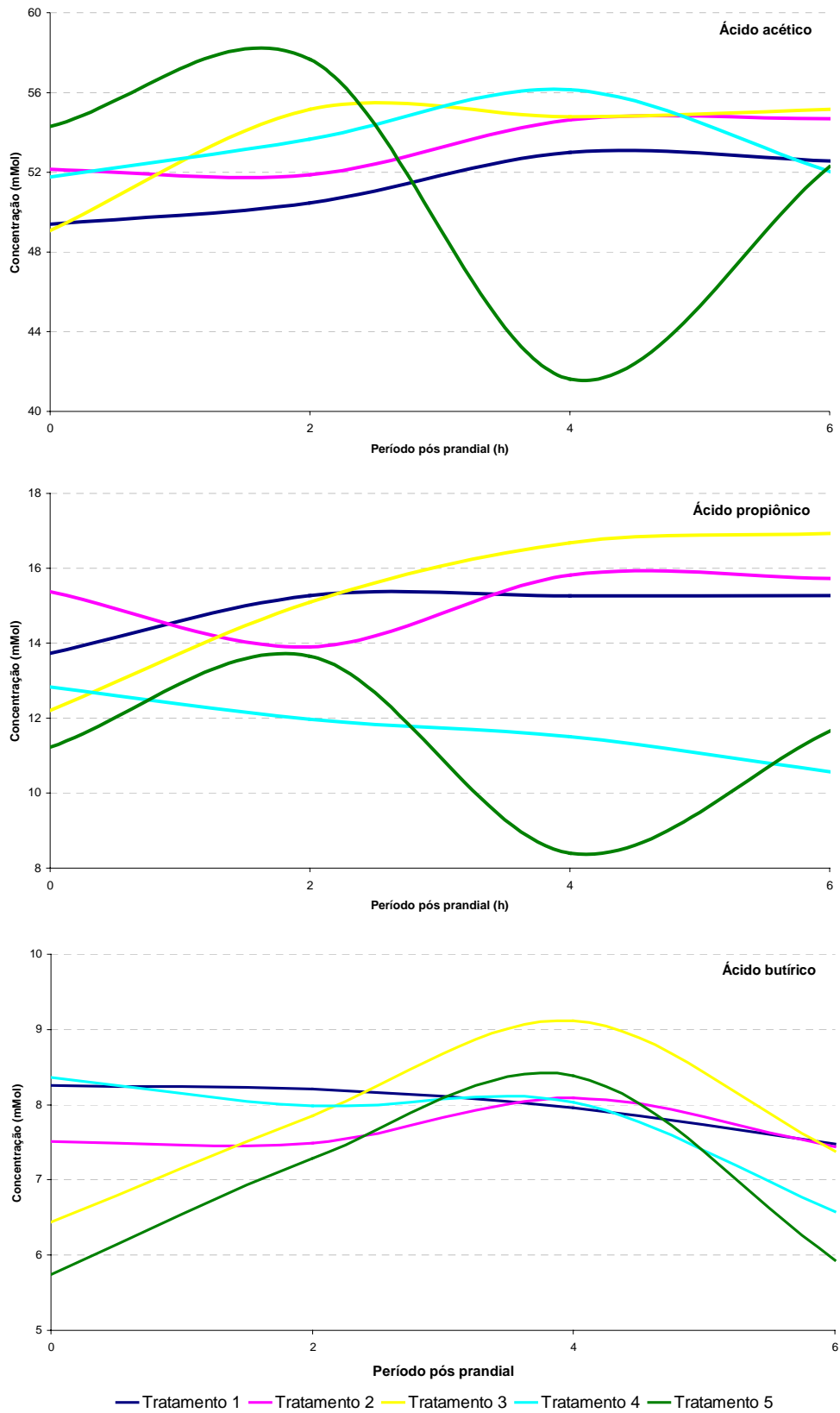


Figura 3 – Variações nas concentrações molares de ácidos graxos voláteis, em diferentes períodos pós-prandial.

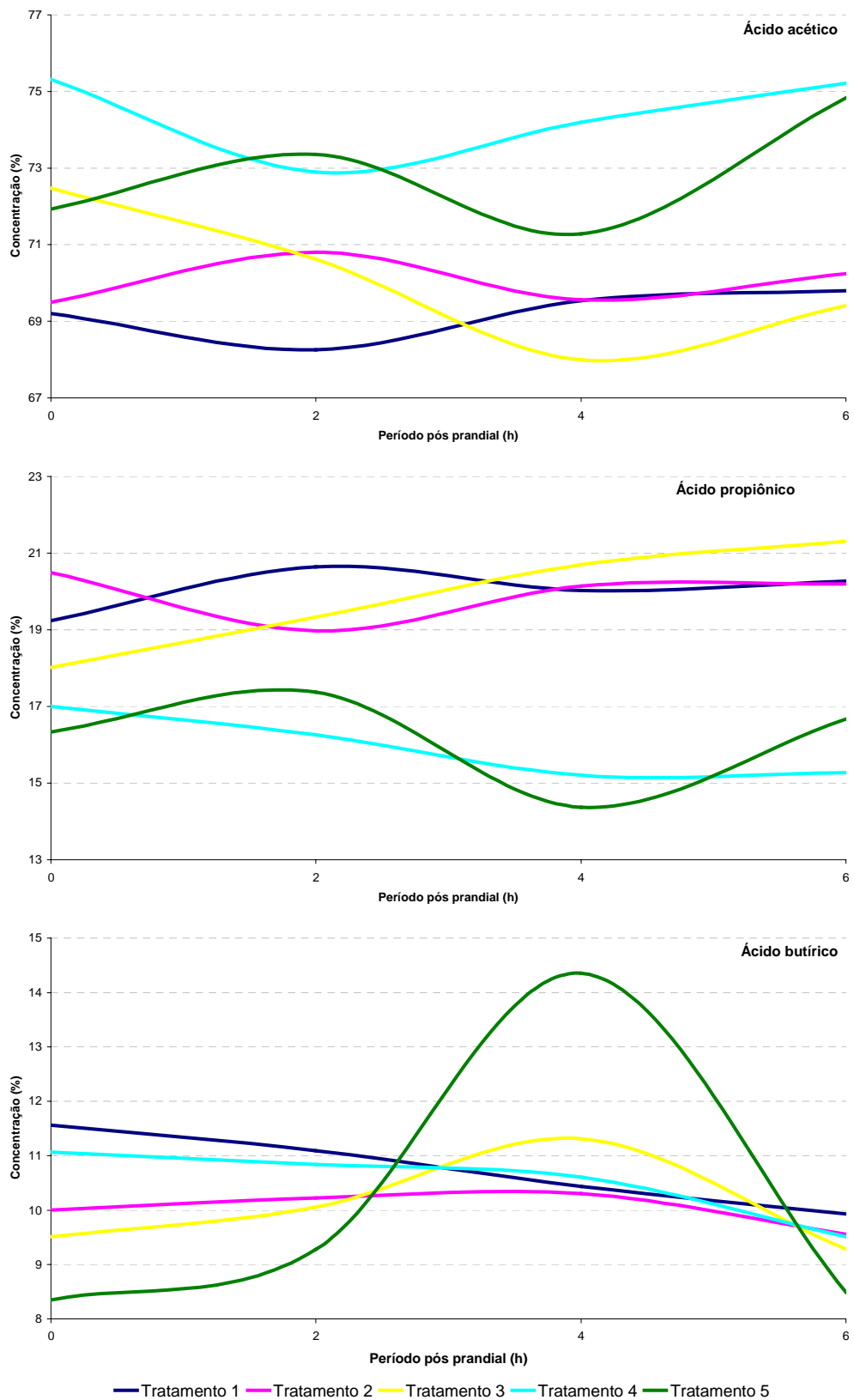


Figura 4 – Variações nas concentrações relativas de ácidos graxos voláteis, em diferentes períodos pós-prandial.

As concentrações dos principais ácidos graxos voláteis num determinado momento no rúmen refletem o balanço entre a taxa de produção e a taxa de desaparecimento dos mesmos. As concentrações aqui observadas se enquadram numa faixa normal, de acordo com a literatura, que reporta variações entre 70 e 130 mM (CZERKAWSKI, 1986; BONDI, 1988; FRANCE e SIDDONNS, 1993).

Imediatamente após o fornecimento das dietas, a produção é maior do que a perda, o que leva a um aumento na concentração total. Porém, em seguida, a situação se inverte e as concentrações molares são reduzidas (FRANCE e SIDDONNS, 1993). Diferenças significativas nas concentrações totais molares de ácidos graxos voláteis não eram esperadas neste trabalho, uma vez que as dietas eram isonutricionais. Contudo, as proporções relativas sofrem influência da efetividade da dieta (SWAIN e ARMENTANO, 1994; ARMENTANO e PEREIRA, 1997) e algumas variações nas concentrações molares dos ácidos acético, propiônico e butírico poderiam ocorrer, uma vez que a maior ou menor produção de saliva, decorrentes das diferenças de efetividade física das dietas, poderiam levar a uma variação do pH ruminal e ter reflexos sobre a proporcionalidade dos ácidos (BALCH e ROWLAND, 1957; BERGMAN, 1990). A esperada variação no pH não se concretizou, como poderá ser constatado mais adiante, mesmo tendo sido observadas variações nas concentrações dos ácidos.

Uma considerável variação na concentração do ácido acético pode ser percebida no tratamento de maior efetividade física, ao longo dos períodos de coleta. É importante salientar que o uso das dietas totais, em geral, traz como vantagem o fato de a vaca não conseguir escolher o que come entre os ingredientes oferecidos, sendo cada bocado uniforme, o que contribui para a manutenção de um padrão de fermentação também uniforme (COPPOCK, 1995; STOKES, 1997). Entretanto, como as partículas fibrosas do tratamento 5 eram de grande tamanho, a mistura de volumoso e concentrado não foi suficientemente homogênea para garantir que o animal não exercesse preferência.

Principalmente por se tratarem de vacas holandesas, é possível que os animais utilizados neste trabalho tenham exercido sua preferência e consumido mais concentrado num dado momento do arraçoamento e mais volumosos em outro, provocando as flutuações ilustradas. A melhor homogeneidade nos tratamentos de perfil granulométrico mais fino provavelmente favoreceu a pequena variação na síntese de ácido acético observada ao longo do tempo, após o arraçoamento.

Em relação ao ácido propiônico, é nítida a tendência de menor síntese pelos animais alimentados com dietas cuja fibra se apresentava com perfil de maior efetividade física. Essa tendência também foi observada por GRANT et al. (1990), que notaram uma maior produção molar de ácido acético em animais alimentados com feno de partículas mais grosseiras, comparados aos que foram alimentados com feno finamente moído, enquanto a produção de ácido propiônico se deu de forma inversa.

Outra tendência observada neste trabalho é que as dietas de maior efetividade propiciaram maior ($P < 0,05$) síntese de ácido acético, o que levou os animais a produzirem menos ácido propiônico. Conseqüentemente, ocorreram diferenças significativas ($P < 0,05$) na relação acetato:propionato após quatro horas de arraçoamento, como pode ser observado na Tabela 10, onde se nota que as dietas de maior efetividade física permitiram o estabelecimento de uma maior relação acetato:propionato.

Se as dietas eram isonutricionais, as diferenças na síntese e na relação molar acetato:propionato só poderiam ser explicadas por aspectos comportamentais e pela dinâmica ruminal. Um maior tempo de mastigação poderia responder por uma maior relação acetato:propionato, pois a maior produção de saliva e, conseqüentemente, o maior efeito-tampão levariam à manutenção do pH ruminal em níveis mais próximos da neutralidade, o que favoreceria o desempenho de bactérias fibrolíticas, justamente as que mais contribuem para a síntese de ácido acético.

Parece que o número de protozoários pode ser inversamente relacionado ao tamanho da partícula e à taxa de passagem no rúmen

(DEHORITY e ORPIN, 1997). Segundo esses autores, à medida que o valor do pH ruminal diminui, ocorre um decréscimo significativo na concentração de protozoários. Semelhante observação foi feita por VAN SOEST (1994), que acrescentou que a proporção de ácidos graxos voláteis no rúmen pode ser influenciada não só pela dieta, mas também pelo *status* da população metanogênica e de protozoários no rúmen.

Excluindo o tempo zero, quando expressa em termos relativos, a concentração de ácido acético só acusou o efeito ($P < 0,05$) do perfil da fibra com seis horas de arrazoamento, novamente percebendo-se a tendência de as dietas com maior efetividade física estimularem a manutenção de uma maior relação acetato:propionato, em comparação com as dietas menos efetiva fisicamente. Embora em alguns momentos tenham ocorrido variações significativas nessas proporções, em todos os tratamentos essas proporções ficaram dentro da faixa considerada normal e adequada para manter a saúde e o desempenho do animal (BERGMAN, 1990; STOKES, 1997; ARMENTANO e PEREIRA, 1997).

Os resultados de pH do líquido ruminal nos tempos zero, duas, quatro e seis horas pós-prandial podem ser observados na Tabela 11. Não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos para esse parâmetro (Figura 5). Tal resultado pode ser considerado, até certo ponto, surpreendente, uma vez que a efetividade da dieta pode afetar sobremaneira o pH ruminal e, conseqüentemente, desencadear uma cascata de eventos ao nível do rúmen.

Tabela 11 - Valores de pH do líquido ruminal

| Parâmetros | Tratamentos | | | | | CV | |
|------------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| pH | 0 h | 6,74 | 6,81 | 6,87 | 6,99 | 6,85 | 4,07 |
| | 2 h | 6,60 | 6,72 | 6,79 | 6,82 | 6,82 | 4,66 |
| | 4 h | 6,71 | 6,80 | 6,69 | 6,81 | 6,63 | 3,75 |
| | 6 h | 6,68 | 6,72 | 6,69 | 6,81 | 6,65 | 3,89 |

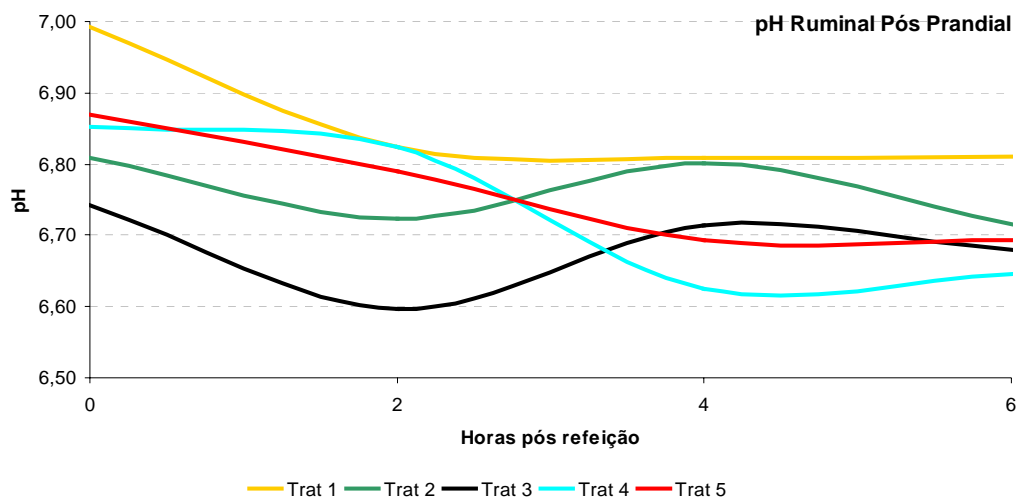


Figura 5 – Variações nos valores do pH do líquido ruminal.

O pH do rúmen depende muito da capacidade tamponante da saliva e da taxa de remoção dos ácidos orgânicos do rúmen (VAN SOEST, 1994). Uma grande variação nos valores de pH ruminal é esperada com o uso de dietas completas, uma vez que as partículas de variados tamanhos proporcionam uma multiplicidade de oportunidades para os diversos organismos ruminais (OWENS e GOETSCH, 1988). Mas quando se dá a oportunidade aos animais de acessarem livremente o alimento, como foi feito neste experimento, a maior parte deles desenvolve um padrão de consumo que pode, segundo OWENS e GOETSCH (1988), reduzir as flutuações pós-prandial.

A relação entre o tamanho da partícula e a acidez do líquido ruminal foi observada por LOGGINS et al. (1964), ao verificarem que a substituição do feno finamente moído por feno grosseiramente triturado aumentou o pH. Resultado semelhante foi observado por WEIDNER e GRANT (1994), trabalhando com silagem.

Uma explicação bastante simples pode ser dada ao comportamento do pH de acordo com as dietas, a qual estaria associada à metodologia utilizada para coleta das amostras neste trabalho. O líquido ruminal utilizado para análise da acidez foi coletado por sonda esofágica, e o apropriado para os

animais não-fístulados seria a coleta através da por meio da ruminocentese, evitando-se, desta forma, a contaminação do líquido com a saliva altamente tamponante, o que altera sobremaneira os valores de pH das amostras de líquido assim coletadas.

4.4. Desempenho produtivo

Na Tabela 12 encontram-se os dados médios de produção, composição e acidez do leite. Os resultados indicaram que houve efeito ($P < 0,05$) da efetividade física das dietas sobre o desempenho produtivo das vacas do experimento, tendo sido verificado que as dietas elaboradas para conter um perfil intermediário da fibra fisicamente efetiva foram as que proporcionaram maior produção leiteira; em contraposição, as vacas alimentadas com dietas de maior efetividade física foram as que alcançaram menor produção (Figura 6).

Tabela 12 - Produção, concentração de sólidos e de uréia e acidez do leite

| Parâmetros | Tratamentos ¹ | | | | | CV |
|----------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Leite (kg/cab/dia) | 21,65 _{ab} | 24,02 _a | 22,49 _{ab} | 18,97 _b | 20,05 _{ab} | 12,90 |
| Gordura (g/cab/dia) | 634,10 | 712,10 | 709,40 | 618,50 | 678,40 | 14,50 |
| Gordura (%) | 3,39 _b | 3,57 _{ab} | 3,73 _{ab} | 3,98 _{ab} | 4,16 _a | 11,22 |
| Sólidos totais (g/cab/dia) | 266,50 | 302,20 | 285,30 | 252,10 | 267,10 | 12,74 |
| Sólidos totais (%) | 12,29 | 12,64 | 12,74 | 13,30 | 13,34 | 5,35 |
| Acidez (° dornic) | 17,13 | 16,69 | 16,19 | 17,78 | 16,01 | 6,68 |
| Uréia (mg/dL) | 28,34 | 28,06 | 27,48 | 28,04 | 27,63 | 2,92 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si ($P < 0,05$).

O efeito da efetividade física da dieta sobre a produção de leite se dá de forma indireta, à medida que pode exercer efeito sobre as quantidades consumidas, os padrões de consumo e a digestibilidade da matéria seca, bem como sobre os padrões de fermentação ruminal.

ARMENTANO e PEREIRA (1997), revisando na literatura inúmeros trabalhos publicados relativos ao estudo da efetividade da fibra, verificaram

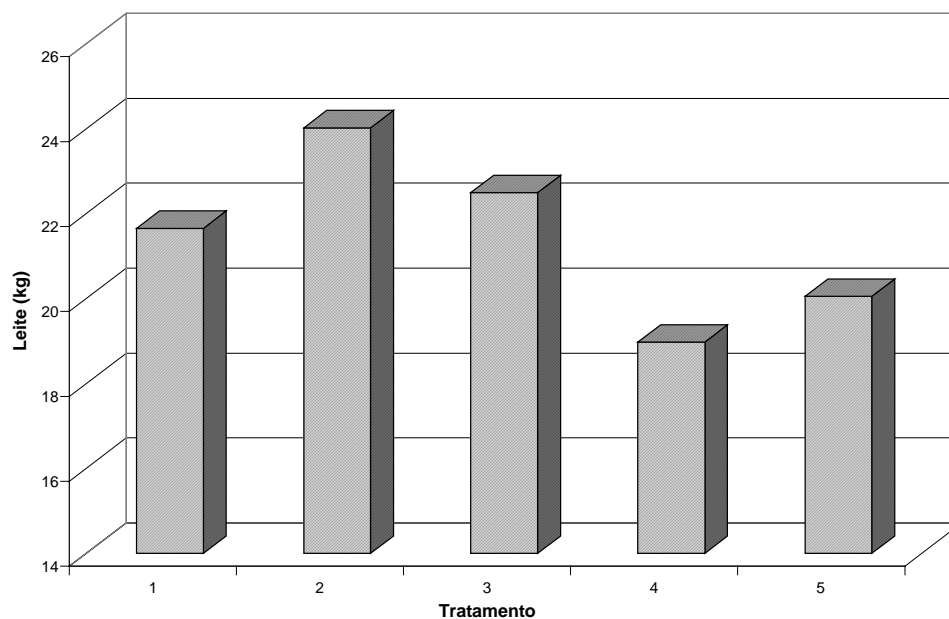


Figura 6 – Produção de leite dos animais em teste.

uma correlação significativa entre a produção de leite, o tempo de mastigação e a concentração de fibra das forragens, fato também observado por DADO e ALLEN (1994). Essa relação, todavia, nem sempre é bem estabelecida, pois, em geral, um dos propósitos de se acessar a fibra efetiva de uma dieta é permitir que ela possa ser elaborada com o máximo possível de carboidratos de digestão facilitada, na tentativa de maximizar a produção de leite, mas, ao mesmo tempo, garantir a manutenção da saúde do animal e do teor de gordura do leite (VAN HORN, 1997). Desta forma, normalmente são feitas alterações nos níveis ou na qualidade da fibra, para garantir a melhor relação entre a síntese microbiana e o escape ruminal de nutrientes de fácil assimilação pelo hospedeiro, o que, segundo MERTENS (1996, 2000), confundiria os efeitos físicos e químicos da fibra dietética.

Diferenças na quantidade e nas propriedades físicas da fibra podem afetar a utilização da dieta e o desempenho do animal, segundo MERTENS (1997), principalmente em virtude do efeito sobre o consumo e sobre as alterações na fermentação ruminal. MOONEY e ALLEN (1997), todavia, não observaram efeito do tamanho da partícula da silagem de alfafa sobre o

desempenho leiteiro de vacas holandesas, resultado este semelhante ao do trabalho de SWAIN e ARMENTANO (1994).

Não houve efeito das dietas sobre o consumo, como já observado anteriormente, mas os coeficientes de digestibilidade e as substanciais modificações na fermentação ruminal que resultaram em variação nas quantidades e proporções de ácidos graxos voláteis indicam que esses parâmetros podem ser eleitos como alguns dos principais responsáveis pelas variações observadas no desempenho leiteiro.

As diferenças notadas para a produção de gordura não foram significativas ($P > 0,05$), apesar de os valores absolutos terem se apresentado discrepantes. Novamente, um alto coeficiente de variação observado para esse parâmetro pode explicar esse resultado estatístico. É importante salientar que o efeito da efetividade da fibra dietética é preponderante sobre o percentual de gordura do leite, mas é realmente pouco provável que esse efeito persista sobre a produção absoluta de gordura, tendo em vista que o teor de gordura guarda também uma correlação intrínseca e negativa com o total de leite produzido, ambos com forte componente genético determinando sua expressão.

As dietas tiveram influência ($P < 0,05$) no teor de gordura do leite dos animais em teste, com um aumento progressivo e significativo da concentração láctea à medida que se aumentou a efetividade física da dieta (Figura 7). Esses resultados são consistentes com a tese de que o tamanho da partícula dietética exerce efeito marcante sobre o teor de gordura do leite de vacas de alto desempenho (O'DELL et al., 1968; GRANT et al., 1990a,b; VARGA, 1997).

A alteração na concentração de propionato no *pool* ruminal, possivelmente, pode ser um dos principais fatores responsáveis por esse resultado (GRANT et al., 1990a). As dietas com baixa efetividade física diminuem a atividade de ruminação e o pH ruminal (WELCH, 1982), aumentam a concentração ruminal de propionato e podem desencadear a queda na concentração de gordura do leite por meio de mudanças nas concentrações séricas de insulina (GRANT et al., 1990a,b).

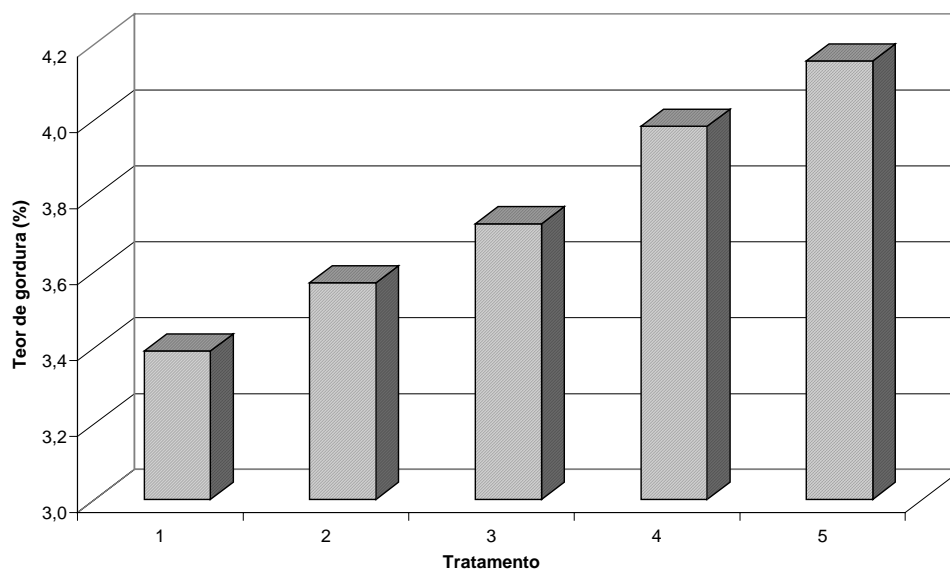


Figura 7 – Concentração de gordura no leite dos animais em teste.

O aumento da concentração de insulina no sangue pode promover um incremento na concentração de glicose, na concentração de propionato ou na concentração de ambos, resultando na diminuição da mobilização de gordura corporal (JENNY et al., 1972; JENNY e POLAN, 1975) e, conseqüentemente, reduzindo a disponibilidade dos precursores de gordura do leite para a glândula mamária. Além disto, segundo BENSON et al. (1972), a insulina pode aumentar a absorção de acetato pelos adipócitos e melhorar a atividade da lipase lipoprotéica e, assim, favorecer a lipogênese no tecido adiposo.

Portanto, desde que a proporção entre acetato e propionato tendeu a ser maior para as dietas com maior efetividade física, considerando que os tratamentos tiveram influência sobre a produção de leite e houve correlação negativa entre a produção de leite e o teor de gordura, os resultados aqui observados podem ser considerados coerentes.

A produção e o teor de sólidos totais do leite não foram influenciados ($P > 0,05$) pela efetividade das dietas. Também, não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$) na acidez e na concentração de uréia do leite. A produção e a concentração de sólidos totais são bastante dependentes

de fatores genéticos e guardam uma correlação estreita com o volume de leite produzido em cada lactação, podendo ser influenciados pela raça, pelo estágio de lactação e pela estação do ano (HOMAN e WATTIAUX, 1996). Portanto, é pequena a influência de fatores nutricionais nesses parâmetros, embora algumas características químicas da dieta possam ter algum efeito. A acidez pode ser influenciada pela dieta, mas os fatores de manejo, especialmente os de ordem higiênica e profilática, podem ser preponderantes em influenciar a acidez.

A efetividade física das dietas não teve influência significativa ($P > 0,05$) na concentração de uréia do leite. Esse parâmetro foi controlado na expectativa de que a efetividade das dietas pudesse exercer influência sobre o crescimento microbiano. Em vacas leiteiras, a uréia do sangue e, conseqüentemente, do leite reflete não somente o catabolismo da proteína pelo tecido do hospedeiro, mas também o catabolismo protéico exercido pelas bactérias no rúmen (DePETERS e FERGUSON, 1992). A digestão de proteína no rúmen libera amônia, que pode ser utilizada pela bactéria ou ser absorvida para o sistema sangüíneo, sendo convertida em uréia num processo de desintoxicação. Qualquer fator que exerça efeito sobre o crescimento microbiano irá influenciar as concentrações de uréia no sangue e no leite, portanto, espera-se, normalmente, que um maior crescimento microbiano seja acompanhado de um decréscimo nas concentrações séricas e lácticas de uréia. Nesse aspecto, parece que a proporção entre proteína e energia na dieta tem efeito marcante (OLTNER e WIKTOSSON, 1983)

De fato, as diferenças observadas na digestibilidade e no tempo médio de permanência da digesta no trato gastrointestinal apontam para um possível efeito da efetividade física dietética sobre o crescimento microbiano. Entretanto, os resultados aqui encontrados para a concentração láctica de uréia não dão subsídios a essa assertiva. Por outro lado, os níveis de uréia láctica observados neste trabalho parecem indicar que as dietas não foram adequadamente balanceadas, no que diz respeito à proporção de proteína degradável e não-degradável no rúmen, bem como de carboidratos

fermentecíveis no rúmem, uma vez que uma média geral em torno de 28 mg/dL é superior à variação sugerida por BAKER et al. (1995) e ROSELER et al. (1993a), que é de 9 a 14 mg/dL de leite.

Cabe salientar que a concentração de uréia no leite pode ser usada como um indicativo da eficiência de utilização da proteína dietética. Além disto, o excesso de uréia láctea não tem valor econômico para o produtor, nem para a indústria de beneficiamento de leite, pois representa proteína bruta dietética não utilizada em eventos produtivos, o que significa perda de eficiência econômica e uma potencial contaminação do meio ambiente, em virtude das maiores excreções fecal e urinária.

4.5. Comportamento ingestivo

Na Tabela 13 encontram-se os tempos proporcionais gastos pelos animais para comer, ruminar, beber e realizar outras atividades durante o período de 24 horas, além dos parâmetros associados com o número de mastigações durante a ruminação e o tempo gasto para a formação de cada bolo regurgitado.

A efetividade física das dietas teve influência ($P < 0,05$) no tempo gasto para a ingestão de alimentos. Os animais alimentados com as dietas de perfil granulométrico mais fino foram os que despenderam menos tempo para consumir os alimentos. Os animais alimentados com a ração de granulometria intermediária, entretanto, foram os que apresentaram tendência de maior tempo gasto para consumir a dieta (Figura 8). Essa tendência de aumento no tempo gasto para consumo com o aumento do tamanho da partícula dietética também foi observada por MOONEY e ALLEN (1997), que detectaram diferenças significativas no tempo gasto para consumo das dietas com a variação do comprimento da partícula de silagem oferecida a vacas holandesas, com os maiores tempos de consumo associados às dietas que continham partículas de maior tamanho.

Tabela 13 - Comportamento ingestivo dos animais em relação aos tempos gastos, em minutos (min.), com ingestão de alimentos, ruminação, consumo de água e com outras atividades, taxa de mastigação e tempo médio, em segundos (seg.), para formação de cada bolo alimentar

| Parâmetros | Tratamentos ¹ | | | | | CV |
|------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Ingestão de alimentos | | | | | | |
| min/dia | 280,5 _{bc} | 274,2 _c | 311,8 _a | 306,8 _{ab} | 285,5 _{abc} | 6,60 |
| min/dia/kg MS | 14,6 | 13,3 | 15,9 | 16,34 | 14,0 | 15,28 |
| min/dia/kg FDN | 31,9 | 28,5 | 34,8 | 36,1 | 30,8 | 16,55 |
| Ruminação | | | | | | |
| min/dia | 401,9 _c | 509,7 _a | 513,3 _a | 440,7 _{bc} | 473,3 _{ab} | 7,92 |
| min/dia/kg MS | 20,7 | 24,7 | 26,0 | 23,5 | 23,4 | 15,11 |
| min/dia/kg FDN | 45,4 | 53,1 | 57,0 | 51,9 | 51,2 | 16,42 |
| Consumo de água | | | | | | |
| min/dia | 20,0 | 32,6 | 31,3 | 20,0 | 17,5 | 40,95 |
| Outras atividades | | | | | | |
| min/dia | 737,6 _a | 623,5 _{bc} | 583,5 _c | 672,4 _b | 663,6 _b | 6,18 |
| Taxa de mastigação | | | | | | |
| mastigações/bolo | 55,4 _b | 63,0 _a | 61,9 _a | 55,3 _b | 56,8 _b | 5,58 |
| mastigações/min | 58,9 _a | 57,5 _{ab} | 58,8 _a | 52,6 _b | 54,6 _{ab} | 6,23 |
| mastigações/dia/kg MS | 1218,0 | 1424,9 | 1531,4 | 1232,3 | 1283,0 | 16,52 |
| mastigações/dia/kg FDN | 2663,0 | 3063,4 | 3352,0 | 2722,4 | 2812,3 | 17,77 |
| tempo, seg/bolo | 56,5 _b | 65,8 _a | 63,2 _a | 63,0 _a | 62,6 _a | 5,62 |

¹ As médias na linha, seguidas de letras distintas, diferem entre si ($P < 0,05$).

O fato de o tempo gasto pelos animais para consumir a ração constituída de fibra com perfil mais grosseiro não ter sido significativamente diferente daquele gasto pelos animais que consumiram rações de granulometria mais fina talvez possa ser explicado pela heterogeneidade daquela, o que já foi discutido em seções anteriores deste trabalho.

Se os animais tiveram oportunidade de, num dado momento, exercer sua preferência por ingredientes da ração total, então, possivelmente, podem ter consumido mais rapidamente a ração concentrada e só posteriormente passaram a consumir o volumoso, o que poderia influir no tempo total utilizado para esse propósito, assertiva corroborada por ALBRIGHT (1993) e STOKES (1997).

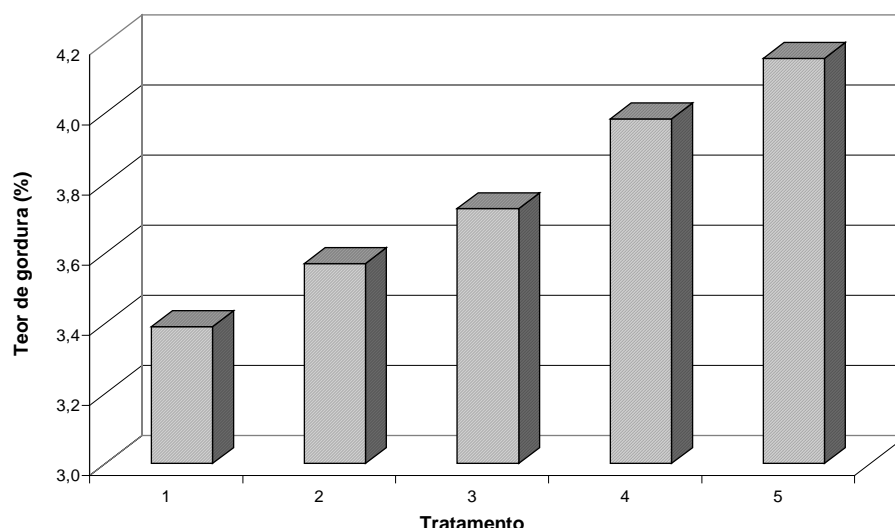


Figura 8 – Comportamento ingestivo dos animais.

O comportamento dos animais em relação aos tempos gastos por dia para cada quilograma de matéria seca e de fibra em detergente neutro consumido foi semelhante ($P > 0,05$) para todas as dietas. Comportamento parecido foi observado por BEAUCHEMIN e BUCHANAN-SMITH (1989) e OKINE et al. (1994), ao verificarem que as diferenças no tempo gasto para ingestão devido às dietas não se sustentaram após se proceder a um ajustamento desse tempo em função dos consumos de matéria seca, naquele estudo.

A amplitude da variação nos tempos utilizados pelas vacas para consumir suas dietas se assemelha às amplitudes observadas por DADO e ALLEN (1994), para uma extensa faixa de condições fisiológicas de vacas em lactação.

Ao estabelecer uma relação entre o tempo gasto para ruminação e os consumos de matéria seca e fibra em detergente neutro, não foram detectadas diferenças significativas. Entretanto, os animais gastaram menos tempo ($P < 0,05$) na ruminação quando foram alimentados com a dieta que continha a menor granulometria de fibra.

É interessante observar que, a exemplo do que ocorreu com o tempo de consumo, também as dietas com um perfil granulométrico médio foram as que levaram os animais a gastar mais tempo no processo de ruminação (Figura 9). De acordo com VAN SOEST (1994), o processamento e a redução no tamanho da partícula dietética, com conseqüente colapso da estrutura da parede celular, aumentam a densidade do alimento, o que leva à redução no tempo de ruminação, contribuindo para aumentar a disponibilidade de tempo para a ingestão de alimentos.

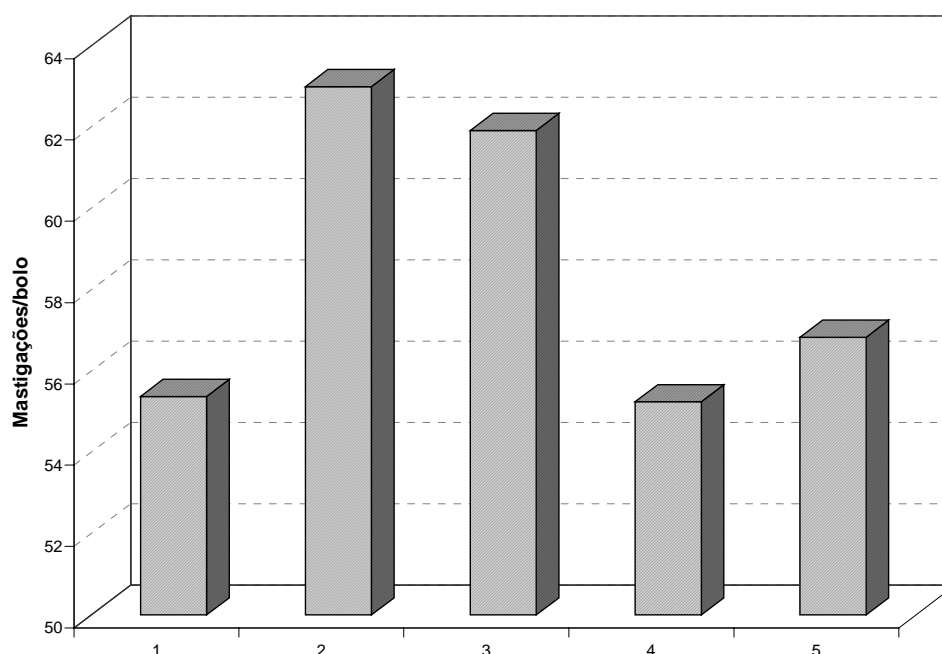


Figura 9 – Taxa de mastigação (mastigação/bolo).

Não se verificaram diferenças significativas ($P > 0,05$) no tempo utilizado pelos animais para consumir água, mas o tempo gasto com outras atividades também foi influenciado pela efetividade física das dietas. À medida que os tratamentos tiveram efeito sobre os tempos utilizados pelos animais para ruminar e para consumir alimentos, era esperado que o tempo gasto com outras atividades também sofresse influência das dietas numa

relação inversa à observada para os tempos gastos com o consumo de alimentos e com a ruminação.

A média em torno de 24 minutos gastos para beber água pode ser considerada normal, embora tenha ficado ligeiramente acima dos resultados observados na literatura (DADO e ALLEN, 1994, 1995). Mas a comparação de valores absolutos, na maioria das vezes, precisa de respaldo, uma vez que as condições experimentais dificilmente são semelhantes.

Inúmeros fatores de natureza diversa podem influenciar o consumo de água por vacas leiteiras, mas certamente a natureza da dieta e as exigências do animal são preponderantes (WELCH e HOOPER, 1988). Quando a qualidade da dieta, especialmente a da forragem, é baixa, as vacas restringem o consumo de água na tentativa de controlar o balanço de nitrogênio, para conseguir atender às suas necessidades protéicas de manutenção (SQUIRES, 1988). Por sua vez, as exigências de água pelo animal dependem da temperatura ambiente, do nível de salinidade e do *status* fisiológico do animal, como idade, gestação e lactação (LANGHANS et al., 1995).

Houve um significativo efeito da efetividade física das dietas sobre a taxa de mastigação durante a ruminação, embora não tenham sido detectadas diferenças significativas no número de mastigações dos animais por quantidades de matéria e de fibra em detergente neutro ingeridas. As rações de efetividade física intermediária foram as que propiciaram o maior número de movimentos mastigatórios para a formação dos bolos regurgitados na ruminação, enquanto o número de mastigações por bolo regurgitado efetuado tanto pelos animais alimentados com as dietas de perfil granulométrico mais fino quanto por aqueles submetidos às dietas de granulometria mais grosseira foi significativamente menor que o das primeiras (Figura 9).

A influência do perfil granulométrico, especialmente das forragens que compõem as dietas totais, sobre a atividade de mastigação já é bem conhecida, e inúmeros trabalhos evidenciam esse efeito (DADO E ALLEN, 1995; MOONEY e ALLEN, 1997; MERTENS, 2000). De acordo com WELCH e HOOPER (1988), as forragens cortadas mais grosseiramente produzem menor

taxa de mastigação, comparadas às forragens moídas mais finamente, proposição esta também feita por BALCH (1971).

Quando expressa por tempo de ruminação, percebeu-se uma mudança sutil no efeito das dietas sobre o número de movimentos mastigatórios, tendo sido verificado que a dieta com perfil granulométrico mais fino foi, desta vez, a que promoveu a menor taxa de mastigação (Figura 10). A explicação provável para esse fato está no tempo gasto para a formação do bolo ruminal, notando-se claramente que os animais alimentados com essa dieta foram os que gastaram menos tempo para formação de cada bolo, enquanto para os demais tratamentos não foram verificadas diferenças significativas para esse parâmetro (Figura 11).

Há poucas evidências na literatura para suportar os resultados aqui observados, mas JASTER e MURPHY (1983), trabalhando com novilhas holandesas, verificaram tempos de 47, 51 e 52 segundos de ruminação para a formação de cada bolo ruminal, quando alimentadas com feno de alfafa picado em tamanho longo, médio e fino, respectivamente. GILL e CASTLE (1983) verificaram tempos que variaram de 53,2 a 55,7 segundos para a formação de bolos merícicos por vacas Arshires alimentadas com rações totais.

Os resultados aqui encontrados indicam que o número e a taxa de mastigação e o tempo para formação do bolo ruminal parecem não depender muito da quantidade de alimento e de fibra ingeridas. Tal fato está de acordo com a observação de WELCH e HOOPER (1988). Entretanto, esses parâmetros podem ser influenciados pela natureza e pelo processamento do material ingerido, o que foi comprovado com os resultados observados neste trabalho.

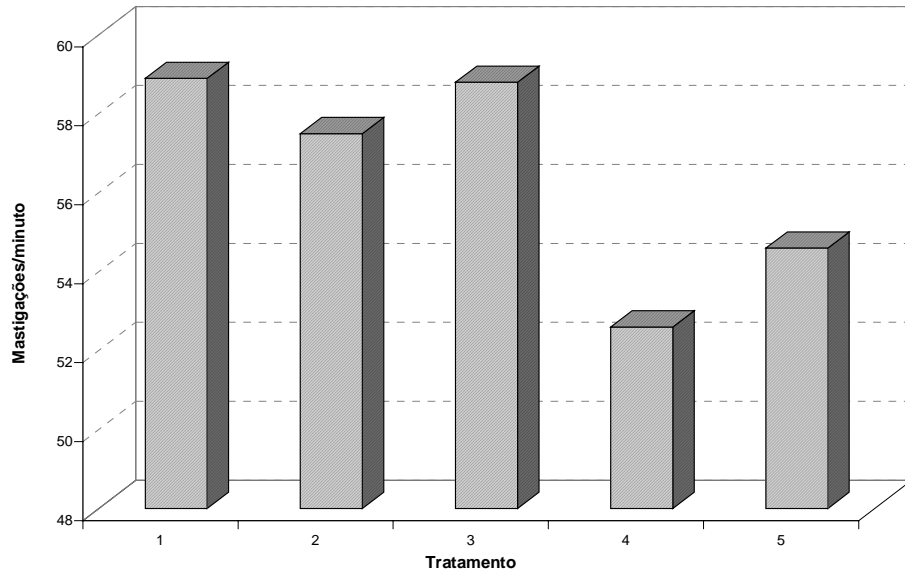


Figura 10 – Taxa de mastigação (mastigação/bolo).

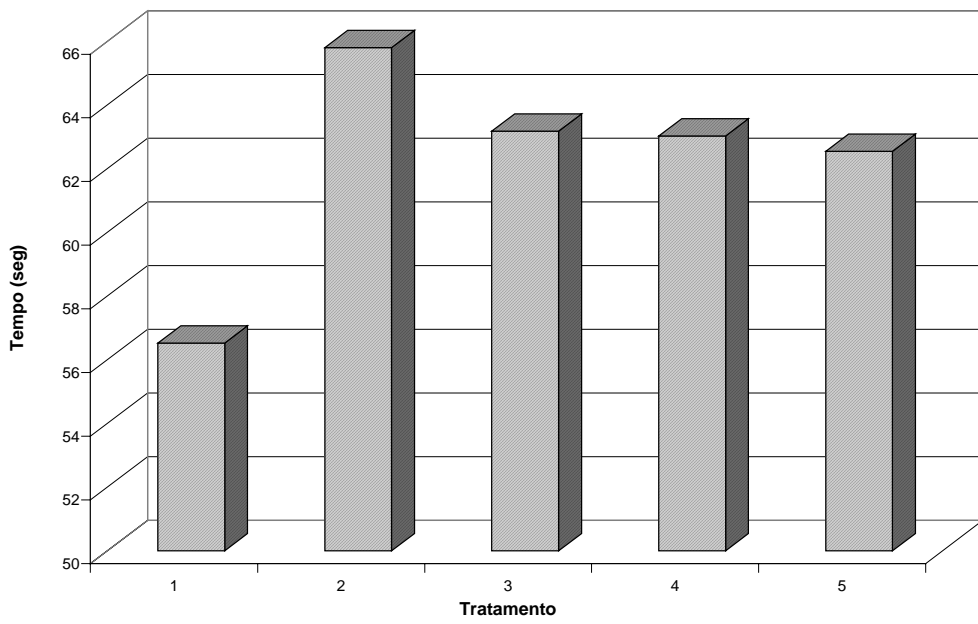


Figura 11 – Tempo de formação do bolo ruminal.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Entre março e julho de 1999, dez vacas com grau de sangue HPB variando de 7/8 a PC, entre a segunda e a quinta ordem de lactação, com peso entre 450 e 650 kg, foram submetidas a um ensaio em *switch back* de três períodos consecutivos, para avaliar a efetividade física de dietas sobre o consumo e a eficiência alimentares, o tempo médio de retenção e a digestibilidade das dietas, os parâmetros fisiológicos ruminais, o desempenho produtivo e o comportamento ingestivo. Os animais foram estabulados individualmente em sistema *tie stall*, no Setor de Bovinocultura de Leite da UFV, e arraçoados duas vezes ao dia com rações totais isonutricionais, constituídas de feno de capim tifton (50,4%) e ração concentrada à base de milho e soja (49,6%). O feno para compor as dietas totais foi moído em moinho comercial dotado de peneiras com malha de 3,2, 4,8, 7,9, 15,9 e 25,4 mm, e amostras de cada moagem foram submetidas ao separador de partículas modelo *Penn State*, para determinação do perfil de distribuição das partículas da fibra. Foram constituídos cinco tratamentos: T1 – 100% das partículas abaixo de 8 mm; T2 – 76% abaixo de 8 mm e 24% entre 8 e 19 mm; T3 – 36,7% abaixo de 8 mm, 26,6% entre 8 e 19 mm e 36,7% acima de 19 mm; T4 – 32% abaixo de 8 mm, 28% entre 8 e 19 mm e 40% acima de 19 mm; e T5 – 26% abaixo de 8 mm, 28% entre 8 e 19 mm e 46% acima de 19 mm.

A digestibilidade das dietas foi determinada mediante o uso da FDN indigerível como indicador e o tempo médio de retenção foi calculado usando o cromo mordante como marcador. A acidez e os ácidos graxos voláteis foram determinados em líquido de rúmen, coletado via sonda esofagiana. O comportamento foi avaliado por apreciação visual durante 48 horas ininterruptas, para cada período experimental.

Ao avaliar os resultados obtidos neste trabalho, foi possível fazer inúmeras inferências, obviamente levando em consideração as condições ambientais em que ele foi conduzido. O consumo alimentar não foi afetado pela efetividade física da ração, apesar de terem sido constatadas diferenças na digestibilidade e no trânsito da digesta, o que evidencia que a concentração e a natureza química da fibra dietética, mais do que a forma física, são as principais responsáveis na determinação da ingestão de alimentos.

A efetividade física exerceu efeito preponderante no trânsito das partículas dietéticas, observando-se que as dietas com maior efetividade física foram as que promoveram maior tempo de permanência da digesta no trato gastrointestinal dos animais.

Da forma como a efetividade física afetou os coeficientes de digestão da matéria seca, da matéria orgânica e da fibra, neste trabalho, percebe-se a necessidade de mais estudos com vistas à melhor compreensão das inter-relações entre o processamento dos ingredientes, o tamanho das partículas dietéticas e a digestibilidade das dietas.

As alterações constatadas nas concentrações molares e relativas dos principais ácidos graxos voláteis ruminais diante das diferenças nos níveis de efetividade física das dietas suportam a tese de que a natureza física das partículas dietéticas podem e devem ser consideradas como critérios para avaliar a efetividade das dietas ou de seus ingredientes.

A efetividade física da dieta promoveu variações substanciais no comportamento alimentar dos animais em teste, com conseqüências no desempenho produtivo e na composição do leite.

Uma análise conjunta de todos os parâmetros avaliados indica que o processamento dos ingredientes da dieta com redução no tamanho da partícula deve ser considerado criteriosamente, já que, de modo geral, as respostas mais positivas, tanto do ponto de vista metabólico quanto do desempenho, ocorreram quando os animais foram submetidos às dietas de efetividade física intermediária.

Por fim, os resultados aqui observados evidenciam que a efetividade física de dietas e de ingredientes, da forma como ela foi avaliada neste trabalho, é um processo relativamente fácil de ser determinado e pode ser empregado na análise de qualquer tipo de dieta utilizada para vacas leiteiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRC. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.
- ALBRIGHT, J.L. Feeding behaviour of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.2. p.485-498, 1993.
- ALDRICH, J.M., MULLER, L.D., VARGA, G.A. *et al.* Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1091, 1993.
- ALDRICH, J., AKEY, C. **Putting the carbohydrates and protein (amino acids) together for optimum profit and performance**. 1997. <http://www.das.cas.psu.edu/users/dairymap/publication/dadmc97/paper10.htm>. (18/04/98).
- ALLEN, M.S. **Fiber requirements for dairy cattle: how low can you go?** 1996. http://dairyext.tamu.edu/EXT_DATA/fiber_low.htm. (06/02/98).
- ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1447-1462, 1997.
- ALLEN, M.S., MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, v.118, n.1, p.261-270, 1988.

- AMERICAN DAIRY SCIENCE ASSOCIATION. A report: committee on classification of particle size in feedstuffs. **Journal of Dairy Science**, v.53, n.5, p.689-690, 1970.
- AMERICAN SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE. Summary of the minutes of the 61st Business Meeting of the American Society of Animal Science. **Journal of Animal Science**, v.29, n.2, p.1021-1023, 1969.
- ARMENTANO, L.E., PEREIRA, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1416-1425, 1997.
- ASH, R.W., DOBSON, A. The effect of absorption on the acidity of rumen contents. **Journal of Physiology**, v.169, n.1, p.39, 1963.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**, 15th ed., Arlington. 1990, 1117p.
- BAKER, L.D., FERGUSON, J.D., CHALUPA, W. Responses in urea and true protein of milk to different feeding schemes for dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.12, p.2424-2434, 1995.
- BALCH, C.C. Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristics of roughages. **British Journal Nutrition**, v.26, p.383, 1971.
- BALCH, D.A., ROWLAND, S.J. Volatile fatty acids and lactic acid in the rumen of dairy cows receiving a variety of diets. **British Journal of Nutrition**, v.11, n.2, p.288-298, 1957.
- BEAUCHEMIN, K.A. Using ADF and NDF in dairy cattle diet formulation - a western canadian perspective. **Animal Feed Science Technology**, v.58, n.1, p.101-111, 1996.
- BEAUCHEMIN, K.A., BUCHANAN-SMITH, J.G. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.72, n.9, p.2228, 1989.
- BEAUCHEMIN, K.A., McALLISTER, T.A., DONG, Y. *et al.* Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. **Journal of Animal Science**, v.72, n.2, p.236-246, 1994.

- BENSON, J.D., ASKEW, E.W., EMERY, R.S. *et al.* Metabolism of fatty acids by adipose tissue and liver of cows fed normal, restricted roughage, or MgO supplemented rations. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.1, p.83, 1972.
- BERGMAN, E.N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews**, v.70, n.2, p.567-590, 1990.
- BEZERRA, E.S., TIESENHAUSEN, I.M.E.V., OLIVEIRA, A.I.G. *et al.* Valor nutritivo de silagens de milho associado com sorgo, rebrotas de sorgo e milho. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, SBZ, v.22, n.6, p.1044-1054, 1993.
- BONDI, A. **Nutricion Animal**. Zaragoza: Acribia, 1988. 546p.
- BOURQUIN, L.D., GARLEB, K.A., MERCHEN, N.R. *et al.* Effects of intake and forage level on site and extent of digestion of plant cell wall monomeric components by sheep. **Journal of Animal Science**, v.68, n.12, p.2479-2495, 1990.
- BOWMAN, J.G.P., FIRKINS, J.L. Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization *in situ*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.7, p.1623, 1993.
- BUXTON, D. R., REDFEARN, D. D. Plant limitations to fiber digestion and utilization. *Journal of Nutrition*, v.127, p.814-818, 1997 (Supplement).
- CAMPLING, R.C. The intake of hay and silage by cows. **Journal British Grassland Society**, v.21, n.1, p.41-48, 1966.
- CARDOZA, R.S., MERTENS, D.R. Effect of fiber source and content on threshold size for passage and fecal particle distribution. **Journal of Dairy Science**, v.69, p.134, 1986 (Supplement 1).
- CECAVA, J.M., MERCHEN, N.R., GAY, L.C., BERGER, L.L. Composition of ruminal bacteria harvested from steers as influenced by dietary energy level, feeding frequency, and isolation technique. **Journal of Dairy Science**, v.73, p.2480-2488, 1990.
- CHENG, K.J., McALLISTER, T.A. Compartmentation in the rumen. In: HOBSON, P.N., STEWART, C. S. (Ed.) **The rumen microbial ecosystem**. 2.ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997, p.492-522.

- CHURCH, D.C. **The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition.** New Jersey: Prentice Hall, 1988. 564p.
- CLARK, P.W., ARMENTANO, L.E. Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.4, p.898-904, 1993.
- COPPOCK, C.E. Sistemas de alimentação e estratégias para o fornecimento de rações completas ("TMRS"). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO INTENSIVA DE LEITE, 2, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1995. p.1-10.
- CORBETT, L. Measuring animal performance. In: MANNETJE, L't. (Ed.) **Measurement of grassland vegetation and animal production.** CAB-International, Hurley, Berkshire, 1978, p.163-231.
- CZERKAWSKI, J.W. **An introduction to rumen studies.** Oxford: Pergamon Press, 1986. 236p.
- DADO, R.G., ALLEN, M.S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber on inert bulk. **Journal of Dairy Science**, v.77, n.1, p.132-144, 1994.
- DADO, R.G., ALLEN, M.S. Variation in relationships among feeding, chewing and drinking variables for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.1, p.118-1133, 1995.
- DE BOEVER, J.L., DE BRABANDER, D.L., DE SMET, A.M. *et al.* Evaluation of physical structure. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.6, p.1624-1634, 1993.
- DEHORITY, B.A., ORPIN, C.G. Development of, and natural fluctuations in, rumen microbial populations. In: HOBSON, P.N., STEWART, C.S. (Eds.) **The rumen microbial ecosystem.** 2.ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997, p.196-245.
- DePETERS, E.J., FERGUSON, J.D. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.14, p.3192-3209, 1992.
- DES BORDES, C.K., WELCH, J.G. Influence of specific gravity on rumination and passage of indigestible particles. **Journal of Animal Science**, v.59, n.2, p.470-475, 1984.

- DIJKSTRA, J.H., BOER, J. van B., BRUINING, M. *et al.* Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH, and rumen liquid volume. **British Journal of Nutrition**, v.69, n.2, p.385, 1993.
- DIXON, R.M., MILLIGAN, L.P. Removal of digesta components from the rumen of steers determined by sieving techniques and fluid, particulate and microbial markers. **British Journal of Nutrition**, v.53, n.2, p.347-362, 1985.
- EMERY, R.S. Feeding for increased milk protein. **Journal of Dairy Science**, v.81, n.4, p.825, 1978.
- FIRKINS, J. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1426-1437, 1997.
- FIRKINS, J. Maximizing microbial protein synthesis in the rumen. **Journal of Nutrition**, v.126, p.1347-1355, 1996 (Supplement).
- FISHER, D.S., BURNS, J.C., POND, K.R. Kinetics of *in vitro* cell wall disappearance and *in vivo* digestion. **Agronomy Journal**, v.81, n.1, p.25-33, 1989.
- FLINT, H.J., FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation in the rumen: Biochemistry and genetics. In: ENGELHARDT, W.W., LEONHARD-MAREK, S., BREVES, G. *et al.* (Eds.). **Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction**. Stuttgart: Enke, 1995. p.43-70.
- FORBES, J.M. Physical limitation of feed intake in ruminants and its interaction with other factors affecting intake. In: ENGELHARDT, W.W., LEONHARD-MAREK, S., BREVES, G. *et al.* (Eds.). **Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction**. Stuttgart: Enke, 1995. p.217-232.
- FRANCE, J., SIDDON, R.C. Volatile fatty acid production. In: FORBES, J.M., FRANCE, J. (Eds.). **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Wallingford: CAB International, 1993. p.107-121.
- GILL, M.S., CASTLE, M.E. The effects of the frequency of feeding concentrates on milk production and eating behaviour in ayrshire dairy cows. **Animal Production**, v.36, n.1, p.79-85, 1983.

- GRANT, R.J., COLENBRANDER, V.F., MERTENS, D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of particle size of alfafa hay. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.12, p.1823, 1990a.
- GRANT, R.J., COLENBRANDER, V.F., MERTENS, D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.12, p.1834, 1990b.
- HEINRICHS, J. **Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator**. Penn State Cooperative Extension Service. DAS 96-20. 1996.
- HERRERA-SALDAÑA, R., GOMES-ALARCON, R., TORABI, M. *et al.* Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and protein synthesis. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.1, p.142, 1991.
- HESPELL, R.B., BRYANT, M.P. Efficiency of rumen microbial growth: influence of some theoretical and experimental factor's on Y_{ATP} . **Journal of Animal Science**, v.49, n.6, p.1640-1659, 1979.
- HOBSON, P.N., STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. 2.ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997, 719p.
- HODEN, A., COULON, J.B., FAVERDIN, P. Alimentação de vacas leiteiras. In: JARRIGE, R. (Ed.) **Alimentação de bovinos, ovinos e caprinos**. Paris: INRA, 1988. p.132-154.
- HOMAN, E.J., WATTIAUX, M.A. **Technical dairy guide: lactation and milking**. 2.ed. Madison: University of Wisconsin, 1996. 94p.
- HOOVER, W.H., STOKES, S.R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.12, p.74, 1991.
- HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York: Academic Press, 1966.
- HUTJENS, M.F. Considerações sobre a alimentação de vacas leiteiras de alta produção. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO INTENSIVA DE LEITE, 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1994. p.1-9.

- HUTJENS, M.F. Feeding applications for the high producing cow. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 1995, Rochester. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1995. p.34-41.
- ILLIUS, A.W., JESSOP, N.S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, n.14, p.3052-3062, 1996.
- ISHLER, V., HEINRICHS, J., VARGA, G. **From feed to milk: understanding rumen function.** Willard Building: Penn State Cooperative Extension, 1996. 52p. (Extension Circular, 422).
- JACKSON, D.A., JOHNSON, C.L., FORBES, J.M. The effect of compound composition and silage characteristics on silage intake, feeding behaviour, production of milk and live weight change in lactating dairy cows. **Animal Production**, v.52, n.1, p.11-19, 1991.
- JASTER, T.R., MURPHY, M.R. Effects of varying particle size of forage on digestion and chewing behavior of dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, v.66, n.4, p.802-810, 1983.
- JENNY, B.F., POLAN, C.E. Postprandial blood glucose and insulin in cows fed high grain. **Journal of Dairy Science**, v.58, n.2, p.512, 1975.
- JENNY, B.F., POLAN, C.E., CHANDLER, P.T. Acetate and stearate utilization by lactating cows fed high grain restricted roughage rations. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.5, p.1481, 1972.
- KASKE, M., ENGELHARDT, W. von. The effect of size and density on mean retention time of particles in the gastrointestinal tract of sheep. **British Journal of Nutrition**, v.63, p.683, 1990.
- LAMMERS, B.P., BUCKMASTER, D.R., HEINRICHS, A.J.A. Simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, n.5, p.922-928, 1996.
- LANARA - Laboratório Nacional de Referência Animal. **Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. II. Métodos físicos e químicos.** Brasília: Ministério da Agricultura, s.n.p. 1981.
- LANGHANS, W., ROSSI, R., SCHARRER, E. Relationships between feed and water intake in ruminants. In: ENGELHARDT, W.W., LEONHARD-MAREK, S., BREVES, G. *et al.* (Eds.) **Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction.** Stuttgart: Enke, 1995. p.199-216.

- LENG, R.A., NOLAN, J.V. Nitrogen metabolism in the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.67, n.5, p.1072-1089, 1984.
- LOGGINS, P.E., AMMERMAN, C.B., MOORE, J.E. *et al.* Effect of feeding long hay or sodium bicarbonate with ground or pelleted diets high in citrus pulp on lamb performance. **Journal of Animal Science**, v.42, n.3, p.745, 1964.
- LUCAS, H.L. Critical features of good dairy feeding experiments. **Journal of Dairy Science**, v.43, n.3, p.193-212, 1960.
- LUCAS, H.L. Switch-back trials for more than two treatments. **Journal of Dairy Science**, v.39, n.2, p.146-154, 1956.
- MALAFAIA, P.A.M. **Consumo e digestão dos nutrientes, eficiência microbiana, produção e composição do leite em vacas alimentadas com rações contendo sebo bovino.** Viçosa: UFV, 1995. 95p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- McCARTHY, R.D., KLUSMEYER, T.H., VICINI, J.L. *et al.* Effects of sources of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.72, p.2002, 1989.
- MEHREZ, A.Z., ØRSKOV, E.R., McDONALD, I. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. **British Journal Nutrition**, v.38, p.437-443, 1977.
- MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.7, p.1463-1481, 1997.
- MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use and dairy rations explored. **Feedstuffs**, v.10, p.16-20. 2000.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization.** Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.450-493.
- MERTENS, D.R., LOFTEN, J.R. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.63, n.5, p.1437, 1980.

- MERTENS, D. Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES, 1996, Virginia. **Proceedings...** Virginia: US Dairy Forage Research Center, 1996. p.81-92.
- MICHALET-DOREAU, B., OULD-BAH, M.Y. *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen's degradability in the rumen: a review. **Animal Feed Science Technology**, v.40, p.57-86, 1992.
- MOONEY, C.S., ALLEN, M.S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linked cottonseed relative to that of alfalfa silage at two length's of cut. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.9, p.2052-2061, 1997.
- NOCEK, J.E. Feeding management of the postpartum cow. In: **Digestibilidade em ruminantes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. p.69-85.
- NRC. **Nutrient requirements of domestic animals. Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington: NAS, 1988.
- O'DELL, G.D., KING, W.A., COOK, W.C. Effect of grinding, pelleting, and frequency of feeding alfalfa hay or concentrate *ad libitum* as the sole feed for milking cows. **Journal of Dairy Science**, v.51, n.1, p.50, 1968.
- OKINE, E.K., KHORASANI, G.R., KENNELLY, J.J. Effects of cereal grain silage on chewing activity and reticular motility in early lactation cows. **Journal of Dairy Science**, v.77, n.5, p.1315-1325, 1994.
- OKINE, E.K., KHORASANI, G.R., KENNELLY, J.J. Effects of source of forage and level of concentrate on chewing activity and milk production response in late lactation cows. **Canadian Journal Animal Science**, v.77, n.2, p.253-258, 1997.
- OLIVEIRA, J.S., BARBOSA, D.R., CARDOSO, R.M. Determinação de ácidos graxos voláteis em fluido de rúmen por cromatografia de fase gasosa. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.16, n.5, p.426-441, 1997.
- OLTNER, R., WIKTOSSON, H. Urea concentration in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. **Livestock Production Science**, v.10, n.2, p.457, 1983.
- ØRSKOV, E.R. **Nutrición proteica de los rumiantes**. Zaragoza: Acribia, 1988. 178p.

- OWENS, F.N., GOETSCH, A.L. Ruminal fermentation. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition**. New Jersey: Prentice Hall, 1988. p.145-171.
- PELL, A.N., SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.4, p.1063-1073, 1993.
- PEREIRA, J.R.A., ROSSI JÚNIOR, P. **Manual prático de avaliação nutricional de alimentos**. Piracicaba: FEALQ, 1995, 34p.
- PIRES, M.F.A., VILELA, D., VERNEQUE, R.S. *et al.* Reflexos do estresse térmico no comportamento das vacas em lactação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.68-102.
- POND, K.R., ELLIS, W., MATIS, C. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal of Nutrition**, v.60, n.2, p.571-595, 1988.
- POPPI, D.P., HENDRICKSEN, R.E., MINSON, D.J. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. *Journal of Agricultural Science*, v.105, n.1, p.9, 1985.
- POPPY, D. P., NORTON, B. W., MINSON, D. J. *et al.* The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.94, n.2. p.275-280, 1980.
- ROSELER, D.K., FERGUSON, J.D., SNIFFEN, C.J. *et al.* Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.2, p.525-534, 1993a.
- ROSELER, D.K., FOX, D.G., CHASE, L.E. *et al.* Feed intake prediction and diagnosis in dairy cows. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 1993, Rochester. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1993b. p.216-226.
- RUSSELL, J.B., O'CONNOR, FOX, D.G. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992.
- SAEG. **Sistema de Análise Estatística e Genética**. Viçosa: UFV, 1996. 96p.

- SANTINI, F.J., HARDIE, A.R., JORGENSEN, N.A. Proposed use of adjusted intake based on forage particle length for calculation of roughage indexes. **Journal of Dairy Science**, v.66, p.811, 1983.
- SAUVANT, D. A comparative evaluation of models of lactating ruminant. **Annales du Zootechnie**, v.25, n.1, p.215-236, 1996.
- SAUVANT, D. Rumen mathematical modelling. In: HOBSON, P. N., STEWART, C.S. (Ed.) **The rumen microbial ecosystem**. 2.ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997. p.685-708.
- SHEARER, J.K. Lameness in dairy cattle: laminitis, claw disease, digital dermatitis, and foot rot. **Journal of Dairy Science**, v.79, p.189, 1996. (Supplement).
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos (Métodos químicos e biológicos)**. Viçosa: UFV, 1990. 165p.
- SILVA, P.H.F., PEREIRA, D.B.C., OLIVEIRA, L.L., COSTA JÚNIOR, L.C.G. **Físico química do leite e derivados – Métodos analíticos**. Juiz de Fora: Oficina de Impressão Gráfica e Editora Ltda., 1997. 190p.
- SMITH, L.W., WALDO, D.R. Method for sizing forage cell wall particles. **Journal of Dairy Science**, v.52, n.8, p.2051-2053, 1969.
- SNIFFEN, C.J., O'CONNOR, VAN SOEST, P.J. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and Protein Availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.
- SNIFFEN, C.J., ROBINSON, P.H. Symposium: Protein and fiber digestion, passage, and utilization in lactating cow. **Journal of Dairy Science**, v.70, n.2, p.425-441, 1987.
- SQUIRES, V.R. Water and its functions, regulation and comparative use by ruminant livestock. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Reston Book, 1988, p.217-226.
- STOKES, S.R. Particle size and ration uniformity: Is it important to the cow?. In: WESTERN CANADIAN DAIRY SEMINAR, 1997, Alberta. **Proceedings...** Stephenville: Texas A&M University, p.1-10, 1997.

- SUDWEEKS, E.M., ELY, L.O., MERTENS, D.R. *et al.* Assessing minimum amounts and form roughages in ruminal diets: roughages value index system. **Journal of Animal Science**, v.53, n.6, p.1406, 1981.
- SWAIN, S.M., ARMENTANO, L.E. Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2318-2331, 1994.
- SWAIN, S.M., VAUGHAN, K.K., ARMENTANO, L.E. Determining effectiveness of fiber in byproduct feeds compared to alfalfa silage. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.220, 1991. (Supplement).
- THORLACIUS, S.O., LODGE, G.A. Absorption of steam-volatile fatty acids from the rumen of the cow as influenced by diet, buffers, and pH. **Canadian Journal of Animal Science**, v.53, n.2, p.53, 1973.
- UDÉN, P. The influence of leaf and stem particle size *in vitro* and sample size in sacco on neutral detergent fiber fermentation kinetics. **Animal Feed Science Technology**, v.37, n.1, p.85, 1992.
- UDÉN, P., COLUCCI, P.E., VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal of Science Food Agriculture**, v.31, n.3, p.625-632, 1980.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Sistema de análises Estatísticas e genética-SAEG**. Viçosa-MG: UFV, 1995. (Apostila).
- USHIDA, K., LASSALAS, B., JOUANY, J.P. Determinations of assay parameters of RNA analysis in bacterial and duodenal samples by spectrophotometry. Influence of sample treatment and preservation. **Reprod. Nutr. Develop.**, v.25, p.1037-1046, 1985.
- VAN HORN, H.H. Maximizing milk production or minimizing cost with the use of byproduct feedstuffs. In: ANNUAL FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 8th, Gainesville. **Proceedings...** Gainesville, Florida: University of Florida, 1997. p.23-36.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2.ed. Ithaca: Comstock, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J. Ruminant fat metabolism with particular reference to factors affecting low milk fat and feed efficiency. A review. **Journal of Dairy Science**, v.46, n.1, p.204-216, 1963.

- 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.
- VARGA, G.A. Fiber in the ration: how effective should it be? In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 59th, 1997, Rochester. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1997. p.117-126.
- VARGA, G.A., KOLVER, E.S. Microbial and limitations to fiber digestion and utilization. **Journal of Nutrition**, v.127, p.819-823, 1997. (Supplement).
- VIEIRA, R.A.M. **Modelos matemáticos para estimativa de parâmetros da cinética de degradação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schum., cv. mineiro) em diferentes idades de corte**. Viçosa: UFV, 1995. 88p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- WALDO, D.R., SMITH, L.W. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.472, 1972.
- WEIDNER, S.J., GRANT, R.J. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.77, n.2, p.522-532, 1994.
- WEIGAND, E., YOUNG, J.W., MCGILLIARD, A.D. Extent of butyrate metabolism by bovine ruminoreticulum epithelium and the relationship to absorption rate. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.2, p.589, 1972.
- WELCH, J.G. Rumination, particle size and passage from the rumen. **Journal of Animal Science**, v.54, n.6, p.1582, 1982.
- WELCH, J.G., HOOPER, A.P. Ingestion of feed and water. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition**. Englewood Cliffs: Reston Book, 1988, p.108-116.
- 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, n.3, p.381-385, 1962.
- WOODFORD, S.T., MURPHY, M.R. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.2, p.564, 1988.

WOODFORD, J.A., JORGENSEN, N.A., BARRINGTON, G.P. Impact of dietary fiber and physical form on performance of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.69, n.5, p.1035, 1986.

YOKOYAMA, M.T., JOHNSON, K.A. Microbiology of the rumen and intestine. In: CHURCH, D.C. (Ed.) **The Ruminant animal. Digestive physiology and nutrition**. New Jersey: Prentice Hall, 1988. p.125-144.

ZINN, R.A., OWENS, F.N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. **Canadian Journal Animal Science**, v.66, n.1, p.157-166, 1986.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Tabela 1A - Planilha para coleta de dados de comportamento em cada período

| Horário | Atividade | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8:00 | Comendo | | | | | | | | | | |
| | Ruminando | | | | | | | | | | |
| | Bebendo | | | | | | | | | | |
| | Ócio | | | | | | | | | | |
| 8:05 | Outras | | | | | | | | | | |
| | Comendo | | | | | | | | | | |
| | Ruminando | | | | | | | | | | |
| | Bebendo | | | | | | | | | | |
| 8:10 | Ócio | | | | | | | | | | |
| | Outras | | | | | | | | | | |
| | Comendo | | | | | | | | | | |
| | Ruminando | | | | | | | | | | |
| 8:15 | Bebendo | | | | | | | | | | |
| | Ócio | | | | | | | | | | |
| | Outras | | | | | | | | | | |
| | Comendo | | | | | | | | | | |
| 8:20 | Ruminando | | | | | | | | | | |
| | Bebendo | | | | | | | | | | |
| | Ócio | | | | | | | | | | |
| | Outras | | | | | | | | | | |

Tabela 2A - Planilha para registro do número de mastigações merísticas por bolo formado e tempo (seg) gasto para a formação de cada bolo

| Animal | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Primeira observação | | | | | | | | | | |
| Mastig./bolo | | | | | | | | | | |
| Tempo/bolo | | | | | | | | | | |
| Segunda observação | | | | | | | | | | |
| Mastig./bolo | | | | | | | | | | |
| Tempo/bolo | | | | | | | | | | |
| Terceira observação | | | | | | | | | | |
| Mastig./bolo | | | | | | | | | | |
| Tempo/bolo | | | | | | | | | | |
| Tempo/bolo | | | | | | | | | | |

Tabela 3A - Valores de quadrado médio (QM), níveis de significância e coeficiente de variação dos parâmetros estudados

| Parâmetro | QM | F | Signif. | C.V. |
|--|----------|--------|---------|--------|
| Consumo de ração (kg/cab/dia) | 4,498440 | 0,602 | - | 12,347 |
| Consumo de MS (kg/cab/dia) | 3,664930 | 0,602 | - | 12,347 |
| Consumo de ração (%/pv) | 0,328931 | 2,374 | 0,08060 | 9,314 |
| Consumo de MS (%/pv) | 0,267984 | 2,374 | 0,08060 | 9,314 |
| Conversão alimentar | 0,034992 | 0,656 | - | 20,538 |
| Consumo de ração (g/kgpv ^{0,75}) | 498,8002 | 1,646 | 0,19537 | 8,989 |
| Consumo de MS (g/kgpv ^{0,75}) | 406,3781 | 1,646 | 0,19537 | 8,989 |
| Consumo de PB (kg/cab) | 0,047321 | 0,529 | - | 12,392 |
| Consumo de PB (g/kgpv ^{0,75}) | 5,179561 | 1,211 | 0,33216 | 9,788 |
| Consumo de FDN (kg/cab) | 1,176491 | 0,727 | - | 13,868 |
| Consumo de FDN (g/kgpv ^{0,75}) | 121,0144 | 1,804 | 0,16096 | 10,210 |
| Consumo de FDA (kg/cab) | 0,189792 | 0,586 | - | 14,268 |
| Consumo de FDA (g/kgpv ^{0,75}) | 22,54728 | 1,665 | 0,19086 | 10,554 |
| Consumo de M.O. (kg/cab) | 3,553616 | 0,539 | - | 12,289 |
| Consumo de M.O. (g/kgpv ^{0,75}) | 462,3501 | 1,722 | 0,17805 | 8,961 |
| Consumo de CNE (kg/cab) | 0,500701 | 0,495 | - | 11,274 |
| Consumo de CNE (g/kgpv ^{0,75}) | 88,84202 | 2,102 | 0,11198 | 8,327 |
| Tempo médio de retenção | 234,7770 | 3,886 | 0,01427 | 13,933 |
| Digestibilidade da matéria seca | 129,6472 | 3,591 | 0,01974 | 9,254 |
| Digestibilidade da matéria orgânica | 121,2225 | 3,485 | 0,02220 | 8,958 |
| Digestibilidade da proteína bruta | 81,18441 | 1,393 | 0,26619 | 11,014 |
| Digestibilidade da FDN | 139,1142 | 6,351 | 0,00124 | 7,566 |
| Digestibilidade da FDA | 271,3029 | 10,237 | 0,00006 | 9,618 |
| Digestibilidade dos CNE | 190,6035 | 2,295 | 0,08863 | 13,235 |
| Concentração de ac.acético 0 h | 27,62961 | 10,535 | 0,00005 | 3,155 |
| Concentração de ac.acético 2 h | 47,39521 | 13,363 | 0,00000 | 3,503 |
| Concentração de ac.acético 4 h | 210,6700 | 4,479 | 0,00761 | 13,180 |
| Concentração de ac.acético 6 h | 12,71289 | 5,926 | 0,00183 | 2,746 |
| Concentração de ac.propiônico 0 h | 14,93356 | 2,903 | 0,04312 | 17,348 |
| Concentração de ac.propiônico 2 h | 10,60472 | 0,799 | - | 26,072 |
| Concentração de ac.propiônico 4 h | 72,98954 | 9,937 | 0,00007 | 20,030 |
| Concentração de ac.propiônico 6 h | 45,68436 | 4,157 | 0,01068 | 23,634 |
| Concentração de ac.butírico 0 h | 7,850723 | 7,659 | 0,00040 | 13,949 |
| Concentração de ac.butírico 2 h | 0,817345 | 0,926 | - | 12,096 |
| Concentração de ac.butírico 4 h | 1,354356 | 1,120 | 0,37045 | 13,229 |
| Concentração de ac.butírico 6 h | 2,806027 | 3,161 | 0,03203 | 13,533 |
| Concentração % ac.acético - 0 h | 37,53832 | 14,153 | 0,00000 | 2,271 |

Tabela 3A, Cont.

| Parâmetro | QM | F | Signif. | C.V. |
|-------------------------------------|-----------|--------|---------|--------|
| Concentração % ac.acético - 2 h | 20,48841 | 2,324 | 0,08560 | 4,161 |
| Concentração % ac.acético - 4 h | 32,47965 | 4,138 | 0,01089 | 3,985 |
| Concentração % ac.acético - 6 h | 47,15549 | 5,755 | 0,00215 | 3,973 |
| Concentração % ac.propiônico - 0 h | 16,49580 | 2,025 | 0,12296 | 15,695 |
| Concentração % ac.propiônico - 2 h | 13,59722 | 1,114 | 0,37290 | 19,059 |
| Concentração % ac.propiônico - 4 h | 55,92772 | 6,796 | 0,00083 | 15,894 |
| Concentração % ac.propiônico - 6 h | 36,61035 | 3,169 | 0,03174 | 18,224 |
| Concentração % ac.butírico - 0 h | 10,36437 | 4,835 | 0,00529 | 14,517 |
| Concentração % ac.butírico - 2 h | 3,350784 | 2,660 | 0,05734 | 10,882 |
| Concentração % ac.butírico - 4 h | 30,60647 | 4,868 | 0,00511 | 21,523 |
| Concentração % ac.butírico - 6 h | 2,277725 | 1,501 | 0,23338 | 13,238 |
| Relação acetato:propionato - 0 h | 1,513451 | 2,648 | 0,05812 | 18,547 |
| Relação acetato:propionato - 2 h | 0,649875 | 0,783 | - | 22,468 |
| Relação acetato:propionato - 4 h | 3,574625 | 7,099 | 0,00064 | 17,341 |
| Relação acetato:propionato - 6 h | 2,450996 | 3,992 | 0,01273 | 19,383 |
| pH ruminal - 0 h | 0,050312 | 0,647 | - | 4,070 |
| pH ruminal - 2 h | 0,548533 | 0,554 | - | 4,659 |
| pH ruminal - 4 h | 0,358583 | 0,562 | - | 3,753 |
| pH ruminal - 6 h | 0,231283 | 0,340 | - | 3,890 |
| Produção de leite | 23,69855 | 3,098 | 0,03444 | 12,903 |
| Produção láctea de gordura | 11002,65 | 1,164 | 0,35155 | 14,503 |
| Teor láctea de gordura | 0,569071 | 3,189 | 0,03100 | 11,218 |
| Produção láctea de sólidos totais | 2256,923 | 1,844 | 0,15325 | 12,737 |
| Teor láctea de sólidos totais | 1,218240 | 2,573 | 0,06352 | 5,350 |
| Acidez do leite | 3,118875 | 2,485 | 0,07053 | 6,683 |
| Concentração láctea de uréia (mun) | 0,741293 | 1,119 | 0,37065 | 2,916 |
| Ingestão de alimentos min/dia | 1652,0170 | 4,452 | 0,00782 | 6,602 |
| Ingestão de alimentos min/dia/kgMS | 9,7293000 | 1,898 | 0,14353 | 15,275 |
| Ingestão de alimentos min/dia/kgFDN | 56,091250 | 1,952 | 0,13435 | 16,546 |
| Ruminação min/dia | 13414,410 | 9,778 | 0,00008 | 7,918 |
| Ruminação min/dia/kg MS | 23,124970 | 1,808 | 0,16012 | 15,110 |
| Ruminação min/dia/kg FDN | 105,6034 | 1,465 | 0,24400 | 16,422 |
| Consumo de água min/dia | 298,8022 | 3,020 | 0,03766 | 40,954 |
| Outras atividades min/dia | 19932,75 | 12,143 | 0,00002 | 6,175 |
| Tx, Mastigação mastig./bolo | 82,82519 | 7,775 | 0,00036 | 5,581 |
| Tx, Mastigação mastig./min | 46,33567 | 3,739 | 0,01677 | 6,229 |
| Tx, Mastigação mastig./dia/kg MS | 110320,7 | 2,259 | 0,09255 | 16,517 |
| Tx, Mastigação mastig./dia/kg FDN | 485737,8 | 1,802 | 0,16143 | 17,766 |
| Tempo de mastigação | 70,37738 | 5,755 | 0,00215 | 5,621 |

APÊNDICE B

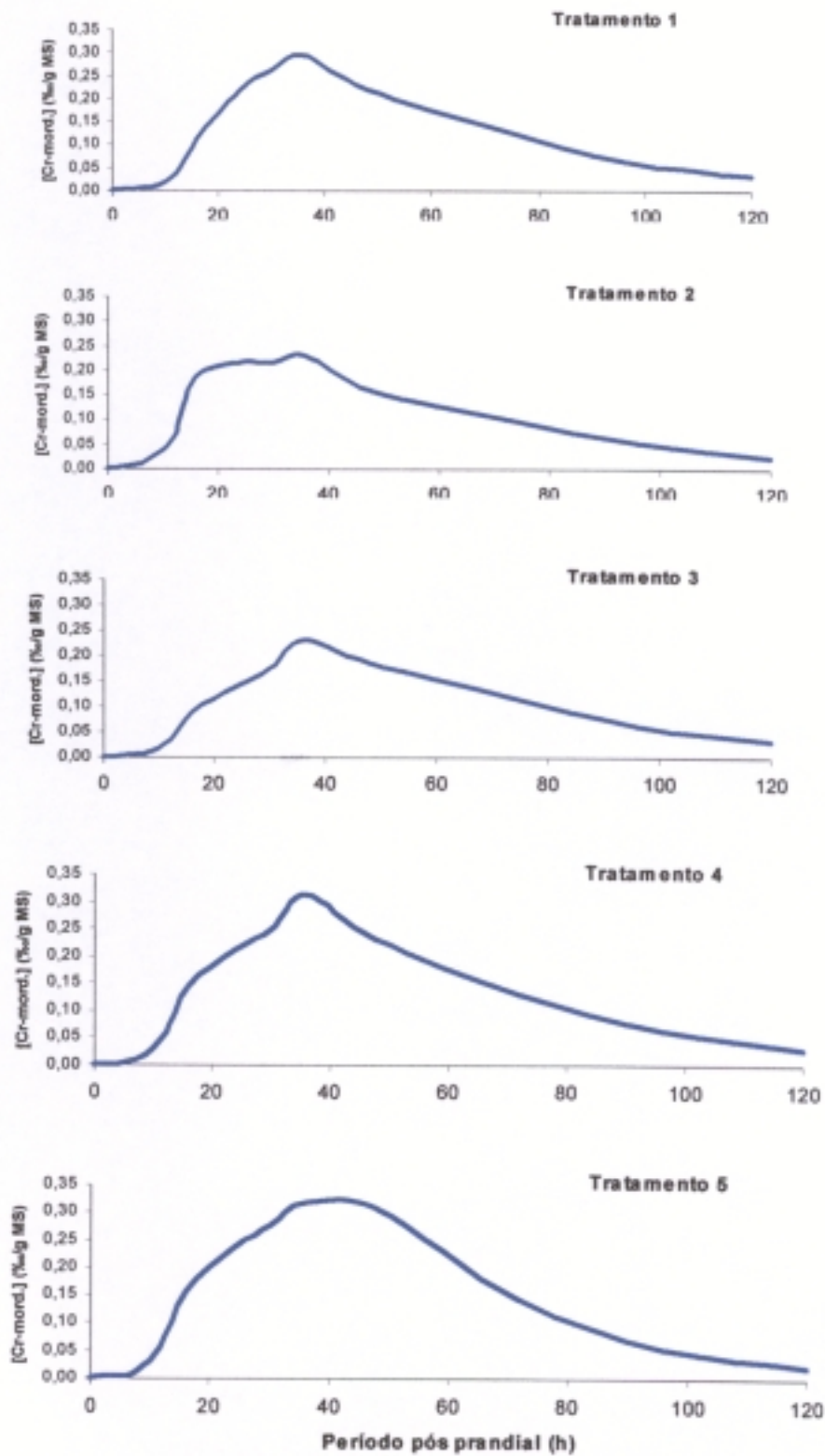


Figura 12 - Curvas de recuperação do cromo mordante.