

CLAUDILENE LIMA DE ABREU

AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE TRÂNSITO GASTRINTESTINAL DE
VOLUMOSOS UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS E
INDICADORES EM BOVINOS

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

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

T

A162a
2008

Abreu, Claudilene Lima de, 1982-

Avaliação da cinética de trânsito gastrointestinal de
volumosos utilizando diferentes modelos matemáticos e
indicadores em bovinos / Claudilene Lima de Abreu.

– Viçosa, MG, 2008.

xiii, 50f. : il. ; 29cm.

Orientador: José Carlos Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 44-50.

1. Bovino - Alimentação e rações. 2. Dinâmica. 3. Fibras
na nutrição animal. 3. Sistema gastrointestinal. 4. Indicadores
biológicos. 5. Marcadores bioquímicos. 6. Modelos
matemáticos. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 636.2085

CLAUDILENE LIMA DE ABREU

AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE TRÂNSITO GASTRINTESTINAL DE
VOLUMOSOS UTILIZANDO DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS E
INDICADORES EM BOVINOS

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

APROVADA: 30 de julho de 2008.

Dr. Fernando de Paula Leonel

Dr. Daniel de Noronha Figueiredo
Vieira da Cunha

Dr. Rogério de Paula Lana

Dr. Edenio Detmann
Co-Orientador

Dr. José Carlos Pereira
Orientador

DEDICO

Aos meus “AMADOS” pais, Neila e Rosalino.

Aos meus queridos irmãos, Claudia e Carlos.

AGRADECIMENTOS

Ao onipotente e onipresente pai, “Deus”, que me deu a oportunidade de viver e transformar o meu sonho em realidade.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do seu Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização deste curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio financeiro concedido.

Aos meus “AMADOS” pais, Neila Lima de Abreu e Rosalino Bica de Abreu, pelo exemplo de caráter, de conduta, de sensibilidade, de dignidade que ambos representam para mim, e por serem, acima de tudo, os meus maiores e melhores amigos.

Aos meus queridos irmãos, Claudia Lima de Abreu e Carlos Lima de Abreu, pelo incentivo e apoio oferecido, e por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao meu orientador professor Dr. José Carlos Pereira, pelo exemplo profissional, pelos conhecimentos adquiridos em seus ensinamentos, pela seriedade em que conduziu e conduz seus trabalhos, pelo apoio oferecido, pela sua confiança e, acima de tudo, PELA AMIZADE.

Ao professor Augusto César de Queiroz, por ter contribuído positivamente na realização desse sonho.

Ao professor Edenio Detmann, pela excelente capacidade de oferecer o conhecimento (ensinar) e pela contribuição prestada neste trabalho.

Ao Dr. Marinaldo Divino Ribeiro, pelo projeto de pós-doutorado que viabilizou a execução deste trabalho, pelo apoio, incentivo, compreensão e amizade.

Ao professor Juquinha, pela ajuda prestada ao fornecer o feno de rami, viabilizando parte da pesquisa com essa forragem.

Aos grandes amigos, Ana Gabriela, Francine Bonatti, Guilherme Moura e Wender Souza, pela colaboração, convivência, apoio nos momentos difíceis, distração, por serem pessoas extraordinárias e pela “grande amizade” a mim demonstrada.

Ao Dr. Marcone Costa, pelo apoio, amizade e confiança, confiança essa em ceder até o azulão (fusquinha), durante o período experimental, para as coletas de amostras em noites frias.

Aos estagiários: Agenor, Gustavo, Leandro, Juninho e Vanessa, pelo apoio e pela amizade.

A todos os professores e amigos da Universidade Federal de Viçosa – UFV, por esses dois anos juntos adquirindo conhecimentos e principalmente amizade.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dos momentos da minha vida no mestrado, tornando possível o que ontem era um sonho e hoje a realidade.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

“Siga sempre em frente com força e coragem na conquista de seus ideais, e nunca deixe de sonhar. É a possibilidade de realizarmos um sonho que torna a vida mais linda”.

Claudilene

BIOGRAFIA

Claudilene Lima de Abreu, filha de Neila Lima de Abreu e Rosalino Bica de Abreu, nasceu em Aquidauana, estado de Mato Grosso do Sul, em 04 de maio de 1982.

Em agosto de 2001, foi aprovada no vestibular da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, onde iniciou o curso de Graduação em Zootecnia, obtendo o título de Zootecnista, cuja colação de grau se deu em 18 de agosto de 2006.

Em agosto de 2006, foi aprovada no processo de seleção do curso de Pós-Graduação – Mestrado em Zootecnia – na Universidade Federal de Viçosa: UFV, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, defendendo a dissertação em 30 de Julho de 2008.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Características da fibra de fontes volumosas em relação à taxa de passagem.....	5
2.1.1 Silagem de milho.....	7
2.1.2 Cana-de-açúcar.....	7
2.1.3 Feno de rami.....	8
2.1.4 Feno de tífton.....	8
2.2 Cinética de trânsito	9
2.3 Indicadores para o estudo da cinética de trânsito	11
2.4 Modelos matemáticos para a estimação de parâmetros da cinética de trânsito	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Local	21
3.2 Animais, tratamentos e instalações	21
3.3 Cinética de trânsito	22
3.3.1 Cinética de partículas	23
3.3.2 Cinética de fluídos	24
3.3.3 Modelos matemáticos	25

3.4 Procedimentos estatísticos	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5 CONCLUSÃO	43
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química dos alimentos	22
Tabela 2 – Composição do suplemento concentrado	22
Tabela 3 – Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de partículas utilizando o cromo como indicador	30
Tabela 4 – Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de partículas utilizando o itérbio como indicador	31
Tabela 5 - Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de fluidos utilizando o Cobalto-EDTA como indicador	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando cromo como indicador.....	34
Figura 2 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando cromo como indicador.....	35
Figura 3 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando itérbio como indicador.....	36
Figura 4 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando itérbio como indicador.....	37
Figura 5 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando Cobalto-EDTA como indicador.....	40
Figura 6 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando Cobalto-EDTA como indicador.....	41

RESUMO

ABREU, Claudilene Lima de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008.
Avaliação da cinética de trânsito gastrintestinal de volumosos utilizando diferentes modelos matemáticos e indicadores em bovinos. Orientador: José Carlos Pereira. Co-Orientadores: Augusto César de Queiroz e Edenio Detmann.

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a cinética de trânsito gastrintestinal de volumosos utilizando diferentes modelos matemáticos e indicadores em bovinos. Utilizou-se quatro novilhos Holandês-Zebu, fistulados no rúmen, distribuídos em delineamento experimental quadrado latino 4 x 4, e mantidos em confinamentos em baias individuais recebendo diariamente 1 kg de concentrado e volumoso à vontade. Os tratamentos experimentais foram constituídos de quatro fontes de fibra, sendo elas: silagem de milho (*Zea mays*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), feno de rami (*Boehmeria nivea*) e feno de tifton (*Cynodon spp*). O concentrado das dietas foi constituído de milho triturado, farelo de soja, uréia e suplemento mineral. Foram utilizados os modelos $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, proposto por Grovum e Williams (1973), $G_1(n) \rightarrow O$ proposto por Dhanoa et al. (1985) e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ proposto por Pond et al. (1988) para estimativa de taxa de passagem de partículas e os modelos $G_1 \rightarrow$ proposto por Colluci et al. (1990) e $G_2 \rightarrow$ proposto por Ellis et al. (1994), para estimativa de taxa de passagem de fluidos. Utilizou-se o cromo mordente e itérbio como indicadores de fase sólida e cobalto-EDTA como indicadores de fase líquida. As comparações entre modelos foram efetuadas por meio de análise dos resíduos padronizados e o desvio padrão assintótico. Dentre os modelos e marcadores estudados, para avaliar a cinética de partículas, o modelo $G_1(n) \rightarrow O$ (multicompartimental, proposto por DHANOA et al., 1985) e o indicador cromo registraram melhor ajuste, para a taxa de passagem de partículas de fontes de fibra distintas. O modelo $G_2 \rightarrow$ (tempo-independente, proposto por Ellis et al. 1994) obteve melhores resultados, comprovando que existe a dependência do tempo para que haja uma mistura dos fluidos já existentes com os que estão sendo inseridos no compartimento.

ABSTRACT

ABREU, Claudilene Lima de, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2008.
Evaluation of kinetics of gastrointestinal transit of bulky using different mathematical models and indicators in cattle. Advisor: José Carlos Pereira. Co-advisors: Augusto César de Queiroz and Edenio Detmann.

The objective of this research was to assess the kinetics of gastrointestinal transit of bulky using different mathematical models and indicators in cattle. It was used four Flemish-Zebu steers, fistulated in the rumen, distributed in experimental design 4 x 4 Latin square, and kept in confinement in individual stalls receiving daily 1 kg of concentrate and forage freely. The experimental treatments consisted of four sources of fiber, which were: silage corn (*Zea mays*), sugar cane (*Saccharum officinarum*), hay of ramie (*Boehmeria nivea*) and hay from tifton (*Cynodon spp*). The concentrate diet consisted of ground corn, soybean meal, urea and mineral supplement. We used the models $G1 \rightarrow G1 \rightarrow O$, proposed by Grovum and Williams (1973), $G1(n) \rightarrow$ The proposed by Dhanoa et al. (1985) and $G2 \rightarrow G1 \rightarrow$ The proposed by Pond et al. (1988) to estimate the passage rate of particles and the models proposed by $G1 \rightarrow$ Colluci et al. (1990) and $G2 \rightarrow$ proposed by Ellis et al. (1994) to estimate the rate of movement of fluids. We used the chrome mordant and Ytterbium as indicators of solid phase and cobalt-EDTA as indicators of the liquid phase. Comparisons between models were made by means of waste analysis and standard deviation standardized asymptotic. Among the models and markers studied to assess the kinetics of particles, the model $G1(n) \rightarrow O$ (multicompartmental, proposed by Dhanoa et al., 1985) and the indicator registered chrome best fit for the passage rate of particles from sources Fiber distinct. The model $G2 \rightarrow$ (time-independent, proposed by Ellis et al. 1994) obtained better results, showing that the dependence of time to have a mixture of fluids existing with being inserted into the compartment.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil há grande disponibilidade de forragens diferenciadas que podem suprir, no todo, ou em parte, as exigências nutricionais dos animais, dependendo da categoria animal e do nível de produção desejado. Essa potencialidade pode se expressar em maior ou menor grau, dependendo do valor nutritivo, que é conferido de acordo com a espécie forrageira, período do ano, manejo ideal das pastagens, entre outros fatores. Portanto a utilização de alimentos volumosos, seja ensilados, fenados ou até mesmo *in natura*, podem apresentar excelentes resultados, atendendo às necessidades básicas de alimentação dos animais e proporcionando incremento em seu desempenho.

Em geral, os alimentos possuem a capacidade de fornecer nutrientes necessários ao desenvolvimento do animal, isto devido às suas características intrínsecas. Entretanto, alimentos volumosos constituem a base da alimentação dos animais ruminantes, e, em geral, são caracterizados pelo alto teor de fibra. O estudo desta fibra na formulação de rações é de grande importância, pois, conforme Mertens (1992), o seu conteúdo está relacionado com a digestibilidade e o valor energético do alimento e com a fermentação ruminal, podendo estar também envolvido na ingestão de alimento; fatores diretamente relacionados com a produtividade animal.

A utilização de fibra proveniente de volumosos com características diferentes resulta em transformações digestivas e aproveitamento diferenciado dos nutrientes pelos animais. O aporte de nutrientes em variedade e quantidade adequadas às exigências da categoria animal é diretamente dependente do consumo voluntário de matéria seca. Especialmente quando a dieta é composta por forragem de média a baixa qualidade, o consumo de matéria seca pode ser limitado pela repleção ruminal (Mertens, 1987; Oshita et al., 2004). Contudo, a capacidade de digestão está relacionada com as taxas de passagem,

de degradação e de absorção dos produtos oriundos dessa dinâmica (Van Soest, 1994). Logo, os alimentos que chegam ao rúmen passam por dois mecanismos que determinam seu aproveitamento no trato gastrintestinal, a degradação e a passagem para compartimentos inferiores.

A passagem está relacionada com o consumo, processamento e tipo de alimento consumido, influenciando na disponibilidade dos nutrientes para o animal e produzindo efeitos no balanço de fermentação ruminal (Russell et al., 1992). Os principais fatores determinantes da taxa de passagem são o tamanho e a gravidade específica das partículas (Luginbuhl et al., 1990; Okine e Mathison, 1991; Neel et al., 1995; Hristov et al., 2003; Oshita et al., 2004; Ellis et al., 2005), pois determinam, o tempo que o alimento permanece na câmara fermentativa ruminal, formada pelos compartimentos rúmen-retículo, e sua distribuição pelas diferentes regiões da mesma.

A taxa de remoção da digesta ruminal afeta a extensão da digestão protéica (Ørskov e McDonald, 1979), a digestão da parede celular e, conseqüentemente, a digestibilidade *in vivo* da dieta (Allen & Mertens, 1988; Van Soest, 1994) e a eficiência de síntese de proteína microbiana (Sniffen & Robinson, 1987), o que justifica a importância de se estudar a cinética de passagem das partículas. Portanto, digestão e passagem atuam de forma simultânea e competitiva para a remoção da digesta presente no rúmen, devendo-se, então, estudar os efeitos combinados de digestão e taxa de passagem para maximizar o consumo de nutrientes digestíveis.

A estimativa da cinética de trânsito de partículas no trato gastrintestinal de ruminantes tem sido realizada, normalmente, por intermédio de indicadores complexados com a fração fibrosa do alimento, em procedimento de dose única, com amostragens fecais subseqüentes em intervalos de tempo pré-definidos, visando à caracterização da curva de excreção deste indicador, a qual é submetida ao ajuste de modelos não-lineares por processos iterativos.

Para que se obtenham estas estimativas do valor nutritivo dos alimentos, bem como de fatores biológicos (taxa de passagem), é necessária a utilização de modelos matemáticos apropriados com a finalidade de expressar, com coerência, o sistema estudado. Modelos matemáticos aplicados ao tema deste trabalho são constituídos de uma equação ou conjunto de equações que buscam representar o comportamento do sistema do trato gastrintestinal, mais especificamente a cinética de trânsito dos componentes da dieta.

O conhecimento do modelo que melhor descreve a passagem do material marcado, ajuda no entendimento de como o material flui através do trato gastrintestinal (Quiroz et

al., 1988). Entretanto, diversos modelos já foram desenvolvidos, assumindo-se a existência de uma cinética de primeira ordem para o desaparecimento do indicador. Porém, com a intensificação das pesquisas, foi verificado que devido à heterogeneidade entre alimentos no que se refere à sua constituição química, estes poderiam apresentar comportamento que se afastava do exponencial, o que levou à elaboração de modelos mais complexos.

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a cinética de trânsito gastrointestinal de volumosos utilizando diferentes modelos matemáticos e indicadores em bovinos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O valor nutritivo de um alimento é determinado pelo seu conteúdo de entidades químicas e suas transformações em nutrientes necessários ao animal. As transformações digestivas são determinadas por atributos intrínsecos do alimento e por interações com os processos cinéticos de digestão. As expressões quantitativas da cinética de digestão e passagem são necessárias para estimar mais precisamente a quantidade e a composição de nutrientes digeridos do alimento e sua eficiência subsequente de utilização pelo animal.

Os volumosos oferecidos a bovinos devem possuir teor adequado de fibra que confere a mastigação, ruminação e saúde do rúmen. Essa mesma fibra é usada como fonte de energia pelos microrganismos, os quais produzem ácidos graxos voláteis que são absorvidos pela parede epitelial do rúmen.

No estudo do rúmen, Czerkawsky (1986) emitiu o conceito de compartimento, em que aquele órgão seria um espaço geométrico delimitado, que envolve um conteúdo homogêneo. Esse compartimento apresenta movimentos seqüenciais e periódicos, com a finalidade de misturar e homogeneizar todo o material em seu interior. Desta forma, o rúmen se caracteriza por apresentar um fluxo de entrada de alimento, água e saliva, que são agrupados ao material em fermentação já existente no interior, e um fluxo de saída equivalente, contendo produtos metabólicos provenientes da digestão, resíduos de alimentos e microrganismos. O sistema microbiano ativo é mantido pelo suprimento de alimento, e as condições dentro do rúmen são reguladas pelos processos de ruminação, eructação, suprimento de saliva, movimento ruminal e absorção de ácidos.

A estimativa da cinética de trânsito de partículas e fluidos em ruminantes tem sido realizada por métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos apresentam certas limitações técnicas, que requerem evacuações totais do rúmen e resultam em estimativas mais

acuradas para tempo de retenção ruminal (Stensig et al., 1998), embora não haja consenso sobre o assunto (Firkins, 1997). Nos métodos indiretos utilizam-se indicadores complexados com a fração fibrosa do alimento, em procedimento de dose única, com amostragens fecais subseqüentes em intervalos de tempo pré-definidos, nas quais são analisadas as concentrações do elemento químico. Posteriormente, a curva das concentrações do indicador, nas amostras coletadas em função do tempo transcorrido desde a sua administração, é interpretada matematicamente por intermédio de um modelo não-linear, que visa à quantificação dos parâmetros relacionados à dinâmica da passagem das partículas no trato gastrointestinal (Lascano e Quiroz, 1990).

Nos primeiros estudos, os marcadores de partículas utilizados eram tinturas; porém, esta técnica se mostrou ineficiente e deu lugar à utilização dos lantanídeos ou terras raras (Cério – Ce, Itérbio – Yb, Praseodímio – Pr, Európio – Eu, etc.), que se caracterizaram por aderirem mais firmemente às partículas alimentares (Lascano e Quiroz, 1990). Esses elementos podem ser utilizados na forma radioativa, embora suas mensurações sejam mais difíceis de operacionalizar, sendo Yb o mais usado (Ellis et al., 1979). Outro elemento metálico de larga utilização é o Cromo (Cr), que é complexado à fração fibrosa do alimento, comumente chamado de cromo-mordente (Udén et al., 1980, Lascano & Quiroz, 1990). A maior vantagem de utilizar do cromo reside no fato de que sua leitura é relativamente rotineira nos laboratórios de nutrição animal.

De acordo com Udén et al., (1980), os indicadores não devem ser absorvidos durante a passagem pelo trato digestivo, não devem afetar ou ser afetado pelos processos digestivos, devem ser auxiliados a partir de métodos simples e estar intimamente ligado e não se separar das respectivas frações marcadas.

O conhecimento da dinâmica do fluxo dos diferentes componentes da digesta no rúmen-retículo é de fundamental importância em modelos de nutrição de ruminantes, que almejam acuradas predições de relacionamentos entre dieta, suprimento de nutrientes e performance animal (Offer & Dixon, 2000).

2.1 Características da fibra de fontes volumosas em relação à taxa de passagem

Weiss (1999) definiu a fibra como sendo o componente estrutural das plantas, que é a parede celular, fração menos digerível do alimento, e que não é digerida por enzimas de mamíferos, além de ser componente essencial para estimular a mastigação e ruminação.

A fibra é usada como fonte de energia pelos microrganismos do rúmen e tem sido utilizada para caracterizar alimentos e para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações. A fibra é essencial, uma vez que os ácidos graxos voláteis (AGV) produzidos durante a fermentação ruminal conferem a principal fonte de energia para o animal. As características nutritivas dos carboidratos das forragens dependem dos açúcares que os compõem, das ligações entre esses e outros fatores de natureza físico-química (Van Soest, 1994).

Além da produção de AGV, a fibra é responsável pela efetividade e fibrosidade da dieta, influenciando na digestibilidade dos alimentos, taxa de passagem, função ruminal e, conseqüentemente, no consumo (Mertens, 2001).

Em virtude da importância da fibra na alimentação dos animais ruminantes e a grande variação da disponibilidade e do valor nutritivo das forragens devido a fatores genéticos e ambientais, surgiram os processos de conservação de forragem, alterando as propriedades químicas e/ou físicas dos alimentos com objetivo manter o seu valor nutritivo. Assim, a utilização de forragens conservadas, tanto na forma de feno como na forma de silagem, surge como alternativa para superar os problemas decorrentes de escassez dos alimentos volumosos.

A fenação é o processo de conservação de forragens através da desidratação parcial da planta forrageira. O processo de desidratação retira água disponível à ação deletéria de microrganismos, fazendo com que o produto final se conserve por longo tempo (MacDonald e Clark, 1987). O tempo de secagem é, portanto, essencial para se obter feno com teor de umidade inferior a 15%, de boa qualidade, pois fenos com umidade superior são suscetíveis a perdas qualitativas e quantitativas durante o armazenamento.

Outra forma de conservação é a ensilagem de forragens *in natura*, que tem como objetivo manter o valor nutritivo a partir de processo de fermentação. A necessidade de um processo fermentativo na ensilagem torna forrageiras, como milho e sorgo, que contém altos teores de carboidratos solúveis, ideais para este fim.

Silagem é o processo de armazenamento de forragem úmida sob condições anaeróbicas, podendo incluir determinados produtos que inibem as mudanças microbianas ou enzimáticas. Todos os fenômenos ocorridos durante o processo de ensilagem podem ser incluídos em duas fases principais; uma respiração onde ocorre o esgotamento do oxigênio da massa ensilada, permitindo o estabelecimento das condições anaeróbicas; e outra de acidificação, na qual ocorre a produção de ácido láctico, processo esse muito importante,

porque a acidez evita o desenvolvimento de bactérias indesejáveis, como as que produzem a decomposição protéica (Pereira, 2000).

2.1.1 Silagem de milho

Entre as forragens utilizadas para o processo de ensilagem, o milho (*Zea mays*) destaca-se como a mais indicada para esta prática em decorrência de sua fácil conservação dentro do silo e de seu elevado valor nutritivo. Ferret et al. (1997), citaram que a excelência do milho na produção de silagem deve-se à sua alta concentração de carboidratos hidrossolúveis fermentáveis e ao seu baixo poder tampão.

A silagem de milho apresenta valores de fibra em detergente neutro (FDN) entre 45 e 65%, os quais são desejáveis na nutrição de ruminantes (Mora et al., 1996). O processo de fermentação, se bem conduzido, não altera significativamente a qualidade da forragem, especialmente o teor de energia.

Se há maior participação de grãos na silagem e se a planta de milho tiver maior digestibilidade com menor teor de fibra, certamente haverá maior consumo pelos animais, influenciando na própria digestibilidade e, conseqüentemente, na taxa de passagem.

2.1.2 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma forrageira que se destaca nas regiões tropicais e subtropicais devido ao seu grande potencial de produção de matéria seca e energia por unidade de área em um único corte no ano. Durante seu ciclo do crescimento ocorre aumento da quantidade de caule em relação às folhas e da lignificação da parede celular e ampliação gradativa do teor de sacarose (Costa, 2004).

O aumento da sacarose torna a cana uma forrageira diferente das demais, pois sua digestibilidade total não diminui com a maturidade da planta e seu valor nutritivo é conservado por períodos relativamente longos, possibilitando seu auto-armazenamento no campo para ser usada nos períodos críticos de alimentação.

A cana, quando madura, possui um teor de FDN, em torno de 50%, que é baixo em comparação com as demais gramíneas tropicais, que fica em torno de 65 a 70%. No entanto, essa fibra é de baixa digestibilidade. Isto pode causar limitação no consumo de

matéria seca devido ao enchimento ruminal e à menor taxa de passagem da digesta; conseqüentemente, diminuindo o desempenho dos animais. A taxa de passagem pode ser alterada através do tamanho de partícula. A cana triturada pode propiciar taxa de passagem mais elevada, não limitando drasticamente assim o consumo (Araújo Neto, 2008).

Esta forrageira possui alto teor de carboidratos prontamente fermentáveis, e seu fornecimento pode ser realizado em conjunto com fontes de nitrogênio não-protéico (NNP), para a correção do teor de proteína bruta.

2.1.3 Feno de rami

O rami (*Boehmeria nivea*, Gaud.) pertencente à família das *Urticaceae*. Como forrageira, esse é utilizado na alimentação animal sob a forma de forragem verde, feno da planta inteira, ponteiros e o resíduo resultante da desfibragem.

O rami é uma planta produtora de fibra utilizada como matéria prima para confecção de fios, cordas e tapetes. De acordo com Havard-Duclos (1969), além deste fato, a fibra do rami também constitui subproduto alimentício para ruminantes, sendo utilizada como forragem *in natura* ou feno.

O rami pode ser caracterizado como alimento de natureza protéica, igualando-se ao teor de proteína bruta encontrado em grãos de leguminosas, como o feijão, e rico em minerais, destacando-se o cálcio (Duarte et al., 1997). Este apresenta teor médio de proteína de 18,1%. A maior concentração de proteínas ocorre nas folhas, sendo estas de alto valor biológico e de composição aminoacídica de elevada qualidade.

Por ser uma planta de alto valor nutritivo, principalmente protéico, Oliveira (2007) constatou a necessidade de conhecer o estágio de maturidade adequado para a utilização do rami como forragem verde ou até mesmo da conservada em forma de feno. Assim, este autor verificou que o avanço da maturidade da planta proporciona aumento nos teores dos constituintes fibrosos da parede celular (hemicelulose, celulose e lignina), que vem acompanhada do espessamento e da lignificação da parede celular, sendo essas características relacionadas com seu elevado teor de fibra e, conseqüentemente, com a digestibilidade. Isso acarreta diminuição na taxa de passagem ruminal das partículas.

2.1.4 Feno de tífton

O tifton (*Cynodon spp*) é um híbrido pertencente ao gênero *Cynodon*. As características de produtividade e qualidade dessa forrageira, quando produzida em condições favoráveis, permite bom desempenho animal. Uma das vantagens dessa forrageira é sua flexibilidade. Ela pode ser utilizada como pasto, capineira, feno ou silagem normal ou pré-seca. O tifton pode ser fornecido para diferentes espécies animais, incluindo bovinos, eqüinos, caprinos, ovinos e avestruzes, nas diferentes fases de crescimento.

No caso das gramíneas do gênero *Cynodon*, os melhores fenos são obtidos de cultivares que possuem mais folhas do que colmo. O tifton se destaca neste aspecto, sendo uma das forrageiras mais utilizadas para produção de feno (Pupo, 1995).

De acordo com Valadares Filho et al. (2002), os teores de FDN, fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDNcp) e lignina do feno de tifton estão em torno de 77,20, 70,67 e 5,02% respectivamente. Isso confere ao feno de tifton características favoráveis para que seja utilizado como alimento para bovinos, pois apresenta satisfatório teor de fibra potencialmente digestível.

2.2 Cinética de trânsito

As dietas dos ruminantes são compostas por forragens e alimentos concentrados. No trato digestório, cada ingrediente estará sujeito à ação mecânica e enzimática, com intensidades diferentes, devido à composição química e estrutura anatômica dos alimentos. Tais fatos determinam a dinâmica da digesta no trato digestório dos ruminantes e, segundo Ellis et al. (1994), a taxa de passagem constitui variável crítica, que afeta a utilização de nutrientes, visto que modula o tempo disponível para os processos digestivos e absorptivos.

A taxa de passagem permite calcular o tempo durante o qual a porção da digesta é exposta aos processos de mistura, digestão e absorção no trato digestivo como um todo ou em um único segmento (Faichney, 1993). Segundo Van Soest (1994), passagem ou trânsito refere-se ao fluxo de resíduos não-digeridos e indigestíveis transportado através do trato digestivo, atuando de forma simultânea e competitiva com a digestão. O fluxo ruminal inclui, além da fibra indigestível, microrganismos e outras frações não-degradadas dos alimentos, sendo que a composição e o volume da dieta são variáveis externas que influenciam a taxa de digestão e a reciclagem do conteúdo ruminal.

A fração líquida é formada pela água livre, na qual encontra-se partículas sólidas de pequeno tamanho, material solúvel e microrganismos. A fração sólida é composta basicamente por partículas de alimento de diferentes formas e tamanhos e substâncias insolúveis, que permanecem em suspensão na fase líquida.

A taxa de passagem é influenciada pelo nível de consumo, pela forma física da dieta, pelas diferenças na ruminação existente entre animais, (Mertens e Ely, 1982), pela proporção volumoso:concentrado e por fatores climáticos (Faichney, 1993).

Os principais fatores determinantes da taxa de passagem são o tamanho e a gravidade das partículas (Luginbuhl et al., 1990; Okine e Mathison, 1991; Neel et al., 1995; Hristov et al., 2003; Oshita et al., 2004; Ellis et al., 2005), pois definem o tempo que o alimento permanece na câmara fermentativa ruminal, formada pelo rúmen-retículo (RR), e sua distribuição pelas diferentes regiões da mesma.

O tamanho de partícula influencia a taxa de passagem, pois determina a maior ou menor capacidade de renovação do conteúdo ruminal e, conseqüentemente, do consumo e efetividade de utilização dos alimentos ingeridos. Para que os alimentos possam ser utilizados, transformados em produtos da fermentação e disponibilizados para o animal no RR ou passem para serem utilizados nos compartimentos imediatamente inferiores é necessário, entre outros requisitos como fonte de nitrogênio e carboidratos prontamente disponíveis, tamanho adequado das partículas para que os microrganismos ruminais tenham condições de acesso e colonização das mesmas. Sob condições normais, o tamanho de partículas é reduzido durante os processos de mastigação, ruminação, fricção da digesta pelos movimentos ruminais e ação microbiana (Luginbuhl et al., 1990). Partículas grandes dificultam o acesso dos microrganismos ao interior da célula para realizar a degradação devido à menor superfície específica (Kovács et al., 1998) e menor quantidade de reentrâncias e fissuras nas camadas envoltórias do conteúdo celular, que permitem a colonização inicial. Além disso, partículas maiores aumentam o tempo necessário à ruminação, possuem menor gravidade específica e formam uma malha suspensa no interior do RR. Tais fatores aumentam o volume e reduzem a capacidade de renovação do conteúdo do RR, fazendo com que o desempenho animal seja influenciado pelo menor nível de ingestão. Por outro lado, partículas de tamanho muito pequeno favorecem a rápida passagem pelo RR, o que reduz o tempo para ação dos microrganismos.

O tamanho também influencia a distribuição das partículas pelo interior da câmara fermentativa, já que a distribuição das partículas pelas diferentes regiões do RR depende do grau de redução resultante das ações de mastigação, ruminação e degradação, da ação

da malha filtrante, dos movimentos ruminais e da gravidade que estas partículas possuem em determinado momento após a alimentação (Luginbuhl et al., 1990). Normalmente, partículas maiores formam a camada superior do conteúdo e ocupam a região dorsal, enquanto as menores tendem a ocupar a região ventral do RR. A localização das partículas dentro da câmara fermentativa determina, em primeiro plano, o tipo de ação a qual serão submetidas. Quando presentes na região dorsal, maior é a possibilidade das partículas serem regurgitadas, sofrerem o processo de ruminação, serem redeglutida e finalmente sofrerem ação da microbiota específica. Quando na região ventral, a ação dos microrganismos e o escape para o omaso parecem ser os principais eventos que tais partículas estão sujeitas.

As estimativas do volume de líquidos e da taxa de diluição no rúmen são de suma importância, pois são necessárias para avaliação da produção de metabólitos no rúmen (Bauman et al., 1971). O volume ruminal e a taxa de passagem de líquidos podem influenciar o consumo, a digestibilidade, o tempo disponível para a fermentação ruminal, a eficiência de crescimento dos microrganismos da fase líquida do rúmen (Teeter et al., 1984), bem como a taxa de passagem de sólidos.

O aumento no consumo da dieta geralmente resulta em taxa de passagem mais rápida de solutos e partículas, assim como o aumento da proporção de fibra estimula a atividade propulsiva. A moagem ou peletização das forragens aumenta o consumo voluntário, o que acarreta incremento do fluxo para o duodeno e diminuição do tempo médio de retenção no RR (Faichney, 1986).

2.3 Indicadores para o estudo da cinética de trânsito

A quantificação da massa ruminal é extremamente importante para os estudos relacionados à digestão e cinética. Diversos métodos podem ser utilizados para quantificar o conteúdo ruminal: avaliação direta (abatendo o animal ou esvaziando o órgão); ou indireta, em que são utilizadas substâncias de referência, denominadas indicadores.

Indicadores são compostos de referência usados para monitorar aspectos químicos (como a hidrólise e síntese de compostos) ou físicos (como a taxa de passagem) da digestão (Owens e Hanson, 1992), permitindo a obtenção de estimativas qualitativas ou quantitativas da fisiologia animal (Saliba, 1998). Indicadores são substâncias indigestíveis, normalmente de fácil quantificação, podendo ser administradas com o alimento ou

diretamente em algum segmento do aparelho digestório, sendo posteriormente identificados e quantificados nas fezes ou ao final do segmento em estudo (Warner, 1981). Os indicadores possuem grande aplicação nos estudos das taxas de passagem de líquidos e sólidos, consumo voluntário, produção fecal e digestibilidade em animais em pastejo ou confinados.

De acordo com Grace e Body (1981), Mayes et al. (1986), Owens e Hanson (1992), Huhtanen et al. (1995) e Saliba (1998), um indicador ideal deve possuir algumas propriedades fundamentais, sendo as principais; ser inerte e não tóxico; não apresentar função fisiológica; não ser absorvido nem metabolizado; misturar-se bem ao alimento e permanecer uniformemente distribuído na digesta; não influenciar secreções intestinais, absorção ou motilidade; não influenciar a microbiota do trato digestivo; possuir método específico e sensível de quantificação e ser completamente recuperável.

Os indicadores são classificados em duas grandes categorias (Kotb e Luckey, 1972; Owens e Hanson, 1992; Moore e Sollenberger, 1997). Os indicadores internos, que são constituintes naturais das dietas, não são digeridos nem absorvidos pelos animais, tais como a sílica, a lignina, o cromogênio, a FDN e FDA indigestíveis a cinza insolúvel em ácido e os N-alcanos. Os indicadores externos, por sua vez, são adicionados à dieta ou fornecidos via oral ou ruminal aos animais, consistindo de uma variedade de compostos inertes como o óxido crômico, os elementos terras raras (lantânio, samário, cério, itérbio e disprósio), o rutênio fenantrolina e o cromo mordente, utilizados para fase sólida, e o cobalto-EDTA, cromo-EDTA e o polietilenoglicol (PEG), utilizados para fase líquida.

O uso dos indicadores demanda em que seja detectada e quantificada a sua concentração nas fezes. Ao relacionar matematicamente esses valores com a concentração ou quantidade ingerida pelo animal, encontram-se resultados de digestibilidade semelhantes aos obtidos com o método de coleta total. O princípio que rege a utilização dos indicadores baseia-se no fato de que à medida que o alimento transita pelo trato gastrointestinal a concentração do indicador aumenta progressivamente pela remoção de constituintes do alimento por digestão e absorção (Astigarraga, 1997). O aumento na concentração é proporcional à digestibilidade e, portanto, esta última pode ser calculada a partir das concentrações do indicador no alimento e nas fezes. Independente do tipo de indicador, deve ocorrer distribuição o mais uniforme possível, de modo a permitir uma concentração constante e quantificável na digesta, atingindo o chamado estado de equilíbrio o mais rapidamente possível (Rodríguez et al., 2006).

Entre os principais e mais utilizados indicadores, tem-se o óxido crômico (Cr_2O_3), bastante difundido e amplamente utilizado para a estimação da produção fecal, principalmente em animais de pastejo (Astigarraga, 1997). Suas vantagens residem no fato de não ser oneroso e na facilidade de incorporação à dieta e análise (Lima et al., 1980; Merchen, 1988), somado à acurácia e precisão da técnica (Prigge et al., 1981). O método de determinação do óxido crômico, denominada infusão contínua, pressupõe o alcance de um estado de estabilidade de fluxo, denominado estado constante (Hopper et al., 1978; Coelho Silva e Leão, 1979; Prigge et al., 1981).

O cromo também pode ser empregado de forma ligada à parede celular, complexo denominado Cromo-mordente (Úden et al., 1980; Van Soest, 1994). A técnica de utilização, conhecida como dose pulso, é amplamente empregada em estudos de cinética de trânsito, e consiste na aplicação de uma única dose e subsequente amostragem fecal em tempos definidos. Isso possibilita caracterizar a curva de excreção do indicador nas fezes (Burns et al., 1994) e, posteriormente, o ajuste de modelos matemáticos não-lineares.

Os lantanídeos, por sua vez, são usados principalmente para estimação de trânsito ou fluxo, marcando a fase sólida ou líquida. Ellis (1968) relatou diversas propriedades das terras raras, e sugere vantagens no seu uso como indicador. Esses elementos têm afinidade pela parede celular das plantas e são empregados no estudo da taxa de passagem da digesta em ruminantes, sendo considerados indicadores adequados de fluxo de resíduos indigestíveis (Ellis et al., 2002). O itérbio (Yb) vem sendo um dos mais utilizados (Coleman, 1979; Saliba, 1998).

O Polietilenoglicol (PEG) é normalmente utilizado como agente neutralizante do efeito deletério dos taninos sobre a digestibilidade dos nutrientes. No entanto Landau et al. (2003) demonstraram seu uso como indicador de forma satisfatória, em dietas livres de taninos.

Apesar dos problemas, os quelatos de Cr (Cr-EDTA) e Co (Co-EDTA) são indicadores de fase líquida que têm sido utilizados em substituição ao PEG. Tanto o Cr-EDTA (Ellis et al., 1979) como o Co-EDTA (Udén et al., 1980) são totalmente solubilizados e têm sido utilizados para estimação de volume de líquido ruminal e taxa de diluição. Ao contrário do PEG, análises desses indicadores são simples e muito precisas (Merchen, 1988).

2.4 Modelos matemáticos para a estimação de parâmetros da cinética de trânsito

Um modelo matemático pode ser considerado como uma equação ou um conjunto de equações que representam, de forma simplificada, o comportamento de um sistema. Existem diversos modelos matemáticos construídos para descrever os processos digestivos no rúmen, e, deste modo, predizer os seus efeitos sobre a eficiência de utilização dos alimentos pelo animal. Alguns modelos quantificam aspectos parciais do processo de digestão no rúmen, enquanto outros apresentam caráter mais complexo, em que o meio é considerado de forma global e os eventos representados por diversas equações relacionadas entre si.

O alimento ao ser ingerido passa por processos digestivos (digestão e absorção), os quais fazem a quebra do alimento retirando os componentes necessários ao animal e eliminam o restante passando para órgãos inferiores. Esse processo promove contínuo esvaziamento do rúmen, passando os fragmentos aos compartimentos posteriores, de parte da fração potencialmente degradável e da fração indigestível da dieta. Portanto, trânsito ou passagem se refere ao fluxo de resíduos não-digeridos e indigeríveis do alimento através do trato gastrintestinal; sendo assim, a taxa de passagem representa a velocidade com a qual o alimento percorre o trato digestivo, onde fica sujeito a diferentes processos da digestão.

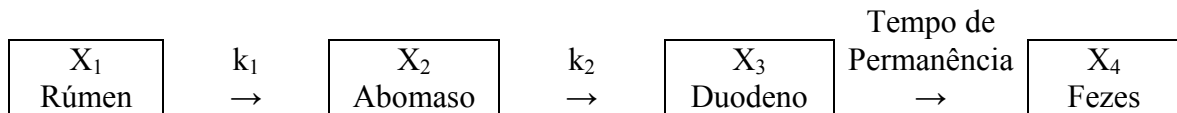
A avaliação da taxa de passagem da digesta é de grande importância para as estratégias de alimentação, bem como para a obtenção de suporte quantitativo para o estudo da nutrição de ruminantes.

Há, na literatura, várias técnicas disponíveis para estimar a taxa de passagem (k) ou o tempo médio de retenção das partículas pelo TGI dos ruminantes. Nos últimos anos, a estimação da taxa de passagem tem sido realizada por intermédio da infusão de dose única de indicador externo diretamente no rúmen dos animais com posterior amostragem das fezes, em intervalos de tempo conhecidos, nas quais são analisadas as concentrações do elemento químico utilizado. A curva de excreção do indicador é, então, submetida ao ajuste de um modelo matemático para se estimar os parâmetros relacionados à passagem das partículas (Oliveira, 1998).

Blaxter et al. (1956) foram os primeiros a demonstrar que a curva de excreção fecal podia ser descrita matematicamente como sendo a soma de dois componentes exponenciais. Portanto, apresentaram um modelo sob as pressuposições:

- 1) Igual oportunidade de escape de todos os fragmentos presentes no compartimento, independentemente de quanto tempo esses estejam no local (tempo-independente);
- 2) Efluxo e influxos constantes de massa no compartimento (estaticidade); e
- 3) Mistura completa e instantânea do material que entra no compartimento.

Este modelo poderia ser representado por:



Em que:

X_1 = quantidade do indicador no rúmen no tempo t ;

X_2 = quantidade do indicador no abomaso no tempo t ;

X_3 = quantidade do indicador no duodeno no tempo t ;

X_4 = quantidade do indicador nas fezes no tempo t ; e

k_1 e k_2 = taxas constantes de passagem (h^{-1}).

Deste modo, ao início da avaliação, ou no tempo zero ($t = 0$) todo o indicador encontra-se presente no primeiro compartimento ($A = 1$). Com o decorrer do tempo, a concentração do indicador tende a diminuir nos compartimentos iniciais, já que, supostamente, este flui e deve ser progressivamente recuperado nas fezes, invertendo então a situação ($t \rightarrow \infty$; $A \rightarrow 0$; $B \rightarrow 0$; $C \rightarrow 0$; $R \rightarrow 1$).

As equações diferenciais que descrevem o modelo são as seguintes:

$$dA/dt = -k_1 A(t);$$

$$dB/dt = k_1 A(t) - k_2 B(t);$$

$$dR/dt = k_2 B_{(t- TT)};$$

Em que determinam a equação geral para $k_1 \neq k_2$:

$$dR/dt = 0 \quad \text{para } 0 \leq t \leq TT;$$

$$dR/dt = k_1 k_2 / (k_1 - k_2) [e^{-k_2(t-TT)} - e^{-k_1(t-TT)}], \quad \text{para } t > TT.$$

Em que t = tempo; e

TT (h) = tempo decorrido entre a administração do indicador e seu aparecimento nas fezes.

Posteriormente, Grovum e Williams (1973), usando um modelo semelhante ao de Blaxter et al. (1956), sugeriram uma explicação biológica para k_1 , k_2 e TT. Na concepção dos primeiros autores, ao contrário dos últimos, a taxa de passagem lenta (k_1) representa a saída do indicador do rúmen, ao passo que a passagem rápida (k_2) estava associada à saída pelo ceco e cólon proximal. Sendo assim, esses autores descreveram a curva de concentração do indicador na matéria seca fecal:

$$Y = Ae^{-k_1(t-TT)} - Ae^{-k_2(t-TT)} \quad \text{para } t \geq TT; e$$

$$Y = 0 \quad \text{para } t < TT$$

Em que:

Y = concentração do indicador na matéria seca fecal em função do tempo, t;

A = parâmetro sem interpretações biológica direta;

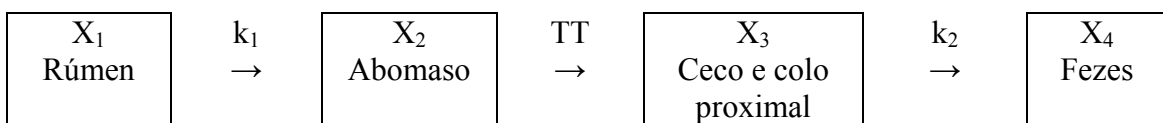
k_1 (h^{-1}) = taxa de passagem no rúmen e

k_2 (h^{-1}) = taxa de passagem no restante do trato gastrintestinal;

t = tempo; e

TT (h) = tempo decorrido entre a administração do indicador e seu aparecimento nas fezes.

A equação pode ser representada esquematicamente da seguinte forma:



Em que:

X_1 = quantidade do marcador no rúmen no tempo t;

X_2 = quantidade do indicador no abomaso no tempo t;

X_3 = quantidade do indicador no ceco e cólon proximal no tempo t;

X_4 = quantidade do indicador nas fezes no tempo t;

k_1 e k_2 = taxas constantes de passagem no rúmen e ao ceco e cólon proximal (h^{-1}), respectivamente; e

TT = tempo decorrido entre a administração do indicador e de seu aparecimento nas fezes.

Deste modo, ao início da avaliação, ou no tempo zero ($t = 0$) todo o indicador encontra-se presente no primeiro compartimento ($A = 1$). Ao contrário, quando ($t \rightarrow \infty$; $A \rightarrow 0$; $B \rightarrow 0$; $C \rightarrow 0$; $R \rightarrow 1$), todo indicador apresentar-se-á nas fezes.

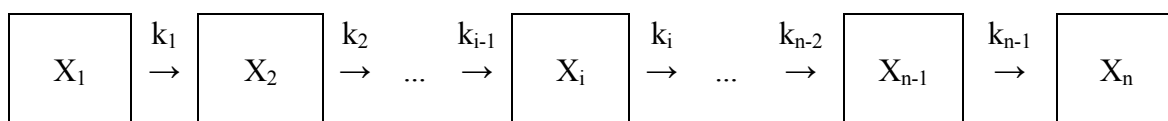
Desta forma, obtém-se o valor do tempo médio de retenção total (TMRT) a partir da fórmula:

$$TMRT = TT + 1/k_1 + 1/k_2$$

O tempo gasto pelas partículas para se misturarem ao meio e a redução do tamanho das mesmas alteram as probabilidades destas partículas escaparem do primeiro compartimento, conforme Matis (1972). A partir deste raciocínio, este autor fez o uso de uma distribuição gama tempo-dependente, que representa a dependência do tempo em que a partícula permanece no compartimento do modelo bicompartimental proposto por Blaxter et al. (1956). Essa modificação foi sugerida pela alteração física que as partículas sofrem através dos processos digestivos no rúmen.

Dhanao et al. (1985), ao estudarem os trabalhos de Blaxter et al. (1956) e Grovum e Williams (1973), sugeriram a existência de dois pools no trato digestivo, assumindo assim, que o fluxo da digesta apresentava evolução exponencial em "n" compartimentos, baseado na suposição de que o trato digestivo do ruminante pode ser representado por um número inespecífico de compartimentos exponenciais, seqüenciais e irreversíveis.

O modelo proposto também é tempo-dependente, todavia, sua abordagem matemática é diferente. Estes autores utilizaram distribuição múltiplo-seqüencial de sub-compartimentos tempo-independentes dentro de cada compartimento, na qual cada seqüência tem uma diferença fixa na magnitude do seu turnover relativamente pequena. Assim o fluxo através de tais múltiplos compartimentos produz uma diminuição de taxas tempo-independentes. Esquemáticamente o modelo multicompartimental pode ser representado da seguinte forma:



Neste modelo, as variáveis X_1, X_2, \dots, X_n , representam a quantidade do indicador nos compartimentos em função do tempo, t (h). Quando $t = 0$ então $X_1 = 1$ e $X_2 = X_3 = \dots = X_n = 0$, estando todo o indicador presente no primeiro compartimento; quando $t \rightarrow \infty$, então $X_1, X_2, \dots, X_{n-1} \rightarrow 0$ e $X_n \rightarrow 1$; e k_1, k_2, \dots, k_{n-1} (h^{-1}) são as respectivas taxas de passagem nos distintos compartimentos.

Este modelo, pode ser representado pela seguinte equação:

$$Y = Ae^{-k_1 t} \exp[-Be^{-k_2 t}]$$

Em que:

Y = concentração fecal do indicador num determinado tempo, t (h);

A e B = parâmetros sem interpretação biológica direta;

k_1 (h^{-1}) = taxa de passagem no compartimento 1 e

k_2 (h^{-1}) = taxa de passagem no compartimento 2.

Pond et al. (1988) afirmaram que os modelos tempo-independentes, que envolvem um ou dois compartimentos, superestimam o tempo da primeira aparição do indicador nas fezes, e que a mistura lenta e imperfeita da digesta no rúmen-retículo não está de acordo com as pressuposições de distribuição homogênea e instantânea assumidas para os modelos tempo-independentes. Pressupõe-se que o tempo de retenção com distribuição dependente do tempo, está de acordo com o ambiente ruminal heterogêneo, composto de partículas degradadas, e em degradação recém-ingeridas que, de acordo com processos envolvidos na dinâmica das partículas, deixariam o rúmen em tempos diferentes.

No modelo unicompartmental, tempo-independente (G_1), a taxa de passagem é k (h^{-1}) para todas as partículas, independentemente de seu tempo de permanência. Portanto, a taxa média na qual as partículas deixam o compartimento é constante (k), e o tempo médio de retenção é $1/k$. No modelo unicompartmental tempo-dependente (G_2), o tempo médio de retenção é $2/\lambda$. Os modelos G_1 e G_2 são representados pelas equações:

$$Y_{G1} = C e^{-k t}$$

$$Y_{G2} = C \lambda t e^{-\lambda t} / F,$$

Em que:

C = concentração inicial do indicador no compartimento de volume V, assumindo mistura instantânea após administração do indicador D, e portanto $C = D/V$;

k = taxa constante para os tempos de permanência com distribuição exponencial;

t = tempo após a dosagem do marcador;

λ = taxa para os tempos de permanência com distribuição gama. $\delta = \lambda_1 / (\lambda_1 - k_2)$.

F = constante proveniente da função gerada a partir da proporção de marcador que emerge do compartimento, e que para o modelo G_2 equivale a 0,59635.

Portanto a equação abaixo representa o modelo (G2G1) com distribuição Gama-2 para um compartimento e exponencial para o outro:

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

Ellis et al. (1994) sugeriram o uso de modelos não-lineares nos ajustes matemáticos, que visam ao estudo da cinética de fluxo em ruminantes. Trabalhos realizados utilizam, principalmente, três classes de modelos não-lineares para ajustar dados de concentração fecal de indicadores administrados em dose única. Estas são constituídas por: 1) modelos com compartimentos de mistura independentes do tempo (ou tempo-independentes); 2) modelos com compartimentos de mistura dependentes do tempo (ou tempo-dependentes); e 3) modelos multi-comportamentais.

Ellis et al. (1994), relataram que os princípios básicos dos modelos com compartimentos de mistura tempo-independentes são: instantânea, contínua e completa mistura do material que entra no compartimento (influxo) em relação a todas as demais partículas ali presentes, ou seja, um compartimento de mistura, que pode ser definido como a massa que é instantaneamente misturada com o influxo; condição de estaticidade (*steady state*), isto é, influxo igual ao efluxo, que assegura volume constante no compartimento de mistura, e por último, igual oportunidade de escape das partículas, independente do seu tempo de permanência no compartimento, ou seja, a probabilidade de escape de cada partícula, sendo determinada somente por sua relação com a massa das demais partículas presentes naquele compartimento.

Essas premissas conduzem à distribuição exponencial dos tempos de residência para a população de partículas presentes no compartimento, ou seja, uma simples diluição

do consumo pela massa compartimental, como determinante da competição para escape (Ellis et al., 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gado de Leite da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa – MG, localizada na região da Zona da Mata, cujas coordenadas geográficas são: Latitude: 20° 45' 14" S; Longitude: 42° 52' 53" W e Altitude: 648,74 metros.

3.2 Animais, tratamentos e instalações

Foram utilizados quatro novilhos mestiços Holandês-Zebu, com peso inicial de aproximadamente 400 kg, fistulados no rúmen. Os animais foram distribuídos em delineamento experimental quadrado latino 4 x 4, manejados em confinamento, em baias individuais, tipo “Tie Stall”, e recebendo diariamente 1 kg de concentrado e volumoso *ad libitum*.

Os períodos experimentais foram compostos por 11 dias, com 6 dias para adaptação e 5 dias para coleta, sendo avaliadas quatro fontes de fibra, que constituíram os tratamentos experimentais, sendo essas: silagem de milho (*Zea mays*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), feno de rami (*Boehmeria nivea*) e feno de tífton (*Cynodon spp*). O concentrado foi constituído de milho triturado, farelo de soja, uréia e suplemento mineral. A composição química dos alimentos encontra-se na Tabela 1 e a composição do suplemento na Tabela 2.

Tabela 1 – Composição química dos alimentos.

Alimentos	MS ¹ (%)	Dados em porcentagem da MS					
		PB ²	FDN ³	EE ⁴	Cinzas	Ca ⁶	P ⁷
Milho triturado	83,16	9,33	14,39	0,72	1,87	0,03	0,25
Farelo de soja	88,26	48,93	19,16	1,39	6,41	0,33	0,58
Silagem de milho	90,58	5,40	56,31	2,12	4,28	0,3	0,19
Feno de tifton	89,88	6,38	80,46	0,55	6,17	0,51	0,2
Cana-de-açúcar	92,27	2,10	49,39	0,47	3,40	0,21	0,06
Feno de rami	90,10	24,82	61,90	0,94	17,62	3,35	0,27

¹Matéria seca; ²proteína bruta; ³fibra em detergente neutro; ⁴extrato etéreo; ⁵nutrientes digestíveis totais; ⁶cálcio; ⁷fósforo.

*Análises realizadas no laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia/UFV.

Tabela 2 – Composição do suplemento concentrado

Ingredientes	MN ¹ (%)	MS ² (%)	Em porcentagem da matéria seca			
			PB ³	NDT ⁴	FDN ⁵	EE ⁶
Milho triturado	90,97	81,35	7,73	69,68	11,71	4,04
Farelo de soja	7,09	6,17	3,14	5,00	1,18	0,09
Uréia	0,89	0,89	2,49	–	–	–
Suplemento mineral ⁷	1,04	–	–	–	–	–
Total	100,00	88,41	13,36	74,68	12,89	4,12

¹Matéria natural; ²matéria seca; ³proteína bruta; ⁴nutrientes digestíveis totais; ⁵fibra em detergente neutro; ⁶extrato etéreo; ⁷Suplemento mineral em 1,040 kg: 858 g de sal, 115 g de flor de enxofre, 5 g de sulfato de cobre, 60 g de sulfato de zinco, 0,6 g de sulfato de cobalto e 0,4g de iodato de potássio.

A silagem de milho foi coletada do silo e a cana-de-açúcar foi picada, diariamente, 30 minutos antes do fornecimento da alimentação aos animais. Os fenos de tifton e rami foram produzidos na Unidade de Gado de Leite e na Unidade de Cunicultura, respectivamente, e armazenados próximo ao local do experimento para fornecimento diário. A dieta foi oferecida em duas porções diárias, às 7:00 e às 17:00 horas, o concentrado separado do volumoso. Foi feito monitoramento diário do consumo, a fim de manter as sobras de alimento na ordem de 5%, com base na matéria natural.

3.3 Cinética de trânsito

3.3.1 Cinética de trânsito de partículas

Do 6º ao 11º dia de cada período, foi realizada a coleta de fezes para estimar a curva de excreção do indicador e, conseqüentemente, a partir dos dados gerados, a cinética de trânsito de partículas. Foram utilizados como indicadores o cromo e o itérbio, fixados à parede celular das forragens do respectivo tratamento (silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de rami ou feno de tifton).

Inicialmente, amostras das forragens foram secas em estufa de ventilação forçada a $60\pm 5^\circ$ C por 72 horas. Em seguida, foi realizada a fervura desse material por uma hora, na proporção de 100 g de amostra seca para 100 mL de detergente neutro e 1 litro de água. Após este procedimento, o material foi filtrado em saco de tecido de algodão e lavado com água corrente de torneira, até o clareamento da água para a remoção dos componentes solúveis. Posteriormente o material foi seco em estufa de ventilação forçada a $60\pm 5^\circ$ C, durante 72 horas.

Em seqüência foi adicionada nessa fibra, dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), na proporção de 13% de cromo em relação ao peso da fibra a ser marcada. A solução de dicromato de sódio foi diluída em um recipiente de vidro, com posterior imersão da fibra. Este recipiente foi coberto com papel alumínio e mantido em estufa a 105°C por 24 horas. A partir deste procedimento o material foi acondicionado em saco de tecido de algodão e submetido à lavagem em água corrente, para remover o excesso de dicromato. Em seguida o material foi imerso em solução de ácido ascórbico comercial, na proporção da metade do peso da fibra, deixando-se em repouso por uma hora, até atingir a cor verde intensa. Logo em seguida o material foi novamente acondicionado em saco de tecido de algodão e submetido à lavagem até o completo clareamento da água e seco em estufa de ventilação forçada a $60\pm 5^\circ$ C por 72 horas.

Para a fixação do itérbio (Yb), inicialmente, foi fervida durante uma hora determinada quantidade de amostras das forragens, utilizando-se detergente neutro comum, com componente neutro ativo alquil benzeno sulfonato de sódio, na proporção de 100 g do alimento para 20 mL de detergente e 1,5 L de água para extração dos componentes solúveis. Em seguida foi colocado o material resultante em saco de tecido de algodão e lavado em água corrente, para remoção dos materiais solúveis. Posteriormente imergiu-se o alimento por 24 horas em solução acidificada com ácido clorídrico contendo pH inicial de 2,0, na proporção de 100 g de matéria seca por litro de solução.

Foi adicionada a solução salina de YbCl_3 que ficou em repouso por 24 horas, sendo a concentração do indicador na solução de 20 mg/g de amostra seca marcada. Em seguida o material foi transferido para um saco de algodão para a lavagem em água corrente, e para eliminação do indicador debilmente fixado. A bolsa utilizada contendo a fibra marcada foi imersa, por uma hora, em solução de ácido cítrico, acidificado com ácido sulfúrico ($\text{pH} = 2,5$). Então o material foi lavado em água corrente até o clareamento da água para retirar o excesso do indicador quelatado pelo ácido cítrico. Posteriormente, procedeu-se à secagem final do alimento marcado, em estufa com circulação forçada de ar a $60 \pm 5^\circ\text{C}$ por 48 horas.

As amostras marcadas acondicionadas em cápsulas de papel, foram fornecidas aos animais 10 minutos antes da alimentação matinal, via fistula ruminal, no 6º dia de cada período experimental. As doses dos indicadores que foram oferecidas, foi de 50 g, seja de cromo ou itérbio.

As dosagens do cromo e do itérbio foram realizadas nas fezes, a partir de amostras coletadas nos tempos zero (imediatamente após a administração do alimento marcado), 4, 8, 12, 16, 24, 30, 36, 48, 56, 72, 96 e 120 horas após o fornecimento do indicador.

As amostras de fezes para quantificação das concentrações de cromo e do itérbio, com o objetivo de estimar a curva de excreção fecal, foram preparadas de acordo com as recomendações de Coleman et al. (1984), por intermédio do método descrito por Williams et al. (1962). A análise foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme Huhtanen e Kukkonen (1995).

3.3.2 Cinética de fluidos

Do 9º ao 10º dia de cada período, foi realizada a coleta de líquido ruminal para estimar a concentração do indicador e, conseqüentemente a partir dos dados gerados, a cinética de fluidos. Utilizou-se como indicadores o cobalto-EDTA (Co-EDTA), produzido conforme descrito por Udén et al. (1980).

Foram diluído 50 g de sulfato de cobalto em 400 mL de água destilada, e submetidos ao aquecimento até a completa solubilização. Então foi acrescentado um volume igual de ácido acético. A solução foi filtrado em papel filtro e o resíduo foi seco em estufa de circulação forçada de ar a $60 \pm 5^\circ$ por uma noite. Para a obtenção do complexo Co-EDTA foi pesado 25 g de acetato de Cobalto, 29, 2 g de EDTA e 4,3 g de hidróxido de sódio (NaOH), adicionados a 200 mL de água destilada para dissolver. Deixou-se então esfriar e adicionou-se 20 mL de

peróxido de hidrogênio a 30 % (v/v), descansando, em seguida, por uma noite em ambiente escuro. Posteriormente, adicionou-se 300 mL (95 % v/v) de etanol, deixando em repouso durante uma noite. Então, a solução foi filtrada e lavada com etanol 80 % v/v, e o resíduo foi mantido em estufa ventilada a temperatura de 60±5°C para secagem.

Foi realizada a diluição de 5 g do complexo Co-EDTA em 400 mL de água destilada e, posteriormente, infundido em vários pontos do rúmen de cada animal, através da fistula. Para determinar a recuperação do Co foram coletadas amostras de 50 mL de fluido nos tempos 0 (pré-dosagem), 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 30 e 36 horas pós-dosagem, de acordo com Colucci et al. (1990) e levadas ao *freezer* para congelamento das amostras.

Para a leitura do cobalto, as amostras de líquido ruminal foram descongeladas à temperatura ambiente e centrifugadas a 16.000 x g, por 15 minutos, em temperatura de 22°C. O sobrenadante foi armazenado em frascos de polietileno e analisado por espectrofotometria de absorção atômica, com chama de ar-acetileno.

3.3.3 Modelos matemáticos

Às curvas de concentração dos indicadores de fase sólida foram ajustados três diferentes modelos matemáticos não-lineares, propostos por Grovum e Williams (1973), Dhanoa et al. (1985) e Pond et al. (1988), ($G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, respectivamente). Os modelos são apresentados em seguida:

- Modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$: Modelo bicompartimental

$$Y = Ae^{-k_1(t-TT)} - Ae^{-k_2(t-TT)} \quad \text{para } t \geq TT;$$

$$Y = 0 \quad \text{para } 0 \leq t < TT;$$

Em que:

Y = concentração fecal do indicador num determinado tempo, t (h);

t = tempo de amostragem do indicador;

A = parâmetro sem interpretação biológico direta;

k_1 (h^{-1}) = taxa de passagem no rúmen;

k_2 (h^{-1}) = taxa de passagem no restante do trato gastrointestinal; e

TT (h) tempo decorrido entre a administração do indicador e o início de seu aparecimento nas fezes.

- Modelo $G_1(n) \rightarrow O$: Modelo multicompartmental

$$Y = Ae^{-k_1 t} \exp[-Be^{-k_2 t}]$$

Em que:

Y = concentração fecal do indicador num determinado tempo, t (h);

t = tempo de amostragem do indicador;

A e B = parâmetros sem interpretação biológica direta;

k_1 (h^{-1}) = taxa de passagem no rúmen; e

k_2 (h^{-1}) = taxa de passagem no restante do trato gastrointestinal.

- Modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$: Modelo bicompartimental com distribuição gama-Z para um compartimento e exponencial para o outro

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

Em que:

Y = concentração fecal do indicador num determinado tempo, t (h);

C_2 = concentração inicial do marcador no segundo compartimento;

k_2 = a taxa para os tempos de permanência com distribuição exponencial;

t = tempo após a dosagem do marcador;

TT = tempo de trânsito;

λ_1 = taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; e

$\delta = \lambda_1 / (\lambda_1 - k_2)$.

O λ_1 é convertido em k_1 devido à distribuição do tempo de residência, onde o fator de conversão $k_1 = \lambda_1 \cdot F$.

Para avaliação da taxa de passagem de fluidos, as curvas de concentração ruminal do cobalto foram ajustadas ao modelo proposto por Colucci et al. (1990) e Ellis et al. (1994), $G_1 \rightarrow$ e $G_2 \rightarrow$, respectivamente, apresentados abaixo.

- Modelo $G_1 \rightarrow$: Unicompartimental com distribuição exponencial, tempo-independente

$$Y_{C_0} = A.e^{(-k_1.t)}$$

Em que:

Y_{C_0} = concentração do indicador no tempo t ;

A = concentração do indicador no tempo zero;

k_1 = taxa de passagem ou de diluição do C_0 ; e

t = tempo de amostragem.

- Modelo $G_2 \rightarrow$: Unicompartimental com distribuição gama-Z, tempo-dependente

$$Y_{C_0} = A.e^{(-\lambda.t)}(1 + \lambda t)$$

Em que:

Y_{C_0} = concentração do indicador no tempo t ;

A = concentração do indicador no tempo zero;

λ = taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; e

t = tempo de amostragem.

O λ_1 é convertido em k_1 devido à distribuição do tempo de residência, onde o fator de conversão $k_1 = \lambda_1 \cdot F$; onde $F = 0,59635$ para G_2 .

Foram montadas planilhas com as concentrações dos indicadores em PPM, considerando os animais como repetição, para cada tempo de coleta.

Os parâmetros cinéticos foram estimados de acordo com a descrição de cada modelo matemático empregado, como descrito anteriormente.

3.4 Procedimentos estatísticos

Todos os ajustamentos não-lineares foram realizados pelo algoritmo iterativo de Marquardt, utilizando-se o PROC NLN do Statistical Analysis System (SAS, 1999).

A qualidade do ajustamento das equações não-lineares foram avaliados por intermédio do desvio-padrão assintótico (DPA) e do resíduo padronizado (RP) conforme Draper e Smith (1966) onde as análise de resíduos são calculadas pela diferença entre o valor observado e o estimado.

Os valores de desvios-padrão assintóticos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança:

$$DPA = \sqrt{\frac{\sum_i \hat{\epsilon}_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Em que:

DPA = desvio padrão assintótico;

$\hat{\epsilon}_i$ = erro relativo a observação i ;

y_i = valor observado i ;

\hat{y}_i = valor estimado i ; e

n = número de observações.

Os Resíduos Padronizados foram obtidos a partir da relação:

$$RP = \frac{\hat{\epsilon}_i}{DPA} = \frac{y_i - \hat{y}_i}{DPA}$$

Em que:

RP = resíduo padronizado i .

Foi avaliada a dispersão dos resíduos padronizados em função dos tempos de amostragem e analisado o comportamento gráfico, ou seja, sua uniformidade e maior proximidade de zero. Quando observada alguma tendenciosidade na dispersão dos resíduos, o modelo foi considerado menos adequado à descrição dos perfis de excreção fecal do indicador.

Nos ajustamentos não-lineares, adotou-se 0,05, como nível crítico de probabilidade assintótica para o erro tipo I.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros dos modelos ($G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$) que descrevem a taxa de passagem das partículas, a razão das taxas e o desvio-padrão assintótico, obtidos com diferentes fontes de fibra (silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de rami e feno de tifton) encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, para o uso dos indicadores cromo e itérbio.

Tabela - 3 Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de partículas utilizando o cromo como indicador

Parâmetro *	Fontes de fibra			
	Silagem de milho	Cana-de-açúcar	Feno de rami	Feno de tifton
	$G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O^{(2)}$			
k_1	0,0232	0,0182	0,0210	0,0207
k_2	0,0235	0,0185	0,0213	0,0210
k_2/k_1	1,0129	1,0165	1,0143	1,0145
DPA ⁽¹⁾	56,71	53,02	56,54	32,38
	$G_1(n) \rightarrow O^{(3)}$			
k_1	0,0352	0,0180	0,0213	0,0269
k_2	0,0700	0,0372	0,0688	0,0540
k_2/k_1	1,9886	2,0667	3,2341	2,0074
DPA ⁽¹⁾	22,52	36,90	33,91	12,19
	$G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O^{(4)}$			
λ_1	0,0550	0,0638	0,0788	0,0382
k_1	0,0328	0,0380	0,0470	0,0228
k_2	0,0534	0,0636	0,0786	0,0371
k_2/k_1	1,6281	1,6737	1,6723	1,6272
DPA ⁽¹⁾	26,42	78,09	83,09	17,81

*Parâmetros dos modelos, em que k_1 e k_2 são taxas de trânsito através dos compartimentos, k_2/k_1 a razão das taxas de passagem e λ_1 é a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; ⁽¹⁾Desvio-padrão assintótico; ⁽²⁾Modelo unicompartimental com distribuição exponencial, tempo-independente; ⁽³⁾Modelo bicompartimental com distribuição gama para um compartimento e exponencial para o outro; e ⁽⁴⁾Modelo multicompartimental.

Diante dos resultados observados, o modelo bicompartimental, $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, propostos por Grovum e Williams (1973), foi considerado inadequado para descrever a cinética das partículas pelo trato digestivo, pois demonstrou incapacidade de distinguir os compartimentos considerando todas as fontes de fibra avaliadas, bem como dos indicadores, com taxas de passagem pelo rúmen e pelo pós-rúmen (k_1 e k_2) semelhantes.

Ellis et al. (1994) explicaram esse comportamento, como sendo possivelmente resultante do ajustamento de um modelo bicompartimental de tempo-independente a dados oriundos de sistema de compartimentos tempo-dependentes, ou da existência de dois compartimentos com taxas semelhantes, ou ainda da existência de apenas um compartimento tempo-dependente ao invés de dois compartimentos tempo-independentes distintos. A ocorrência de duas taxas iguais é inconsistente com a hipótese biológica de haver dois compartimentos seqüenciais e conduz a indeterminação matemática na resolução iterativa do quadro.

Tabela - 4 Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de partículas utilizando o itérbio como indicador

Parâmetro*	Fontes de fibra			
	Silagem de milho	Cana-de-açúcar	Feno de rami	Feno de tífton
	$G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O^{(2)}$			
k_1	0,0239	0,0210	0,0233	0,0381
k_2	0,0243	0,0213	0,0236	0,0386
k_2/k_1	1,0167	1,0143	1,0129	1,0131
DPA ⁽¹⁾	36,94	11,65	18,83	16,94
	$G_1(n) \rightarrow O^{(3)}$			
k_1	0,0436	0,0448	0,0277	0,0468
k_2	0,1025	0,0299	0,0934	0,0658
k_2/k_1	2,3509	0,6674	3,3718	1,4060
DPA ⁽¹⁾	34,21	9,30	16,15	15,81
	$G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O^{(4)}$			
λ_1	0,0632	0,0407	0,0541	0,0662
k_1	0,0377	0,0243	0,0323	0,0395
k_2	0,0614	0,0394	0,0528	0,0647
k_2/k_1	1,6286	1,6234	1,6347	1,6380
DPA ⁽¹⁾	34,71	9,79	16,60	15,88

*Parâmetros dos modelos, em que k_1 e k_2 são taxas de trânsito através dos compartimentos, k_2/k_1 a razão das taxas de passagem e λ_1 é a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; ⁽¹⁾Desvio-padrão assintótico; ⁽²⁾Modelo unicompartmental com distribuição exponencial, tempo-independente; ⁽³⁾Modelo bicompartimental com distribuição gama para um compartimento e exponencial para o outro; e ⁽⁴⁾Modelo multicompartimental.

Resultados semelhantes foram verificados por Oliveira (1998), que trabalhou com novilhos holandeses, recebendo diferentes níveis de cama de frango e suplementos a base

de microbiota ruminal. Para a avaliação das taxas de passagem da fase sólida, este autor estudou o comportamento dos modelos $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, proposto por Matis (1972), $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, proposto por Grovum e Williams (1973) e $G_1(n) \rightarrow O$, proposto por Dhanoa et al. (1985). Porém o modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, obteve resultados inapropriados, conduzindo a indeterminação matemática, assim como observado neste trabalho (tabelas 3 e 4).

Lira (2000) estudou diferentes modelos matemáticos e indicadores para simulação da cinética digestiva e de trânsito do capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e sua verificou que o modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ também não se ajustou aos dados de taxa de passagem de sólidos, demonstrando assim que este modelo não foi adequado para avaliação bicompartimental das taxas de passagem.

Segundo Ellis et al. (1994), a razão k_2/k_1 deve ser acima de 1,5 para que a estimativa do parâmetro taxa para o segundo compartimento seja confiável e se estabeleça uma distinção real da existência de dois compartimentos. No presente estudo esta razão k_2/k_1 do modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, foi aproximadamente 1,01, ficando abaixo de 1,5, independente da fonte de fibra utilizada e do indicador. Isto mostra a ineficácia do modelo em descrever o fenômeno estudado (trânsito de partículas fibrosas).

O modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, proposto por Grovum e Williams, (1973) foi originalmente testado a partir de excreção com Cr-EDTA, indicador mais indicado para representar o fluxo de líquidos pelo trato gastrointestinal. Este procedimento pode justificar a inadequação deste modelo em relação à cinética de partículas, observada no presente trabalho.

Os modelos $G_1(n) \rightarrow O$ (modelo multicompartimental) e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ (modelo bicompartimental com distribuição gama-Z para um compartimento e exponencial para o outro), propostos por Dhanoa et al. (1985) e Pond et al. (1988) respectivamente, apresentaram resultados satisfatórios para as taxas de passagem nos diferentes compartimentos, referentes a k_1 e k_2 . O parâmetro k_2 apresentou maiores estimativas que k_1 , nos diferentes volumosos e indicadores, com a única exceção sendo a cana-de-açúcar marcada com itérbio diante do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, que apresentou resultado contrário.

A razão k_2/k_1 dos modelos $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, verificada nos dados apresentados nas Tabelas 3 e 4, foi próxima ou superior 1,5 (Ellis et al., 1994), tornando confiável a estimativa da taxa do segundo compartimento e estabelecendo assim uma distinção real da existência de dois compartimentos diante dos modelos. A única exceção foi a cana-de-açúcar marcada com itérbio, diante do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, que apresentou razão k_2/k_1 de 0,6674.

O desvio-padrão assintótico (DPA) quantifica a dispersão dos eventos sob distribuição normal em relação à amplitude dos intervalos. Os dados são mais confiáveis quando o DPA se encontra mais próximo de 0, lembrando que existem outros fatores que podem influenciar tais resultados. Os modelos avaliados para taxa de passagem das diferentes fontes de fibra, tiveram distintos valores de DPA. O modelo $G_1(n) \rightarrow O$, cujos dados são provenientes de fibra marcada com cromo, se destacou, com maior confiabilidade dos dados apresentados e DPA menor.

A partir do ensaio de cinética de partículas das quatro fontes de fibra marcadas com dois indicadores distintos (itérbio e cromo), foram analisados os gráficos de dispersão dos dados observados, desconsiderando o ponto referente a 0 horas, de forma padronizada para os modelos $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ (Figuras 1, 2, 3 e 4). Porém o modelo $G_1 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ não será apresentado devido à sua incapacidade de distinguir os compartimentos considerando todas as fontes de fibra avaliadas, bem como dos indicadores.

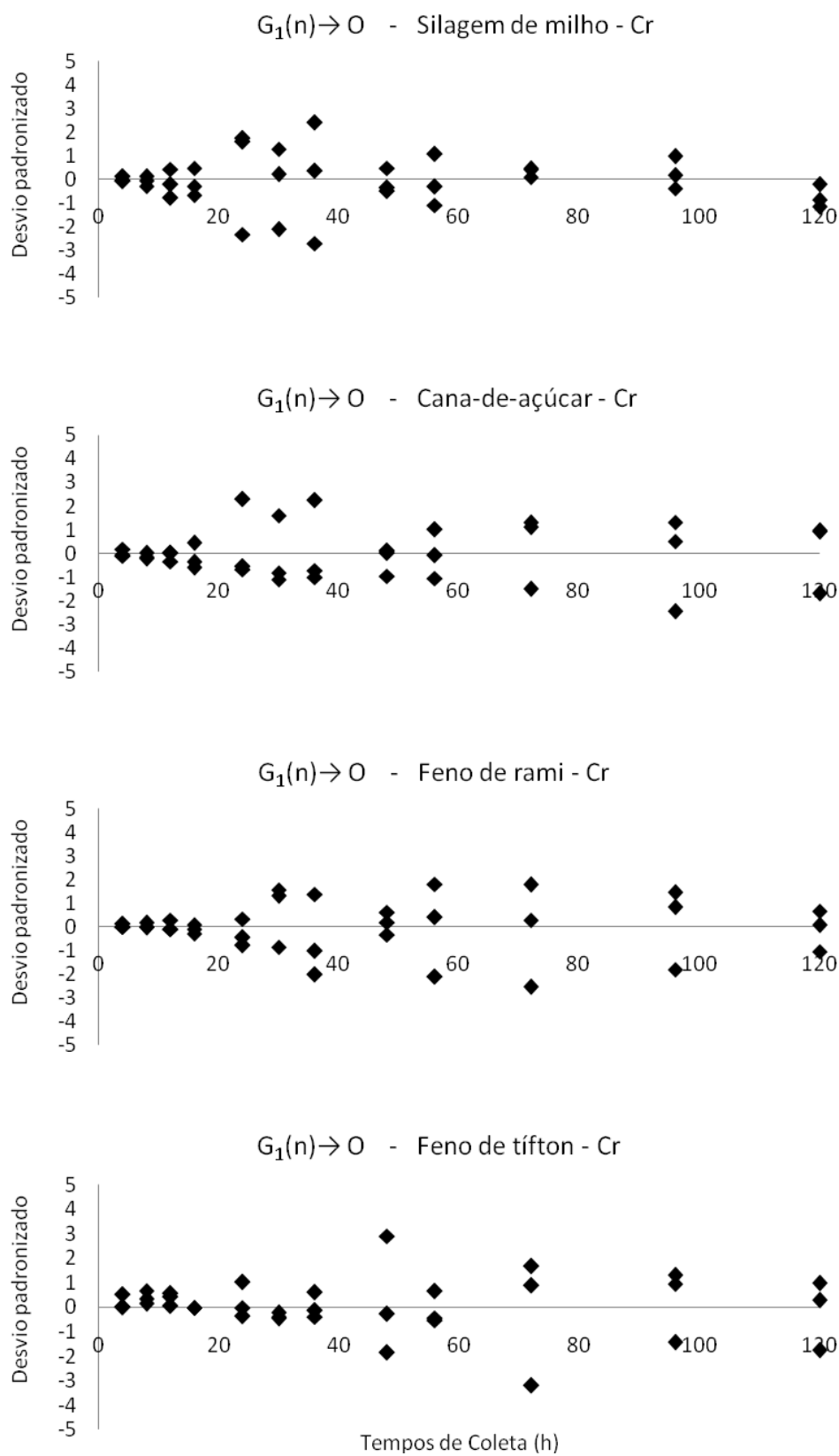


Figura 1 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando cromo como indicador.

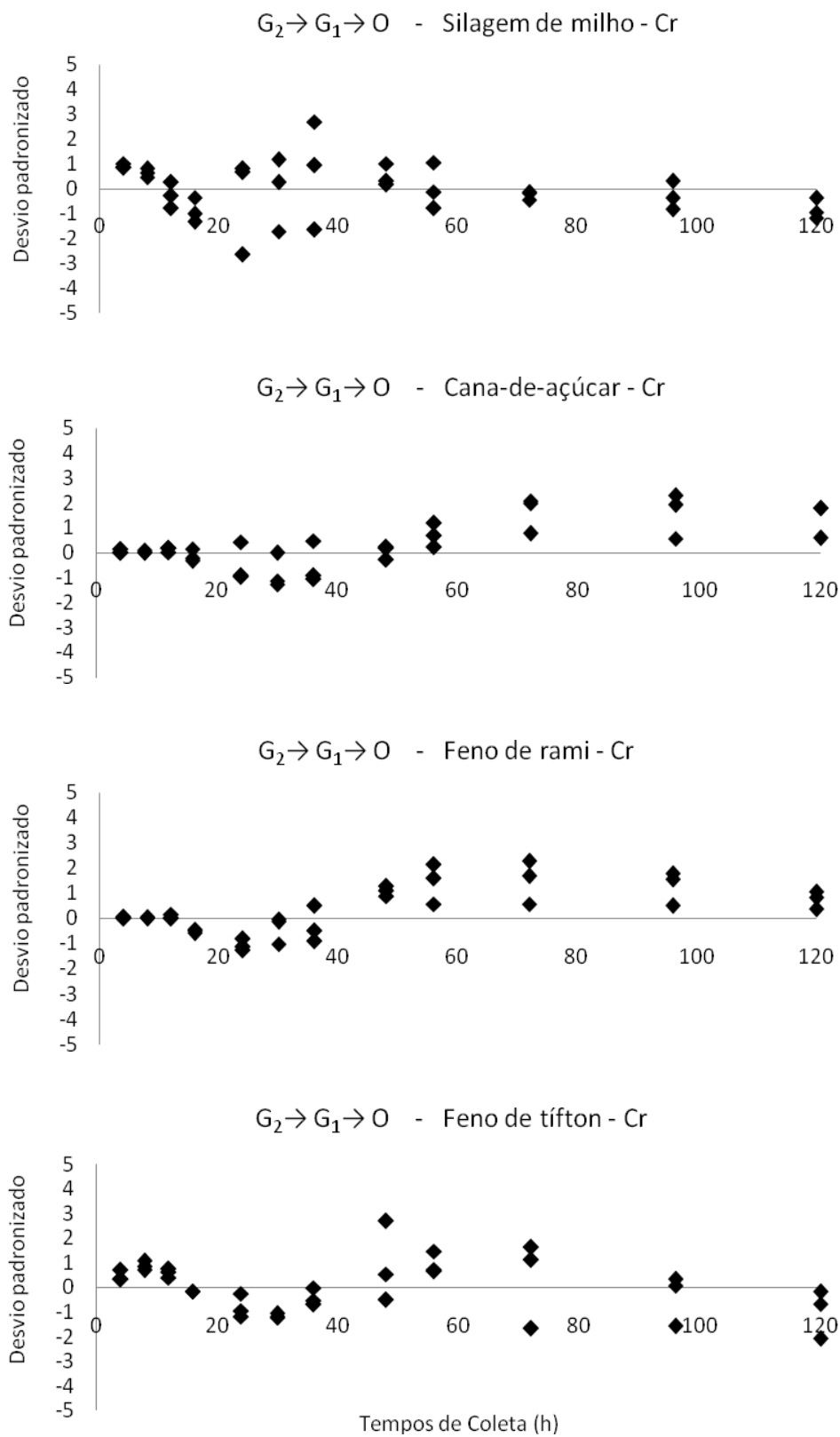


Figura 2 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando cromo como

indicador.

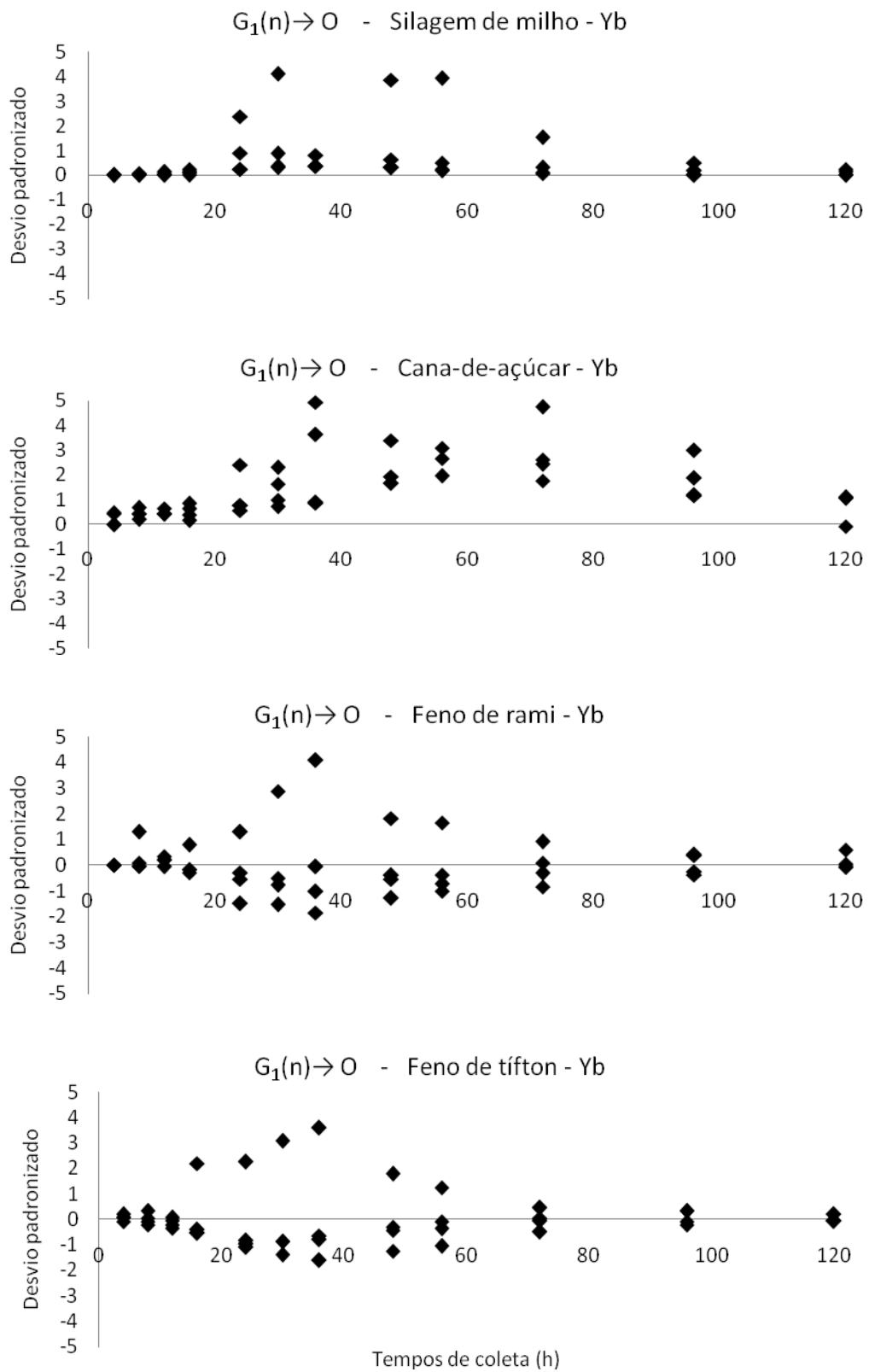


Figura 3 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1(n) \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando itérbio como indicador.

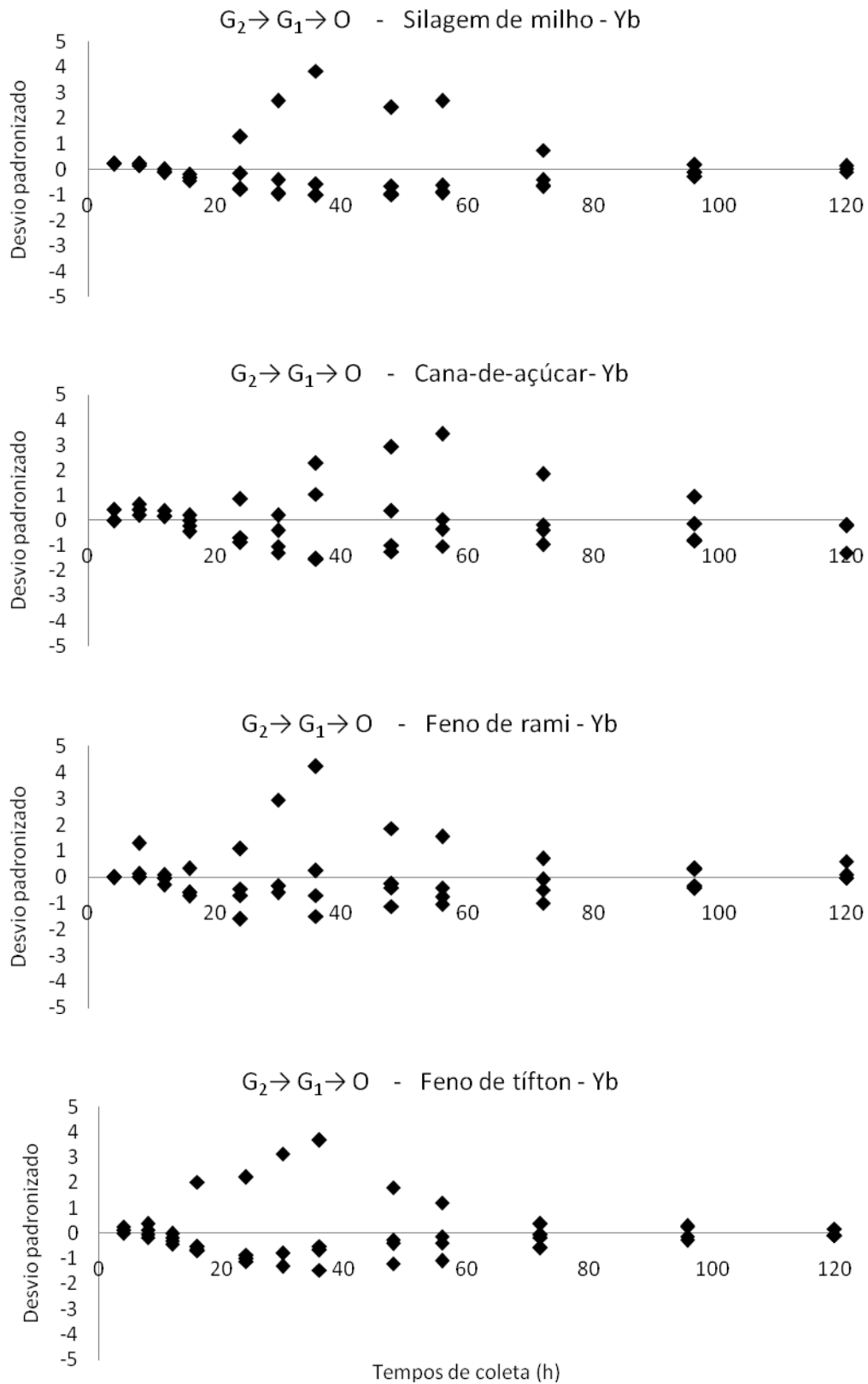


Figura 4 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando itérbio como indicador.

Inicialmente na comparação dos modelos $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, diante das fontes de fibra, marcadas com cromo, (Figuras 1 e 2), observou-se comportamentos distintos. O modelo $G_1(n) \rightarrow O$ se ajustou melhor que o $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ em todas as fontes de fibra, apresentando melhor comportamento gráfico e uniformidade dos pontos de dispersão. Já no modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, observou-se tendência de sub ou superestimação em algumas seções das curvas. Tal fato mostra que as taxas de passagem de partículas das fontes de fibra estudadas quando marcadas com cromo mordente, apresentam comportamento tempo-dependente e o trato gastrointestinal dos novilhos pode ser representado por um número inespecífico de compartimentos exponenciais, com padrão de excreção do indicador sendo definido, principalmente por eventos que ocorram dentro de dois compartimentos principais (rúmen $\rightarrow k_1$ e pós rúmen $\rightarrow k_2$).

Quando são comparados os modelos $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, diante das fontes de fibra marcadas com itérbio (Figuras 3 e 4), os resultados são bem diferenciados em relação ao cromo. Os modelos $G_1(n) \rightarrow O$ e $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ se ajustaram de forma coerente quando observados graficamente para silagem de milho, feno de rami e feno de tífton. Lembrando que na tabela 4 é mostrado que a silagem de milho e o feno de rami obtiveram uma razão k_2/k_1 melhor no modelo $G_1(n) \rightarrow O$, em relação ao $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, e o feno de tífton obteve uma razão k_2/k_1 melhor no modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, em relação ao $G_1(n) \rightarrow O$. Já para cana-de-açúcar, houve melhor ajuste com o modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$, em relação ao modelo $G_1(n) \rightarrow O$, que, apesar de ter um DPA menor, apresentou resíduos sistematicamente positivos na seção intermediária da curva.

Ao comparar os indicadores cromo e itérbio, fixados nas fontes de fibra, verificamos que no modelo $G_1(n) \rightarrow O$, os resultados de taxa de passagem são melhores nas fibras marcadas com cromo, com exceção ao feno de rami, que quando marcado com itérbio apresenta comportamento semelhante ao marcado com cromo. De acordo com Crooker et al. (1982), uma das possíveis explicações para as taxas de passagem proveniente dos dados obtidos a partir da curva de excreção do itérbio, é a solubilização do indicador sob condições ácidas do abomaso. Já no modelo $G_2 \rightarrow G_1 \rightarrow O$ foi verificado resultados distintos para todos as fontes de fibra, onde o indicador itérbio apresentou melhor uniformidade dos dados e melhor dispersão residual.

No presente trabalho foi verificado que o cromo teve melhores resultados quando comparado ao itérbio, para o modelo $G_1(n) \rightarrow O$.

As estimativas dos parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de fluidos, utilizando cobalto-EDTA como indicador, bem como o desvio-padrão assintótico, das fontes

de fibra (silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de rami e feno de tifton), são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativas de parâmetros de modelos não-lineares da taxa de passagem de fluidos utilizando o Cobalto-EDTA como indicador

Parâmetro	Fontes volumosas			
	Silagem de milho	Cana-de-açúcar	Feno de rami	Feno de tifton
	$G_{1 \rightarrow}^{(2)}$			
k	0,0292	0,0285	0,0342	0,0256
DPA ⁽¹⁾	1,53	1,32	1,38	1,23
	$G_{2 \rightarrow}^{(3)}$			
λ	0,0700	0,0767	0,0839	0,0796
k	0,0417	0,0457	0,0500	0,0475
DPA ⁽¹⁾	1,19	1,27	1,33	1,47

*Parâmetros dos modelos, em que k é taxa de trânsito através do compartimento e λ é a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; ⁽¹⁾Desvio-padrão assintótico, . ⁽²⁾ Modelo unicompartmental com distribuição exponencial, tempo-independente e ⁽³⁾ Modelo unicompartmental com distribuição gama, tempo-dependente.

Com o uso do modelo $G_{2 \rightarrow}$, obteve-se maiores taxas de passagem de fluidos e menores DPA. Tal fato mostra que o modelo se ajustou melhor aos dados de taxa de passagem de fluidos, e mostra a dependência do tempo para que haja uma mistura dos fluidos já existentes com os que estão sendo inseridos no compartimento.

Lira (2000) apresentou resultados contraditórios ao realizar a comparação dos modelos $G_{1 \rightarrow}$, $G_{2 \rightarrow}$ e $G_{3 \rightarrow}$, concluindo que o modelo exponencial unicompartmental (G_1) para avaliação da cinética de fluidos mostrou melhor ajuste em relação aos demais, considerando uma completa homogeneização da digesta independente do tempo.

A partir do ensaio de cinética de fluidos das quatro fontes de fibra marcadas com o indicador cobalto-EDTA, foram analisados os gráficos de dispersão dos dados observados, desconsiderando o ponto referente a 0 horas, de forma padronizada para os modelos G_1 (tempo-independente) e G_2 (tempo-dependente de distribuição gama), conforme apresentado nas figuras 5 e 6.

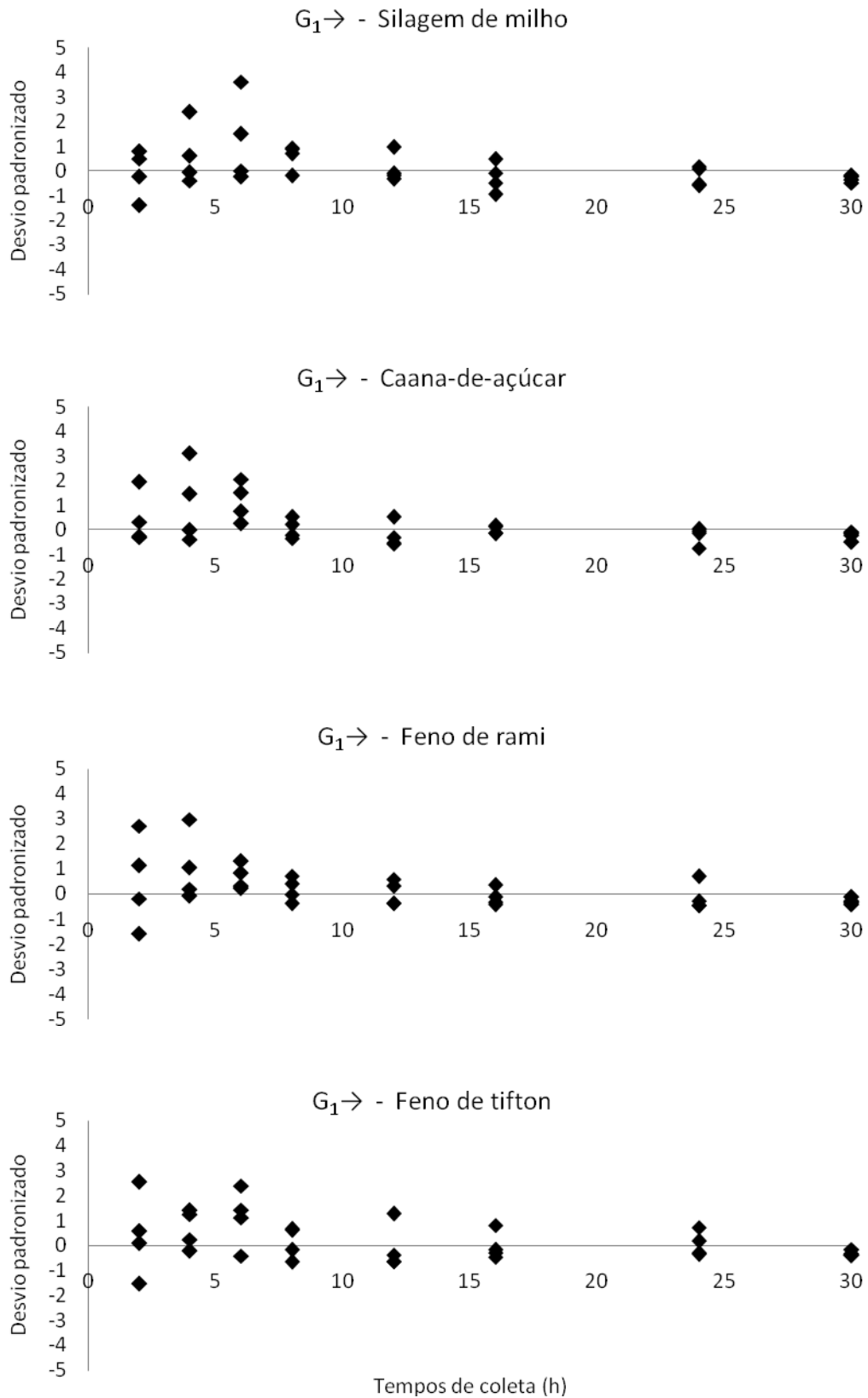


Figura 5 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_1 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando Cobalto-EDTA como indicador.

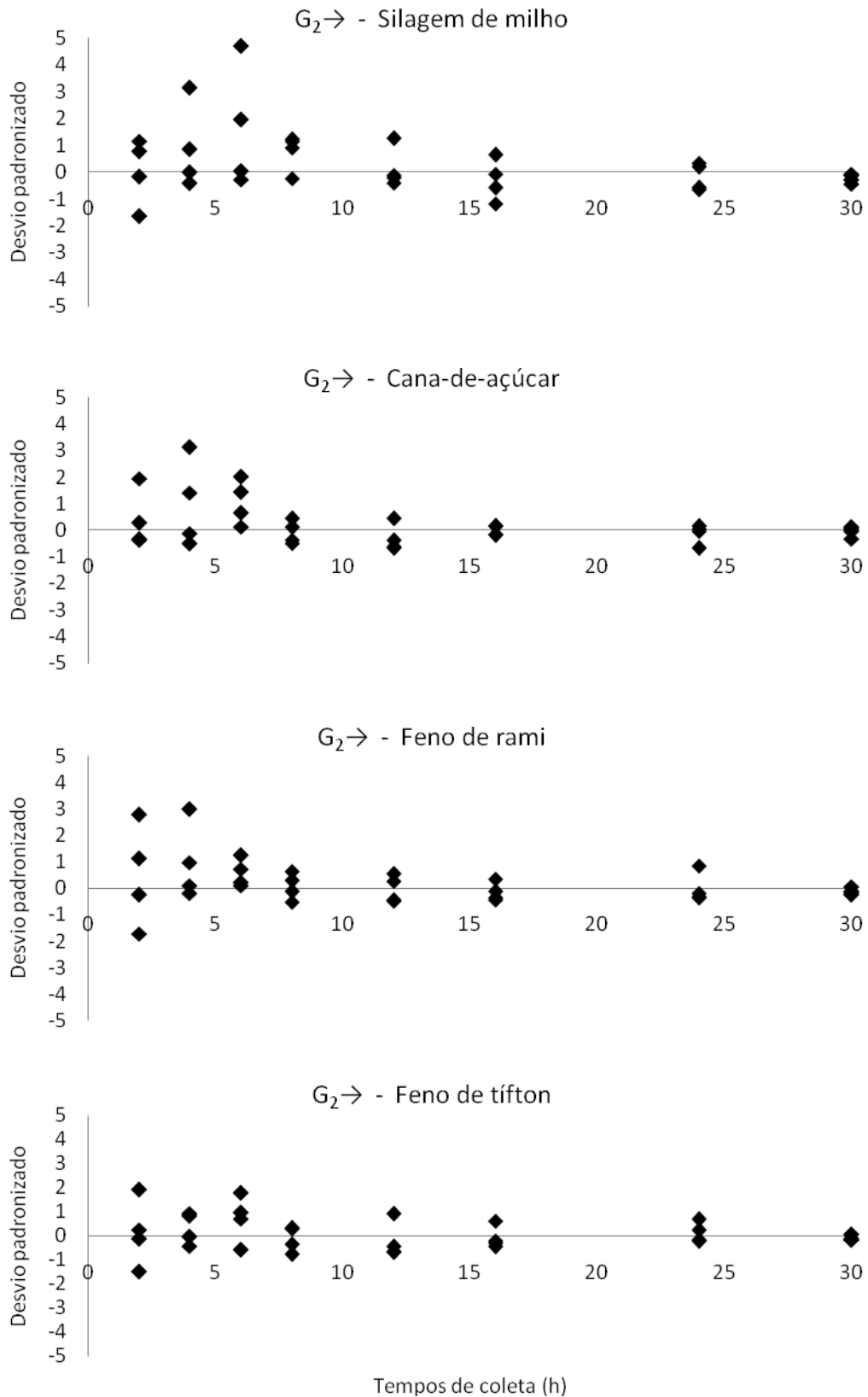


Figura 6 - Dispersão gráfica dos resíduos padronizados nos tempos de coleta (h) do modelo $G_2 \rightarrow O$, para diferentes fontes de fibra, utilizando Cobalto-EDTA como indicador.

Ao comparar visualmente os modelos $G_{1 \rightarrow}$ e $G_{2 \rightarrow}$, propostos por Colucci et al. (1990) e Ellis et al., (1994) respectivamente, observa-se que os resíduos padronizados não apresentaram diferenças significativas. Isso leva a crer que os modelos possuem comportamento semelhante diante dos dados observados das fontes de fibra.

Por outro lado, Lira (2000) estudou os modelos $G_{1 \rightarrow}$, $G_{2 \rightarrow}$ e $G_{3 \rightarrow}$, e concluiu que o modelo G_1 se ajustou melhor as taxas de líquidos que os modelos $G_{2 \rightarrow}$ e $G_{3 \rightarrow}$, afirmando que estes últimos se ajustariam melhor a passagem de partículas, pois necessitariam de um tempo para que ocorresse a mistura das partículas recém chegadas com as partículas já existentes no compartimento, o que está em decadência em relação aos resultados obtidos no presente trabalho.

5 CONCLUSÃO

Dentre os modelos e marcadores estudados, para avaliar a cinética de partículas, o modelo $G_1(n) \rightarrow O$, multicompartimental, e o indicador cromo registraram melhor ajuste para a taxa de passagem de partículas de fontes de fibra distintas.

O modelo $G_2 \rightarrow$, tempo-independente, obteve melhor resultado, comprovando que existe a dependência do tempo para que haja uma mistura dos fluidos já existentes com os que estão sendo inseridos no compartimento.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v.118, p.261-270, 1988.
- ARAÚJO NETO, J. P. "Cana de açúcar na alimentação de ovinos", Publicado em 19/10/2007, disponível em: <http://www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=1558>. Acesso em: 20 de agosto de 2008.
- ASTIGARRAGA, L. Técnicas para la medición del consumo de ruminantes en pastoreo, In: Simpósio Sobre Avaliação de Pastagens com Animais, 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. p.1-23.
- BAUMAN, D.E.; DAVIS, C.L.; FROBISH, R.A. Evaluation of polyethylene glycol method in determining rumen fluid volume in dairy cows fed different diets. **Journal of Dairy Science**, v.54, n.6, p.928-930, 1971.
- BLAXTER, K.L.; GRAHAM, N.McC.; WAINMAN, F.W. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. **British Journal of Nutrition**, v.10, n.2, p.69-91, 1956.
- BURNS, J.C.; POND, K.R.; FISHER, D.S. Measurement of forage intake. In: FAHEY JUNIOR, G.C. **Forage quality, evaluation, and utilization**. Winsconsin: American Society of Agronomy, 1994. p.494-532.
- COELHO SILVA, J.F.; LEÃO, M.I. **Fundamentos de nutrição dos ruminantes**. Piracicaba: Livroceres, 1979. 384p.
- COLEMAN, S.W. The use of ytterbium as a rumen kinetic marker. **Journal of Animal Science**, v.49, n.1, 1979. 38p.
- COLUCCI, P.E.; MACLEOD, G.K.; GROVUM, W.L. et al. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.8, p.2143-2156, 1990.

- CROOKER, B.A.; CLARK, J.H.; SHANKS, R.D. Rare earth elements as markers for rate of passage measurements of individual feedstuffs through the digestive tract of ruminants. **Journal of Nutrition**, v.112, n.7, p.1353-1361, 1982.
- COSTA, M.G. **Cana-de-açúcar e concentrado em diferentes proporções para vacas leiteiras**. Viçosa, MG: UFV, 2004. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- CZERKAWSKI, J.W. Degradation of solid feeds in the rumen: spatial distribution of microbial activity and its consequences. In: MILLIGAN, L.P.; GROVUM, W.L.; DOBSON, A. (Eds) **Control of digestion and metabolism in ruminants**, New Jersey: Prentice Hall, 1986. p.173-195.
- DHANOVA, M.S.; SIDONS, R.C.; FRANCE, J. et al. A multicompartimental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British Journal of Nutrition**, v.53, n.3, p.663-671, 1985.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 407p.
- DUARTE, A.A.; SGARBIERI, V.C.; BENATTI JUNIOR, R. Composição e valor nutritivo da farinha de folhas de rami para animais monogástricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, São Paulo, v.32, n.12, 1997.
- ELLIS, W.C.; MAHLOOJI, M.; LASCANO, C.E. et al. Effects of size in ingestively masticated fragments of plant tissue on kinetics of digestion of NDF. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1602-1615, 2005.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: Fahey Jr., G.C. (Ed.), Forage Quality, Evaluation, Utilization. **American Society of Agronomy**, USA, 1994. p. 682–756.
- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; LASCANO, C. Quantitating ruminal turnover. **Federation Proceedings**, v.38, n.13, p.2702-2706, 1979.
- ELLIS, W.C. Dysprosium as an indigestible marker and its determination by radioactivation analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.16, n.2, p. 220-228, 1968.
- ELLIS, W.C.; WYLIE, M.J.; MATIS J.H. Validity of specifically applied rare earth elements and compartmental models for estimating flux of undigested plant tissue residues through the gastrointestinal tract of ruminants. **Journal of Animal Science**, v.80, n.8, p. 2753–2758, 2002.
- FAICHNEY, G.J. Digesta flow. In FORBES, J.M. e FRANCE, J. (eds) **Qualitative of ruminant digestion and metabolism**. Commonwealth Agricultural Bureaux, Cambridge University Press, England, 1993. p53-85.
- FAICHNEY, G.J. The kinetics of particulate matter in the rumen. In: MILLIGAN, L.P.; GROVUM, W.L.; DOBSON, A. (Eds.) **Control of digestion and metabolism in**

- ruminants. INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON RUMINANT PHYSIOLOGY, 6. 1984, Canada. **Proceedings...** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. p.173-195.
- FERRET, A.; GASA, J.; PLAIXATS, J. et al. Prediction of voluntary intake and digestibility of maize silages given to sheep from morphological and chemical composition, *in vitro* digestibility or rumen degradation characteristics. **Journal of Animal Science**, v.64, p.493-501, 1997.
- FIRKINS, J.L. Effects of feeding nonforage fiber sources on site of fiber digestion. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1426-1437, 1997.
- GRACE, N.D.; BODY, D.R. Short note: the possible use of long chain (C19-C32) fatty acids in herbage as an indigestible faecal marker. **Journal of Agricultural Science**, v.97, n.3, p. 743-745, 1981.
- GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. **British Journal of Nutrition**, v.30, n.3, p.313-329. 1973.
- HAVARD-DUCLOS, B. **Las plantas forrajeras tropicales**. Editorial Blume, Barcelona, 1969. 384p.
- HOPPER, J.T.; HOLLOWAY, J.W.; BUTTS JUNIOR, W.T. Animal variation in chromium sesquioxide excretion patterns of grazing cows. **Journal of Animal Science**, v.46, n.4, p.1096-1102, 1978.
- HRISTOV, A.N.; AHVENJRVI, S.; McALLISTER, T.A. et al. Composition and digestive tract retention time of ruminal particle with functional specific gravity greater or less than 1.02. **Journal of Animal Science**, v.81, p.2639-2648, 2003.
- HUHTANEN, P.; JAAKKOLA, S.; KUKKINEN, U. Ruminal plant cell wall digestibility estimated from digestion and passage kinetics utilizing mathematical models. **Animal Feed Science and Technology**. v.49, n.1/2, p.159-173, 1995.
- HUHTANEN, P.; KUKKONEN, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetics in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, v.52, p.141-158, 1995.
- KOTB, A. R.; LUCKEY, T. D., Markers in nutrition. **Nutrition Abstracts & Reviews.**, v.42, n.3, p.813-845, 1972.
- KOVÁCS, P.L.; SÜDEKUM, K. H.; STANGASSINGER, M. Effects of intake of a mixed diet and time postfeeding on amount and fiber composition of ruminal and faecal particles and digesta passage from the reticulo-rumen of steers. **Animal Feed Science and Technology**, v.71, p.325-340, 1998.
- LANDAU, S. XUE B.; DVASH L. et al. Polyethylene glycol, used to alleviate the negative effects of dietary tannins, can also serve as a marker of fecal output in goats. **Animal Feed Science and Technology**. v.48, n.1, p.37-43, 2003.

- LASCANO, C.; QUIROZ, R. Metodologia para estimar la dinámica de la digestión en ruminantes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Eds.) **Nutrición de ruminantes: guía metodológica de investigación**. San Jose: ALPA/IICA/RISPAL, 1990. p.89-104.
- LIMA, M. A.; VIANA, J. A. C.; RODRIGUES, N. M. O uso do óxido crômico para estimar a produção fecal de novilhos zebu em pastejo. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. v. 9, n. 2, p. 188-202, 1980.
- LIRA, V.M.C. **Utilização de diferentes modelos matemáticos e marcadores para simulação de cinética digestiva e de trânsito do capim braquiária (*Brachiaria decumbens Stapf*)**. Viçosa, MG: UFV, 2000, Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2000. 91p.
- LUGINBUHL, J.M.; POND, K.R.; BUNS, J.C. Changes in ruminal and fecal particle weight distribution of steers fed coastal bermudagrass hay at four levels. **Journal of Animal Science**, v68, p.2864-2873, 1990.
- MACDONALD, A.D.; CLARK, E.A. Water and quality loss during field drying of hay. **Advances in Agronomic**, New York, v.41, p.407- 437, 1987.
- MAYES, R. W; LAMB, C. S.; COLGROVE, P. M. The use of dosed and herbage n-alcanes as markers for the determination of herbage intake. **Journal of Agricultural Science**, v.107, n.1, p.161-170, 1986.
- MATIS, J.H. Gamma time-dependency in Blaxter's compartmental model. **Biometrics**, v.28, n.2, p.597-602, 1972.
- MERCHEN, N.R. Digestion, absorption and excretion in ruminants, In: D.C. CHURCH. **The ruminant animal digestive physiology and nutrition**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988. p.172-201.
- MERTENS, D.R. Análise da Fibra e sua Utilização na Avaliação e Formulação das Rações. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: Sociendade Brasileira de Zootecnia, 1992. p.188-219.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R.; ELY, L.O. Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization – a dynamic model evaluation. **Journal of Animal Science**. v.54, p.895-905, 1982.
- MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. **Anais...** Lavras:UFLA-FAEPE, 2001. p.25-36.
- MORA, P.J.G.; VALADARES FILHO, S.C.; LEÃO, M.L. et al. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia líquida da silagem de milho (*Zea mays* L.) para vacas lactantes. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.25, n.2, p.357-368, 1996.

- MOORE, J.E.; SOLLENBERGER, L. E. Techniques to predict pasture intake. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p.81-96.
- NEEL, J.P.S.; PRIGGE, E.C.; TOWNSEND, E.C. Influence of moisture content of forage on ruminal functional specific gravity and passage of digesta. **Journal of Animal Science**, v.73, p.3094-3102, 1995.
- OFFER, N.W.; DIXON, J. Factors affecting outflow rate from the reticulo-rumen. **Nutrition Abstracts and Reviews**, Series B, v.70, n.11, p.833-844, 2000.
- OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. **Journal of Animal Science**, v.69, p.3435-3445, 1991.
- OLIVEIRA, A.L. Composição química do rami (*Boehmeria nivea*, GAUD.) submetido à adubação orgânica e a diferentes intervalos de cortes. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v.14, n.1, p.53-68. 2007.
- OLIVEIRA, R. L., **Cinética digestiva em novilhos submetidos a dietas com diferentes níveis de cama de frango e suplementos a base de microciota ruminal**, Viçosa, MG: UFV, 1998. 69p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agriculture Science**, v.92, n.2, p.499-503, 1979.
- OSHITA, T.; NONAKA, K.; KUME, S. et al. Effects of forage type on particle size distribution of ruminal digesta and faeces of non-lactating cows fed high quality forage. **Livestock Production Science**, v.91, p.107-115, 2004.
- OWENS, F.N.; HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.9, p.2605-2617, 1992.
- PEREIRA, J.C. **Vacas leiteiras: Aspectos práticos da alimentação**, Ed. Aprenda Fácil, Viçosa, 2000. 198p.
- POND, K.R.; ELLIS, W.C.; MATIS, J.H. et al. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal Nutrition**, v.60, n.3, p.571-595, 1988.
- PRIGGE, E.C.; VARGA, G.A.; VICINI, J.L. et al. Comparison of ytterbium chloride and chromium sesquioxide as fecal indicators. **Journal of Animal Science**, v.53, n.6, p.1629-1633, 1981.
- PUPO, N.I.H.P. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1995. 343p.

- QUIROZ, R.A.; POND, K.R.; TOLLEY, E.A. et al. Selection among nonlinear models for rate of passage studies in ruminants. **Journal of Animal Science**, v.66, n.11, p.2977-2986, 1988.
- RODRÍGUEZ, N.M.; SALIBA, E.O.S.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. Uso de indicadores para estimativa de consumo a pasto e digestibilidade. 43º Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, **Anais...** João Pessoa-PB, 2006.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, JD.; FOX, D.G. et al. A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets: I. Ruminal Fermentation. **Journal of Dairy Science**, v.70, n.11, p.3551-3561, 1992.
- SALIBA, E.O.S. **Caracterização química e microscópica das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja expostos à degradação ruminal e seu efeito sobre a digestibilidade dos carboidratos estruturais**. 1998. 236f. Tese (Doutorado em Ciência Animal)- Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte, 1998.
- SNIFFEN, C.J.; ROBINSON, P.H. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations. **Journal of Dairy Science**, v.70, p.425-441, 1987.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **SAS/STAT user's guide** (Release 8.0). Cary: 1999 (CD-ROM).
- STENSIG, T.; WEISBJERG, M.R.; HVELPLUND, T. Evaluation of different methods. **Acta Agricultural Scandnavian, Section A - Animal Science**, v.48, p141-154, 1998.
- TEETER, R.G.; OWENS, F.N.; MADER, T.L. Ytterbium chloride as a marker for particulate matter in the rumen. **Journal of Animal Science**, v.58, n.2, p.465-473, 1984.
- UDÉN, P.; COLUCCI, E.P.; VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta, rate of passage studies. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- VALADARES FILHO, S.C.; ROCHA JR., V.R.; CAPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. COBAL 2.0**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 297p.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.
- WARNER, A.C.I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. **Nutrition Abstracts & Reviews**, v.51, p.789-820, 1981.
- WEISS, W.P. Energy prediction equations for ruminant feeds. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 61., 1999. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1999. p.176-185.

WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agriculture Science**, v.59, n.3, p.381-385, 1962.