



## Avaliação de marcadores e modelos matemáticos para o estudo das cinéticas de trânsito e de degradação ruminal em novilhos mantidos em pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.)

Virgínia Mendes Cipriano Lira<sup>1</sup>, José Carlos Pereira<sup>2</sup>, Ricardo Augusto Mendonça Vieira<sup>3</sup>, Douglas Sampaio Henrique<sup>4</sup>, Fernando de Paula Leonel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Zootecnia - UFV.

<sup>2</sup> Departamento de Zootecnia - UFV. Pesquisador do CNPq.

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense - RJ.

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Zootecnia - UFV.

**RESUMO** - As cinéticas de passagem de partículas e de fluidos foram estudadas em novilhos mantidos em pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.). Foram feitas análises de variância em um delineamento em blocos casualizados, discriminando-se os efeitos de estação (seca e chuvosa) e de bloco (animais) compondo as parcelas. As duas primeiras análises foram realizadas com base no efeito de marcador de fase sólida (cromo, itérbio e európio) na primeira e de um modelo matemático na segunda, compondo as subparcelas. Na cinética de fluidos, a análise de variância foi feita com os mesmos efeitos descritos para as parcelas e os modelos matemáticos compondo as subparcelas. Os modelos também foram comparados por meio de análise de resíduos. O modelo multicompartmental foi o que melhor se ajustou aos dados observados e o cromo mordente, o que melhor representou o fluxo das partículas, estimando-se taxas de passagem de 0,0283 e 0,0521 h<sup>-1</sup> para os períodos de seca e de chuvas, respectivamente. Os dados da cinética de fluidos foram melhor ajustados pelo modelo exponencial, registrando-se taxas de passagem de 0,1183; 0,0947 e 0,1342 h<sup>-1</sup> para os meses de julho, setembro e janeiro, respectivamente. Na cinética de degradação ruminal, as estações (chuvosa e seca) foram dispostas em esquema de parcelas subdivididas, em delineamento de blocos casualizados, de modo que as estações foram distribuídas nas parcelas e as estimativas dos parâmetros obtidas pelo ajuste de diferentes modelos matemáticos nas subparcelas. A matéria seca da forragem apresentou degradabilidade efetiva de 327 e 279 gkg<sup>-1</sup> para os períodos chuvoso e seco, com perfil de degradação da MS adequadamente descrito pelo modelo de crescimento assintótico de primeira ordem. Na degradação da fibra, os modelos matemáticos de melhor ajuste foram os de crescimento assintótico de primeira ordem corrigido para o período de latência discreta e seu recíproco. A degradabilidade efetiva da fibra foi de 232 e 199 gkg<sup>-1</sup>, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Palavras-chave: cinética da digestão, forrageira, valor nutritivo

## Evaluation of markers and mathematical models to study passage and ruminal degradation kinetics in steers grazing signalgrass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) pasture

**ABSTRACT**- Kinetics of particle and fluid ruminal passage were studied in steers grazing signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.). Analyses of variance were performed according to a completely randomized block design including treatment (dry and rainy seasons) and block effects (animals) in the model. The first analysis was done based on the effects of the particle phase markers (chromium, ytterbium and europium) while the second analysis relied on the mathematical model effect that make up the sub-plots. For fluid kinetics, treatments (four replicates) were assigned to a completely randomized block design in a split-plot arrangement with the experimental period in the main plot and the mathematical models in the sub-plot. Models were compared using residuals. The multicompartmental model was the best fit to the observed data and chromium-mordant the best particulate phase marker with passage rates estimates of 0.0283 and 0.0521 h<sup>-1</sup> in the dry and rainy seasons, respectively. The best fit for passage of fluids was the double compartment exponential model that estimated fluid passage rate of 0.1183, 0.0947 and 0.1342 h<sup>-1</sup> for July, September and January, respectively. For ruminal degradation kinetics, treatments (rainy and dry seasons) were assigned to a completely randomized block design (four replicates) in a split-plot arrangement with the experimental period in the main plot and the parameter estimates obtained by fitting different mathematical models in the sub-plot. The comparisons among models were also done by residual analysis. Effective degradability of forage dry matter was greater in the rainy season (327 gkg<sup>-1</sup>) than in the dry period (279 gkg<sup>-1</sup>). The degradation profile of the forage dry matter was completely explained by the first-order asymptotic growth model. To describe fiber degradation, the best mathematical models fit were the first-order asymptotic growth corrected for discrete lag and its reciprocal. Effective degradability of fiber was 199 and 232 g for dry and rainy seasons, respectively.

Key Words: digestion kinetics, forage, nutritive value

## Introdução

O rúmen é um sistema complexo com conteúdos heterogêneos de digesta líquida e sólida, sujeitos a fluxos diferenciados. A comunidade microbiana é mantida ativa pelo suprimento regular de substrato e os mecanismos que tornam o rúmen um ecossistema singular são a ruminação, a eructação, o suprimento de saliva, a motilidade e a remoção de produtos finais por absorção e passagem (Czerkawski, 1986).

As características cinéticas são o resultado da interação da categoria animal com o alimento ingerido (Ellis et al., 1994), o que torna imprescindível sua estimativa para melhor quantificar o potencial de forrageiras, particularmente aquelas ofertadas sob condições de pastejo e sujeitas à sazonalidade.

A determinação da cinética de trânsito das fases sólida e líquida exige a recuperação de alguma substância indigerível e facilmente identificável, denominada marcador. Sua natureza pode ser assim definida: 1) marcador interno, por ser um constituinte do alimento, como lignina, cromogênios e fibra indigerível; 2) marcador externo solúvel, por não ser parte constituinte do alimento e solubilizar-se à fase líquida, como o polietilenoglicol (PEG) e os complexos de cromo e cobalto formados com o ácido etilenodiaminotetracético (Cr-EDTA e Co-EDTA); 3) mordentes, marcadores de fase sólida, insolúveis, que se ligam covalentemente à fração fibrosa do alimento, como o cromo na forma iônica de dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) e os elementos químicos, como os lantanídeos ou terras raras, como o európio (Eu) e o itérbio (Yb), também na forma iônica; e 4) marcadores sólidos inertes, como partículas plásticas ou substâncias corantes, como os óxidos de ferro e cromo (Owens & Goetsch, 1986; Owens & Hanson, 1992, Thiago & Gill, 1993).

Moore et al. (1992) relataram que o tempo de retenção estimado para o feno marcado com Cr foi maior que o estimado para o feno marcado com terras raras e concluíram que os marcadores não têm propriedades cinéticas semelhantes, mas seu uso nas comparações relativas entre alimentos ou rações é viável.

Assim como no fluxo da digesta, os processos de degradação podem ser descritos por modelos matemáticos. Os mais simples foram desenvolvidos com base na suposição de existência de frações homogêneas ou uniformes para cada nutriente: uma fração solúvel, quando pertinente, uma potencialmente degradável e outra indegradável. Entre elas, a insolúvel, mas potencialmente degradável desperta interesse, pois sua degradação pode ser medida por meio de gravimetria conforme técnica *in situ* e representada em termos matemáticos. Nos modelos com mais de um compar-

timento ou fração, os nutrientes são subdivididos em duas ou mais frações, cada uma uniforme e descrita por uma taxa de degradação característica, o que confere grau de complexidade mais acentuado para estes modelos (Mertens, 1993).

A introdução das braquiárias, principalmente a *Brachiaria decumbens* Stapf., de forma sistemática na formação e reforma de pastagens a partir dos anos 70 contribuiu para o sucesso da pecuária e para sua consolidação no cenário econômico nacional. Apesar de possuir características agronômicas desejáveis, é importante também avaliar seu valor nutritivo para melhor caracterizá-la e auxiliar nas decisões acerca de seu manejo objetivando a alimentação de animais ruminantes.

Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes marcadores e modelos matemáticos na determinação da cinética de trânsito de partículas e de fluidos, além da cinética de degradação ruminal, em novilhos mantidos em pastagem de capim-braquiária durante as estações seca e chuvosa, na Zona da Mata de Minas Gerais.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em área de 2,5 ha, com topografia ondulada e coberta por pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.), situada no município de Viçosa, MG.

Foram utilizados quatro novilhos mestiços Holandês-Zebu com peso médio de 250 kg, fistulados no rúmen, mantidos em regime de pastejo, com livre acesso à suplementação com sal mineral e água.

No período de agosto a dezembro de 1997, foram coletadas manualmente amostras aleatórias da pastagem, formando duas amostras compostas (representando os períodos de seca e de chuva) para se proceder à complexação com cromo (Cr), conforme descrito por Udén et al. (1980), itérbio (Yb) e európio (Eu), de acordo com métodos descritos por Ellis & Beever (1984) e Pereira et al. (1998). A solução contendo o Cr foi preparada com dicromato de sódio, de modo que contivesse Cr equivalente a 13% do total de fibra seca, enquanto as soluções de itérbio e európio foram formuladas para apresentar proporção de 5 mg/g de fibra.

Três amostras de aproximadamente 90 g marcadas com cada um dos elementos foram colocadas diretamente na fístula ruminal de cada animal, efetuando-se, em seguida, as coletas das amostras fecais nos tempos 0, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 40, 48, 56, 64, 72, 84, 96, 108 e 120 horas após a administração.

O período experimental para o estudo da cinética de partículas foi dividido em dois períodos amostrais, um no

mês de setembro de 1997 (estação seca) e outro no mês de janeiro de 1998 (estação chuvosa), nos quais efetuou-se a coleta de amostras fecais, diretamente no reto dos animais, duas vezes ao dia, durante seis dias.

Os teores de Cr nas amostras fecais foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica, com chama de ar-acetileno conforme procedimentos descritos por Williams et al. (1962).

O preparo das amostras para determinação dos teores de Yb e Eu foi feito pelo método descrito por Moore et al. (1992) e as concentrações de Yb e Eu foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, com chama de óxido nitroso-acetileno, com abertura de fenda de 0,2 mm e comprimento de onda de 398,8 nm para o Yb e 459,4 nm para o Eu.

As curvas de concentração dos marcadores de fase sólida foram ajustadas aos modelos: M1 – bicompartimental, conforme Grovum & Williams (1973); M2 – multicompartimental, proposto por Dhanoa et al. (1985); e M3 – modelo bicompartimental com distribuição gama para um compartimento e exponencial para o outro (G2G1), descrito por Pond et al. (1988), relacionados abaixo, respectivamente:

$$\text{Modelo 1 (M1): } \begin{cases} Y = 0 & \text{para } 0 \leq t < TT \\ Ae^{-k_1(t-TT)} - Ae^{-k_2(t-TT)} & \text{para } t \geq TT \end{cases}$$

em que Y representa a concentração do marcador na MS fecal em função do tempo, t; A, o parâmetro de escala;  $k_1$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de passagem no rúmen; e  $k_2$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de passagem no restante do trato gastrintestinal; e TT (h), o tempo entre a administração do marcador e o início de seu aparecimento nas fezes.

$$\text{Modelo 2 (M2): } Y = Ae^{-k_1 t} \exp[-Be^{-k_2 t}]$$

em que Y é a concentração fecal do marcador em determinado tempo, t (h); A e B, os parâmetros de escala;  $k_1$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de passagem no compartimento 1; e  $k_2$  ( $h^{-1}$ ), a taxa de passagem no compartimento 2.

Modelo 3 (M3):

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

em que  $C_2$  é a concentração inicial do marcador no segundo compartimento;  $k_2$ , a taxa para os tempos de permanência com distribuição exponencial; t, o tempo após a dosagem do marcador; TT, o tempo de trânsito;  $\lambda_1$ , a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; e  $\delta = \lambda_1 / (\lambda_1 - k_2)$ .

Para o modelo M2, o tempo de trânsito (TT) foi calculado pela equação:

$$TT(h) = 1 / [k_2 + (i - 2)(k_2 - k_1)]$$

considerando  $i = 3$ , que representa o número mínimo de compartimentos.

Os tempos de retenção no rúmen-retículo ( $TR_1$ ) e pós-ruminal ( $TR_2$ ), assim como o tempo médio de retenção (TMR) e o tempo de retenção total (TMRT) foram calculados, para os modelos M1 e M2, da seguinte forma (Colucci et al., 1990):

$$TR_1(h) = 1 / k_1$$

$$TR_2(h) = 1 / k_2$$

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

$$TMRT(h) = TMR + TT$$

Para o modelo M3, os tempos de retenção ruminal ( $TR_1$ ) e pós-ruminal ( $TR_2$ ) foram determinados segundo Pond et al. (1988):

$$TR_1 = 2 / \lambda_1 + 1 / k_2$$

$$TR_2 = TT$$

enquanto os demais parâmetros foram estimados da mesma forma que para os modelos M1 e M2.

Para o estudo da cinética de fluidos, foram realizadas amostragens em três períodos distintos: nos meses de julho e setembro de 1997 e no mês de janeiro de 1998.

A taxa de passagem de líquidos foi estimada utilizando-se o Co-EDTA como marcador, preparado de acordo com método descrito por Udén et al. (1980). O Co-EDTA foi administrado diretamente no rúmen, em dose única de 5 g, diluídos em 200 mL de água destilada. Em seguida, foram coletadas amostras do líquido ruminal, por sucção, com o auxílio de bomba de vácuo, nos tempos zero (antes da infusão) e 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24 e 48 horas após a infusão, conforme procedimentos descritos por Colucci et al. (1990). As amostras foram filtradas em gaze, acondicionadas em frascos de vidro e estocadas a  $-5^\circ\text{C}$ , para posterior determinação do teor de cobalto. Depois de descongeladas à temperatura ambiente foram centrifugadas a 16.000 g por 15 minutos, a  $22^\circ\text{C}$ , determinando-se os teores de cobalto no sobrenadante, por espectrofotometria de absorção atômica, com chama de ar-acetileno, comprimento de onda de 240,7 nm e abertura de fenda de 0,2 mm.

A descrição dos perfis de concentração do cobalto foi realizada utilizando-se os modelos descritos por Pond et al.

(1988), ajustados com o auxílio do programa SAEG (UFV, 1995), por meio dos modelos Gama 1 ou exponencial (G1), Gama 2 (G2) e Gama 3 (G3):

$$(G1): Y = Ce^{-kt};$$

$$(G2): Y = C\lambda te^{-\lambda t} / F;$$

$$(G3): Y = C\lambda^2 t^2 e^{-\lambda t} / (2F).$$

em que Y é a concentração do marcador; C, a concentração inicial do marcador no compartimento; k, a taxa para os tempos de permanência com distribuição exponencial; t, o tempo após a dose do marcador;  $\lambda$ , a taxa para os tempos de permanência com distribuição gama; F, uma constante proveniente da função gerada a partir da proporção de marcador que emerge do compartimento, equivalente a 0,59635 no modelo G2, e a 0,47454 no modelo G3.

Os parâmetros da dinâmica da fase líquida, do tempo de retenção no rúmen-retículo (TRRR), do volume de líquido ruminal (VLR) e do fluxo de líquido ruminal (FLR) foram calculados para o modelo M1 conforme Colucci et al. (1990):

$$TRRR(h) = 1/k$$

$$VLR(L) = Co / C$$

em que Co (mg) é a quantidade de cobalto fornecido e C (mg/L), a concentração de equilíbrio de cobalto.

$$FLR(L h^{-1}) = k \cdot VLR$$

Os parâmetros cinéticos para os modelos G2 e G3, tempo-dependentes, foram determinados como a seguir (Pond et al., 1988):

$$k(h^{-1}) = F \cdot \lambda$$

$$TRRR_{G2}(h) = 2 / \lambda$$

$$TRRR_{G3}(h) = 3 / \lambda$$

sendo os demais parâmetros calculados como demonstrado para o modelo G1.

A taxa de reciclagem da fase líquida (REC) foi calculada conforme procedimentos citados por Bürger et al. (2000):

$$REC = 24h / TRRR$$

As amostragens para determinação da cinética de degradação ruminal foram conduzidas durante os meses de agosto e setembro de 1997 (estação seca) e dezembro de 1997 e janeiro de 1998 (estação chuvosa).

Durante 12 dias em cada estação, foi coletado material representativo da pastagem por meio de corte manual, como simulação de pastejo, tomando como base os hábitos alimen-

tares dos animais experimentais. As amostras coletadas foram compostas para cada estação e, em seguida, colocadas em estufa com ventilação forçada a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  por 72 horas – parte processada em moinho com peneira de 5 mm, para posterior incubação no rúmen, e parte em moinho com peneira de 1 mm para determinação da composição bromatológica. Foram determinados os teores de MS, PB, FDN e FDA, NIDN e NIDA, LIG, CIN e MO (Krishnamoorthy et al., 1982; AOAC, 1990; Van Soest et al., 1991).

As bolsas utilizadas para os ensaios de digestão *in situ* da MS e da fibra foram confeccionadas em náilon com porosidade média de 50  $\mu\text{m}$  e suas dimensões (6,5  $\times$  13 cm) resultaram em 169  $\text{cm}^2$  de superfície. Nas bolsas de massa previamente conhecida, foram depositados aproximadamente 24 mg de MS de amostra moída a 5 mm por  $\text{cm}^2$  de superfície de bolsa. As incubações foram feitas em duplicata nos tempos 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 e 96 horas no rúmen dos novilhos confinados em baias individuais, alimentados à vontade com capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum. cv. Mineiro) picado, sal mineral e água.

Terminado o período de incubação, as bolsas foram lavadas em água corrente para eliminação dos resíduos de conteúdo ruminal e aquelas relativas ao tempo zero foram submetidas ao mesmo processo para estimação das frações solúveis da MS. Em seguida, o material foi seco sob ventilação forçada a  $80^\circ\text{C}$  durante 48 horas e sua massa foi determinada com resolução de 0,1 mg. O conteúdo de cada bolsa foi processado em moinho com peneira de 1 mm, para análise de MS e de fibra, seguindo as metodologias empregadas na determinação da composição bromatológica.

Os modelos utilizados para determinação da cinética de degradação ruminal foram: M1 - modelo correspondente à curva de crescimento assintótico de primeira ordem, proposto por Ørskov & McDonald (1979); M2 - modelo equivalente à lei do decaimento exponencial de primeira ordem corrigido para o período de latência discreto, proposto por Mertens & Loften (1980); e M3 - modelo proposto por Dhanoa (1988), que equivale à curva de crescimento de primeira ordem corrigida para a fase de latência discreta, assim discriminados, respectivamente:

$$M1: Y = a + b(1 - e^{-ct})$$

$$M2: \begin{cases} Y = b + I, & 0 \leq t \leq L \\ Y = be^{-c(t-L)} + I, & t > L \end{cases}$$

$$M3: \begin{cases} Y = a, & 0 \leq t \leq L \\ Y = a + b[1 - e^{-c(t-L)}], & t > L \end{cases}$$

em que  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , e  $L$  correspondem, respectivamente, à fração solúvel do substrato, à fração insolúvel potencialmente degradável, à taxa de degradação da fração  $b$  e à fração indegradável. Os parâmetros de degradabilidade potencial (DP) e efetiva (DE) foram estimados de acordo com Ørskov & McDonald (1979), Dhanoa (1988) e Mertens & Loften (1980):

$$\begin{cases} DP = a + b \\ DE = a + bc/(c + k) \quad \text{ou} \\ DE = a + be^{-kL}c/(c + k), \quad \text{quando } L > 0 \end{cases}$$

em que  $k$  representa as estimativas das taxas de passagem de partículas do capim-baquiária obtidas durante os períodos seco e chuvoso. Em todos os casos, quando o nutriente em estudo foi a fibra, supôs-se  $a = 0$ .

Os tratamentos, para a cinética de passagem de partículas, foram dispostos em um esquema em blocos casualizados, sendo as estações seca e chuvosa os efeitos de tratamentos e os animais os efeitos de blocos, compondo as parcelas.

Para a cinética de fluidos, os tratamentos foram dispostos em um esquema de parcelas subdivididas, tendo como parcelas os períodos experimentais (julho, setembro e janeiro) e como subparcelas os modelos matemáticos, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições.

As comparações entre modelos foram feitas por meio de análise de resíduos padronizados conforme Draper & Smith (1966). Foi efetuada a dispersão dos resíduos padronizados em função dos tempos de incubação e analisado o comportamento gráfico, ou seja, sua uniformidade e proximidade de zero. Quando observada alguma tendência na dispersão dos resíduos, o modelo foi considerado menos adequado à descrição dos perfis de excreção fecal do marcador.

No estudo da cinética de degradação ruminal, os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, tendo como parcelas as estações chuvosa e seca e, como subparcelas, os modelos matemáticos, obedecendo a um delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em que cada animal foi considerado um bloco.

As comparações entre modelos foram feitas por meio de análise de resíduos padronizados, conforme descrito por Draper & Smith (1966). A dispersão dos resíduos foi feita de acordo com os tempos de incubação e os perfis foram analisados quanto à uniformidade e proximidade de zero. Quando observada alguma tendenciosidade na dispersão dos resíduos, o modelo foi considerado menos apropriado à descrição dos perfis de degradação dos nutrientes.

Os dados das estimativas dos parâmetros cinéticos

foram submetidos à análise de variância e, quando apropriados, suas médias foram comparadas por meio do teste de Student-Newman-Keuls, a 0,05 de probabilidade.

## Resultados e Discussão

A partir do ensaio de cinética de partículas, foram analisadas as curvas de dispersão dos dados observados para os três marcadores estudados em relação aos dois períodos experimentais, desconsiderando os pontos anteriores à aparição do marcador nas fezes.

Os modelos e marcadores foram comparados por meio da representação gráfica dos valores estimados em relação aos valores observados, para que se determinassem o modelo e o marcador que melhor representasse a cinética do capim-braquiária, com base na análise de resíduos padronizados. O comportamento dos desvios padronizados para cada modelo utilizado, em relação ao padrão de excreção do cromo mordente, está representado na Figura 1. Pela análise visual dos resíduos padronizados, verifica-se melhor ajuste dos modelos M2 e M3, que apresentaram maior uniformidade de dispersão em relação ao M1.

O modelo M1 foi originariamente testado a partir da excreção do Cr-EDTA, marcador mais indicado para representar o fluxo de líquidos pelo trato gastrointestinal (Grofum & Williams, 1973), o que pode justificar a inadequação deste modelo em relação à cinética de partículas (Figura 1). Além disso, as estimativas das taxas de passagem pelo rúmen e pelo pós-rúmen, geradas pelo modelo M1, foram muito próximas. Essa condição foi explicada por Ellis et al. (1994) como resultado de ajustamento de um modelo que especifica dois compartimentos tempo-independentes a dados provenientes de compartimentos tempo-dependentes e a existência de dois compartimentos aproximadamente de mesma massa, e conseqüentemente com taxas semelhantes, ou, ainda, a existência de um compartimento tempo-dependente, em vez de dois compartimentos tempo-independente distintos. A ocorrência de duas taxas iguais é inconsistente com a hipótese de existência de dois compartimentos seqüenciais.

Moore et al. (1992) detectaram diferenças entre o uso de modelos tempo-dependente (GnG1) e o modelo proposto por Grofum & Williams (1973) quanto à determinação da taxa de passagem no rúmen-retículo.

Quiroz et al. (1988), estudando modelos não-lineares para descrição da cinética de partículas, concluíram que o modelo exponencial G1G1 foi o mais apropriado para líquidos, o modelo tempo-dependente G2G1 para partículas pequenas e médias e o modelo G3G1 para partículas grandes. Diferenças no tipo de forragem, no tamanho de partículas

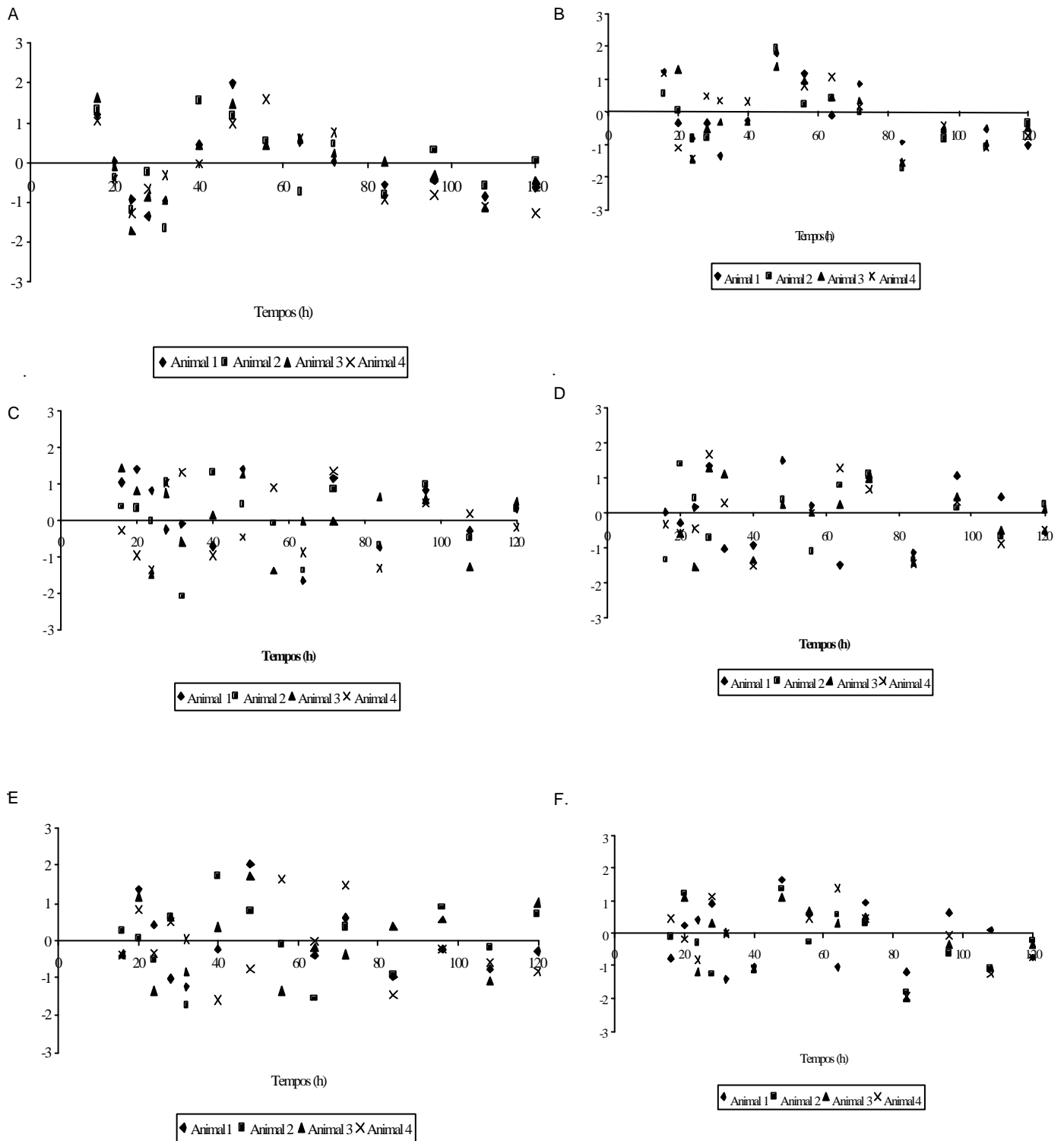


Figura 1 - Estimativas dos resíduos padronizados das concentrações de cromo (Cr), em função dos tempos de coleta para os modelos M1 (a, b), M2 (c, d) e M3 (e, f) nas estações seca (a, c, e) e chuvosa (b, d, f).

Figure 1 - Estimates of the studentized residuals of Chromium concentrations (Cr) plotted against collected time for the models M1 (a, b), M2 (c, d) and M3 (e, f) in dry (a, c, e) and rainy (b, d, f) seasons.

marcadas e na espécie animal podem influenciar na escolha do modelo. Portanto, é possível que o ajuste dos dados apresentados neste trabalho a modelos com distribuição superior (G3, G4...) pudesse apresentar melhor resultado.

Pond et al. (1988) mostraram que o efeito da ordem de distribuição gama influencia no ponto de pico da curva, no tempo de trânsito e nas fases ascendente e descendente. Comparando os marcadores por meio da análise de resíduos,

determinou-se, então, que os valores estimados a partir das curvas de regressão do cromo mordente, utilizando-se o modelo M2, representaram melhor os dados deste ensaio.

Não foram observadas diferenças significativas entre marcadores na estimação da taxa de passagem no retículo-rúmen, todavia, o tempo de retenção no pós-rúmen e o tempo médio de retenção foram maiores ( $P < 0,05$ ) quando estimados a partir dos resultados obtidos com o cromo mordente (Tabela 1).

Mader et al. (1984) observaram menor digestibilidade do material marcado com cromo, inibindo a redução do tamanho de partículas e a taxa de passagem. Também observaram menor taxa de passagem no pós-rúmen, provavelmente em razão da migração do marcador de partículas menores para as maiores, aumentando o tempo de retenção no rúmen e, conseqüentemente, subestimando a passagem pelo pós-rúmen.

Hartnell & Satter (1979) recomendaram o uso de terras raras por sua complexação com frações de baixa digestibilidade, como a lignina, que determinaria menor possibilidade de migração. Esses autores registraram percentuais em torno de 10% de migração para partículas não marcadas.

Dhanoa et al. (1985) verificaram maior taxa de passagem ruminal para o Yb em relação ao cromo mordente, que acreditaram ser decorrente de possível inibição da ação dos microrganismos, com conseqüente redução da taxa de degradação, promovida pelo processo de preparo do mordente.

Quanto à cinética de fluidos, dos três modelos testados, o exponencial unicompartimental (G1) apresentou melhor ajuste, para todos os períodos experimentais, de acordo com a análise de resíduos padronizados (Figura 2).

Tabela 1 - Valores médios dos tempos de retenção pós-ruminal ( $TR_2$ ) e dos tempos médios de retenção (TMR) estimados por meio da curva de excreção dos marcadores cromo mordente, itérbio e európio

Table 1 - Average values of post-rumen retention time ( $RT_2$ ) and mean retention time (MRT) estimated by mordant chromium, ytterbium and europium excretion curves

	$TR_2$ (h) $RT_2$	TMR (h) MRT
Cromo (Chromium)	13,91a	51,75a
Itérbio (Ytterbium)	11,35b	40,05b
Európio (Europium)	11,11b	42,70b

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem ( $p < 0,05$ ) pelo teste Student-Newman-Keuls.

Means followed by at least one similar letter in the column do not differ by Student-Newman-Keuls test ( $p < 0,05$ ).

Os modelos unicompartimentais com distribuição gama tempo-dependente (G2 e G3) parecem se ajustar melhor à cinética de partículas, visto que a distribuição tempo-dependente representa o tempo de mistura das partículas recém-chegadas com as já existentes no compartimento.

Moore et al. (1992) obtiveram resultados de comparação de modelos compatíveis aos deste trabalho e comprovaram que o modelo exponencial bicompartimental (G1G1) foi o mais adequado aos dados de cinética de fluidos.

Não houve diferenças estatísticas entre os meses de julho e janeiro para os parâmetros da cinética de fluidos. No mês de setembro, no entanto, observou-se menor taxa de passagem de fluidos (Tabela 2). O fluxo de marcador no mês de janeiro (período chuvoso) deveria ser maior, em razão da maior taxa de diluição esperada nesta época do ano. Entretanto, esse efeito não foi observado neste trabalho (Tabela 2).

Segundo Owens & Goetsch (1986), a taxa de passagem de fluidos é influenciada pelo nível de ingestão, o que pode ter relação com os resultados supracitados. Adams & Kartchner (1984) identificaram decréscimo linear do volume de líquido ruminal e aumento da taxa de passagem, como resultado do incremento do consumo de MS, o que pode estar relacionado ao aumento na produção de saliva.

No presente estudo, as estimativas para o volume de líquido ruminal variaram de 149,3 L, para o menor consumo, a 99,5 L, para o maior consumo.

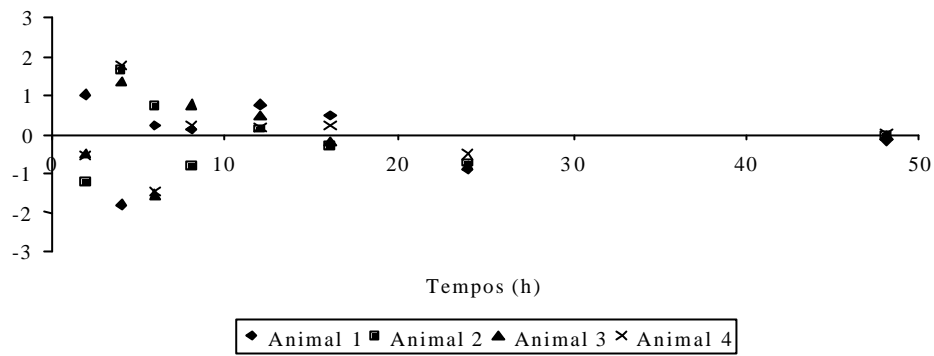
Os modelos G3 e G2 produziram estimativas para a taxa de passagem de líquidos superiores às encontradas na literatura, indicando que suas estimativas para o tempo de retenção foram baixas (Tabela 3).

Observando a composição bromatológica (Tabela 4) em relação às estações do ano, nota-se maior teor de MS no material colhido durante a estação seca, em relação à estação chuvosa – tendência registrada também para os teores de cinzas, fibra, celulose e lignina.

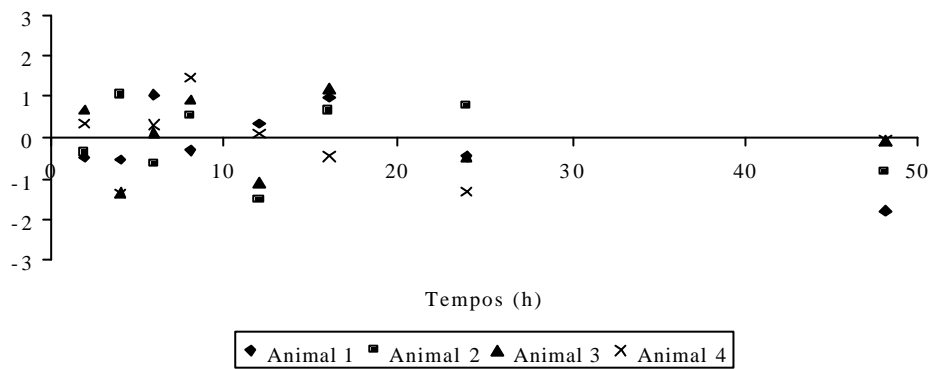
Ao contrário, considerando-se o maior acúmulo de conteúdo celular no período de chuva, os teores de proteína foram proporcionalmente maiores que os do período de seca (Tabela 4).

Morais et al. (1998) e Botrel et al. (1994), para efeito de comparação aos resultados deste estudo, encontraram valores para a fibra, celulose e lignina, para *aB. decumbens*, de, aproximadamente, 830, 430 e 100 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, no mês de agosto, e 740, 360 e 60 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, no mês de janeiro. Além disso, registraram valores de PB de 67 e 84 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca nos períodos de seca e de chuva, respectivamente. Neste estudo, o longo período de vedação do pasto e a ausência de adubação podem justificar os

Julho (July)



Setembro (September)



Janeiro (January)

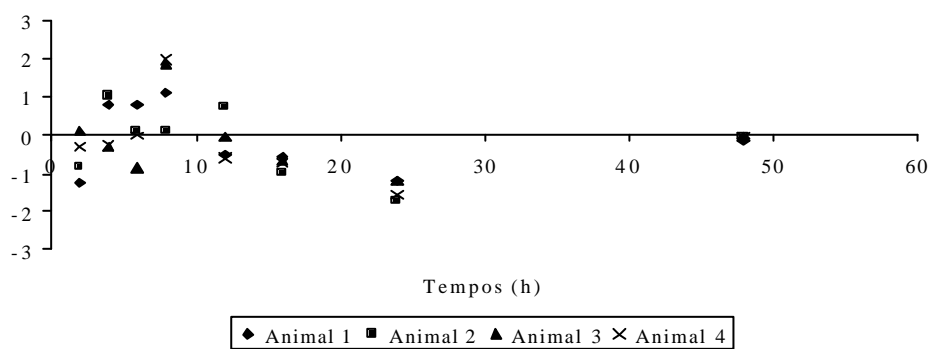


Figura 2 - Estimativas dos resíduos padronizados do modelo G1 quanto às concentrações de cobalto (Co), em função dos tempos de coleta, para os meses de julho, setembro e janeiro.

Figure 2 - Estimates of the standardized residuals of cobalt (Co) concentrations plotted against the collected times for G1 model in the months of July, September and January.



Tabela 2 - Valores médios das taxas de passagem de fluidos (k), dos tempos de retenção no rúmen-retículo (TRRR) e da taxa de reciclagem de líquidos (REC), de acordo com o período experimental

Table 2 - Average values of fluid passage rate (k), mean retention time in rumen-reticulum (RRRT) and fluid recycling rate (FRR) for each experimental period

	k (h <sup>-1</sup> )	TRRR (h) RRRT	REC FRR
Julho July	0,1979a	6,64b	3,82a
Setembro September	0,1694b	8,43a	3,26b
Janeiro January	0,2108a	6,15b	4,10a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem (p<0,05) pelo teste Student-Newman-Keuls.

Means followed by at least one similar letter in the column do not differ by Student-Newman-Keuls test (p<0,05).

menores teores de PB. Outra possibilidade é a ausência de correção dos resultados de PB em relação à análise de uma substância como referência (lisina de alta pureza), que possibilita a correção das perdas de nitrogênio amínico durante o processo de análise pelo método Kjeldahl (AOAC, 1990).

No estudo da cinética de degradação ruminal, as estimativas das taxas de passagem de partículas utilizadas no cálculo das degradabilidades efetivas dos nutrientes foram de 0,0283 e 0,0521 h<sup>-1</sup> para os períodos seco e chuvoso, respectivamente.

Realizou-se a dispersão dos dados de MS e fibra em função dos tempos de incubação. Posteriormente, os modelos foram ajustados aos dados e comparados entre si, observando-se a melhor representação dos valores estimados em relação aos analisados. Verificou-se, então, que não houve diferença entre modelos no ajuste aos dados de MS e fibra nos períodos de seca e de chuva. A análise de resíduos padronizados não revelou diferenças quanto ao comportamento gráfico dos mesmos. Na Figura 3 são representados como exemplo os gráficos dos desvios referentes ao modelo M1.

Não houve correção para o tempo de latência no modelo M1, ao contrário dos modelos M2 e M3. No entanto, não

Tabela 3 - Valores médios das estimativas dos parâmetros da taxa de passagem de líquidos (k), do tempo de retenção no rúmen-retículo (TR), da taxa de reciclagem (REC), do volume de líquido ruminal (VLR) e do fluxo de líquido ruminal (FLR)

Table 3 - Average values of the estimated parameters for fluid passage rate (k), rumen-reticulum mean retention time (RRRT), fluid recycling rate (FRR), ruminal fluid volume (RFV) and ruminal fluid flow (RFF)

Modelo Model	Período Period	Parâmetro Parameter				
		k (h <sup>-1</sup> )	TRRR(h) RRRT	REC FRR	VLR(L) RFV	FLR (L h <sup>-1</sup> ) RFF
G1	Julho July	0,1182	8,63	2,84	99,89	11,83
	Setembro September	0,0947	11,80	2,27	130,64	12,66
	Janeiro January	0,1342	7,67	3,22	93,75	12,52
G2	Julho July	0,1945	6,20	3,91	83,14	16,23
	Setembro September	0,1676	7,46	3,37	104,11	17,96
	Janeiro January	0,2081	5,82	4,19	80,82	16,84
G3	Julho July	0,2811	5,10	4,74	70,75	19,92
	Setembro September	0,2458	6,02	4,14	89,31	22,51
	Janeiro January	0,2902	4,96	4,89	69,73	20,28

foram verificadas diferenças no comportamento dos dados, provavelmente pelo fato de os tempos de latência não terem sido elevados o suficiente para que houvesse diferença entre as estimativas dos modelos.

Os modelos M2 e M3 apresentaram valores maiores para a fração solúvel da MS, provavelmente em razão da correção para o tempo de latência. O modelo M1, sem correção para o tempo de latência, apresenta solução convergente, com valores menores para a fração solúvel (Tabela 5).

Certamente pela mesma razão, valores inversos foram encontrados para a fração insolúvel potencialmente degradável, ou seja, os valores da fração b para o modelo M1 foram maiores, pois, considerando-se a fração indigerível

Tabela 4 - Concentração de MS, MO, CIN, PB, CEL, HEM, LIG, NIDN e NIDA da pastagem nas estações seca e chuvosa

Table 4 - Contents of DM, OM, ash, CP, CEL, HEM, LIG, NDIN, and ADIN of the pasture in the dry and rainy seasons

Estação Season	MS <sup>1</sup> DM	MO <sup>2</sup> OM	CIN <sup>2</sup> Ash	PB <sup>2</sup> CP	Fibra <sup>2</sup> Fiber	CEL <sup>2</sup> CEL	HEM <sup>2</sup> HEM	LIG <sup>2</sup> LIG	NIDN <sup>2</sup> NDIN	NIDA <sup>2</sup> ADIN
Seca Dry	587	957	43	28	834	391	352	73	1,7	1,4
Chuvosa Rainy	273	962	38	54	794	342	369	68	2,5	2,1

<sup>1</sup> g kg<sup>-1</sup> de matéria natural (g kg<sup>-1</sup> in natura).

<sup>2</sup> g kg<sup>-1</sup> de matéria seca (g kg<sup>-1</sup> of dry matter).

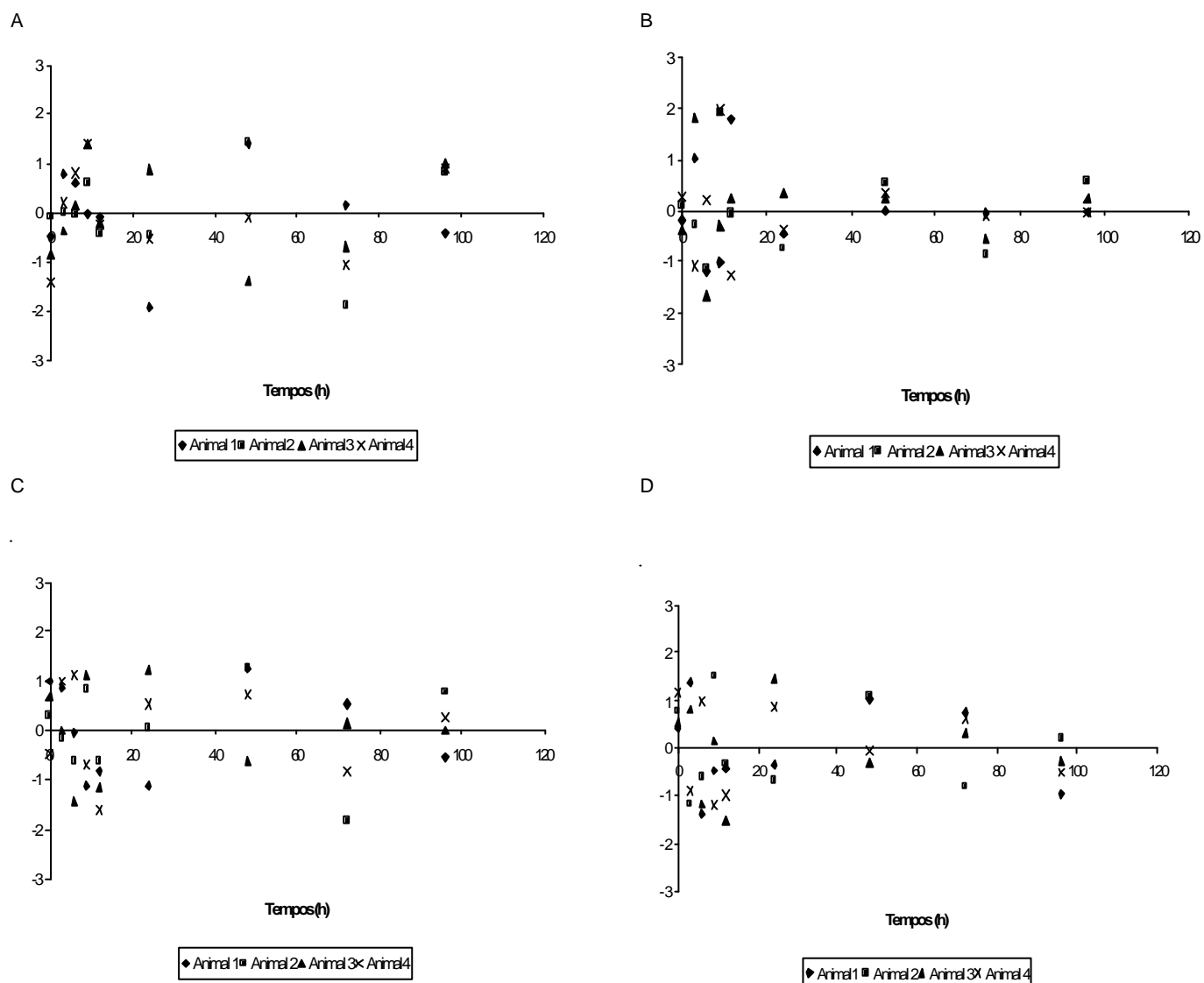


Figura 3 - Resíduos padronizados do modelo M1, em relação aos dados de desaparecimento da MS (a, b) e da fibra (c, d), para as estações seca (a, c) e chuvosa (b, d).

Figure 3 - Standardized residuals of the model M1 related to disappearance data of DM (a, b) and fiber (c, d) for dry (a, c) and rainy (b, d) seasons.

estatisticamente igual para todos os modelos, quanto menor a fração a, maior a fração b.

Essas diferenças nas estimativas das frações e o método de estimar influenciaram o cálculo da degradabilidade efetiva, que foi maior para o modelo M3.

A degradabilidade potencial da MS foi diferente entre os períodos experimentais. No entanto, para a fibra, não houve influência dos períodos de seca ou de chuva, o que provavelmente resultou das diferenças no conteúdo celular nas duas épocas.

A taxa de digestão (c) da MS e as frações a e b ( $P > 0,05$ ) não variaram estatisticamente entre as épocas seca e chuvosa, mas as degradabilidades potencial (DP) e efetiva (DE) da MS e a degradabilidade efetiva da fibra foram maiores no período chuvoso (Tabela 6).

Tabela 5 - Valores médios da fração solúvel (a), da fração insolúvel potencialmente degradável (b) e da degradabilidade efetiva (DE) da MS e da fibra estimados pelos modelos M1, M2 e M3

Table 5 - Average values of soluble fraction (a), potentially degradable insoluble fraction (b), and effective degradability (ED) of DM and fiber estimated by the models M1, M2 and M3

	MS DM			Fibra Fiber	
	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	DE <sup>1</sup> ED <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	DE <sup>1</sup> ED <sup>1</sup>
M1	107b	469a	297b	567a	197c
M2	134a	442b	298b	492b	213b
M3	137a	440b	314a	517b	236a

<sup>1</sup> g kg<sup>-1</sup>.

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste Student-Newman-Keuls.

Means followed by at least one similar letter in the column do not differ by Student-Newman-Keuls test ( $P < 0,05$ ).

Tabela 6 - Fração solúvel (a), fração insolúvel potencialmente degradável (b), taxa de degradação da fração b (c), tempo de latência (L), degradabilidade potencial (DP) e degradabilidade efetiva (DE) da MS e da fibra nas épocas seca e chuvosa

Table 6 - Soluble fraction (a), potentially degradable insoluble fraction (b), degradation rate of fraction b (c), lag time (L), potential degradability (PD) and effective degradability (ED) of DM and fiber in dry and rainy seasons

	MS DM					Fibra Fiber				
	a <sup>1</sup>	B <sup>1</sup>	c(h <sup>-1</sup> )	DP <sup>1</sup> PD <sup>1</sup>	DE <sup>1</sup> ED <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	c(h <sup>-1</sup> )	L(h)	DP <sup>1</sup> PD <sup>1</sup>	DE <sup>1</sup> ED <sup>1</sup>
Seca (Dry)	109 <sup>a</sup>	416 <sup>a</sup>	0,021 <sup>a</sup>	525 <sup>b</sup>	279 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	0,014 <sup>a</sup>	7,83 <sup>a</sup>	549 <sup>a</sup>	199 <sup>b</sup>
Chuva (Rainy)	142 <sup>a</sup>	485 <sup>a</sup>	0,034 <sup>a</sup>	628 <sup>a</sup>	327 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	0,025 <sup>a</sup>	6,75 <sup>a</sup>	619 <sup>a</sup>	232 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> g kg<sup>-1</sup>.

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, para cada variável, não diferem (P&lt;0,05) pelo teste Student-Newman-Keuls. Means followed by at least one similar letter in the column do not differ by Student-Newman-Keuls test (P&lt;0.05).

## Conclusões

Não há diferença entre marcadores na estimação da taxa de passagem de partículas pelo rúmen-retículo. Entretanto, são verificadas diferenças na estimativa do fluxo pelo pós-rúmen, que podem ser justificadas por uma possível migração dos marcadores. De acordo com a análise de resíduos, o cromo mordente apresenta menores desvios e melhor comportamento gráfico.

Há influência dos períodos experimentais na estimativa dos parâmetros da cinética de fluidos, provavelmente em decorrência dos diferentes estádios de maturação do capim-braquiária, que determinam maior ou menor volume de líquido ruminal.

Os modelos de degradação avaliados não diferem entre si quanto ao ajustamento dos dados, mas verificam-se diferenças nas estimativas dos parâmetros. O modelo de crescimento assintótico de primeira ordem (M1) é o mais adequado para os dados de degradação da MS, visto que não houve período de latência no perfil de degradação da MS, enquanto os modelos de crescimento assintótico de primeira ordem corrigido para o período de latência discreta (M3) e o seu recíproco, que corresponde à lei de decaimento exponencial de primeira ordem corrigida para a fase de latência discreta (M2), ajustam-se melhor aos dados de degradação da fibra.

## Literatura Citada

ADAMS, D.C.; KARTCHNER, R.J. Effect of level or forage intake on rumen ammonia, pH, liquid volume and liquid dilution rate in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.58, n.3, p.708-713, 1984.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official methods of analysis*. 15.ed. Arlington: 1990. v.1, 1117p.

BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. et al. Avaliação de forageiras em dois municípios na região do Campo das Vertentes de Minas Gerais. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.23, n.2, p.189-196, 1994.

BURGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; COELHO da SILVA, J.F. et al. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.1, p.225-235, 2000.

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.

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. (Ed.) *Control of digestion and metabolism in ruminants*. New Jersey: Prentice Hall, 1986. p.173-195.

DHANOVA, M.S. On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. *Grass and Forage Science*, v.43, n.5, p.441-444, 1988.

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 and Sons, 1966. 407p.

ELLIS, W.C.; BEEVER, K.C. Methods for binding rare earths to specific feed particles. In: KENNEDY, C.M.P. (Ed.) *Techniques in particles size analysis of feed and digest in ruminants*. Edmonton: Canadian Society of Animal Science, 1984. p.154-165.

ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, T.M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY Jr, G.C. (Ed.) *Forage quality, evaluation, and utilization*. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994. p.682-756.

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.

HARTNELL, G.F.; SATTER, L.D. Determination of rumen fill, retention time and ruminal turnover rates of ingesta at different stages of lactation in dairy cows. *Journal of Animal Science*, v.48, n.2, p.381-392, 1979.

KRISHNAMOORTHY, U.; MUSCATO, T.V.; SNIFFEN, C.J. et al. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *Journal of Dairy Science*, v.65, n.2, p.217-225, 1982.

MADER, T.L.; TEETER, R.G.; HORN, G.W. Comparison of forage labeling techniques for conducting passage rate studies. *Journal of Animal Science*, v.58, n.1, p.208-212, 1984.

MERTENS, D.R.; LOFTEN, J.R. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, v.63, n.9, p.1437-1446, 1980.

MERTENS, D.R.. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International, 1993. p.13-51.

- MOORE, J.A.; POND, K.R.; POORE, M.H. et al. Influence of model and marker on digesta kinetic estimates for sheep. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3528-3540, 1992.
- MORAIS, M.G.; BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C. et al. Variação da parede celular da *Brachiaria decumbens* - fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, celulose e lignina. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.708.
- OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Digesta passage and microbial protein synthesis. In: MILLIGAN, L.P.; GROVUM, W.L., DOBSON, A. (Eds.) **Control of digestion and metabolism in ruminants**. New Jersey: Prentice Hall, 1986. p.196-223.
- OWENS, F.N.; HANSON, C.F. Symposium: external and internal markers. 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.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, n.2, p.499-503, 1979.
- PEREIRA, J.C.; CARRO, M.D.; GONZÁLEZ, J. et al. Rumen degradability and intestinal digestibility of brewer's grains as affected by origin and heat treatment and of barley roots. **Animal Feed Science and Technology**, v.74, p.107-121, 1998.
- POND, K.R.; ELLIS, W.C.; MATIS, J.H. et al. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal of Nutrition**, v.60, n.3, p.571-595, 1988.
- 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.
- THIAGO, L.R.L.S.; GILL, M. **Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1993. 65p. (Documentos, 43).
- 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 Science and Food Agriculture**, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **SAEG – Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Viçosa, MG. 1995 (Apostila).
- Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- 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.

---

Recebido: 01/06/05

Aprovado: 09/11/05