

COMUNICAÇÃO

MODELAGEM DA REDUÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

Modeling of feed particle size reduction in the ruminants nutrition

Edgar Alain Collao Saenz¹

RESUMO

O tamanho de partícula influencia o valor nutricional do alimento porque pode afetar o consumo de matéria seca, a digestão e utilização de nutrientes pelos microorganismos ruminais e, o desempenho animal. Alguns modelos são apresentados para ilustrar a evolução da representação da redução do tamanho de partícula. Em geral, as diferentes propostas se comportam adequadamente e provêm informação útil para produção ou pesquisa. Porém, todos os modelos demonstram inexatidão em certos pontos. Nesta revisão são discutidas as razões para esses problemas e é proposta a inclusão de novas variáveis relacionadas com a cinética de partículas, ingestão descontínua de alimentos e liberação do conteúdo celular com o objetivo de aumentar a precisão de futuros modelos de consumo e digestão.

Termos para indexação: cinética ruminal, consumo, digestibilidade, modelos de simulação.

ABSTRACT

Particle size seems to be an important factor influencing the nutritional value of the feed because it may affect dry matter intake, microbial digestion and utilization of nutrients and animal performance. Some models are described to present different attempts to represent particle size reduction. In general, the diverse approaches behave adequately and provide useful information for production or research. All models, however, demonstrate inaccuracy in some points. The reasons for these failures are discussed and the inclusion of new variables related to particle kinetics, pulses of feed and cell content release to increase accuracy of predictions in future models of feed intake and digestion of ruminants is proposed.

Index terms: digestibility, feed intake, ruminal kinetics, simulation models.

(Recebido para publicação em 6 de abril de 2004 e aprovado em 18 de março de 2005)

As forragens representam uma fração importante do consumo de energia em sistemas de produção de ruminantes. Existem muitos fatores que influenciam o consumo voluntário de alimentos (CVA) pelos ruminantes. A restrição física do CVA devido a atributos físicos das forragens é um dos mais importantes. Entre esses atributos, o tamanho de partícula pode ser um fator importante que influencia o valor nutricional do alimento porque afeta tanto o consumo de matéria seca (CMS) como a taxa na qual os nutrientes ficam disponíveis para digestão e utilização microbiana. Dependendo da qualidade da forragem, a redução de tamanho de partícula pela moagem ou pelotização pode incrementar o consumo de forragens e alimentos fibrosos substancialmente (SOEST, 1994).

O tamanho de partícula também afeta a taxa de passagem da ingesta através do rúmen. Quando o conteúdo ruminal chega a um ponto onde incremento adicional não é possível, a taxa de passagem da ingesta determina o consumo de alimento (BOSCH, 1991). A taxa na qual o alimento é reduzido a partículas suficientemente pequenas

para atravessar o orifício retículo-omasal, e a taxa de degradação pelos microorganismos, são os fatores mais importantes que limitam o desaparecimento de digesta do rúmen.

Por outro lado, embora uma fração das partículas ruminais possuam tamanho adequado para atravessar o orifício retículo-omasal, elas permanecem no rúmen, isto mostra que outros fatores principalmente relacionados com o animal devem estar envolvidos. Finalmente, a mastigação durante a ingestão inicia a quebra da estrutura física do alimento e permite liberar e expor o conteúdo celular solúvel à ação de enzimas microbianas.

Neste sentido, modelos matemáticos foram desenvolvidos para melhorar a compreensão e integrar a representação de diversos aspectos relacionados com a cinética de partículas ruminais. Objetivou-se com este trabalho revisar a evolução da representação da redução de tamanho de partícula. Alguns modelos serão descritos para ilustrar a importância da redução do tamanho de partículas no consumo e metabolismo dos ruminantes.

¹ Engenheiro Agrônomo, doutorando de Zootecnia – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Caixa Postal 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG.

Maximizar o CMS é um fator-chave para produção de ruminantes. Uma retenção prolongada pode representar um problema para animais que precisam de taxas altas de passagem para cumprir suas exigências. Este problema é maior se for considerado que algumas forragens tropicais possuem baixa digestibilidade de sua fração fibrosa. Dado & Allen (1994) verificaram que a produção de leite está positivamente correlacionada com CMS e negativamente com o tempo de total de mastigação e ruminação por unidade de consumo.

A maior parte dos trabalhos de pesquisa sobre os efeitos da redução de partícula foi desenvolvido com forragens de boa qualidade, embora o efeito do tamanho de partícula não esteja completamente elucidado. Woodford & Murphy (1988) concluíram que a redução de partículas da forragem é um fator importante que influencia seu consumo, principalmente para forragens de baixa qualidade. Por este motivo, seria necessário determinar esses efeitos em forragens tropicais com baixo teor de fibra digestível. Diferenças entre *Bos taurus* e *Bos indicus* na eficiência de mastigação e comportamento deveriam também ser avaliadas para produção de ruminantes em condições tropicais.

McLeod & Minson (1988) determinaram que mastigação e ruminação são as atividades mais importantes para reduzir o tamanho de partículas. No entanto, elas não respondem pela quebra total de partículas grandes (PG) e sugeriram que 17 % de redução de PG podem ser atribuídos à quebra por digestão microbiana e fricção no rúmen.

Quanto mais rápido a digesta flui do rúmen, menos tempo os microorganismos têm para fermentar a mesma, diminuindo, portanto, a digestibilidade. A taxa de passagem afeta a degradação microbiana e conseqüentemente o crescimento microbiano. O tamanho da população microbiana também será reduzido devido à passagem mais rápida. Por causa do tempo de residência mais curto, a exigência de energia de manutenção dos microorganismos ruminais é reduzida e, portanto, mais biomassa microbiana pode ser produzida por unidade de energia gerada pelo substrato. Embora o resultado combinado desta redução no rúmen seja difícil de precisar, freqüentemente um crescimento microbiano mais eficiente é observado em taxas de passagem mais altas (OWENS & GOETSCH, 1986).

Diversos modelos foram propostos para representar a passagem e digestão em ruminantes. O primeiro modelo integrado deste tipo foi proposto por Blaxter et al. (1956). Baldwin et al. (1970) reconheceram, pela primeira vez, a necessidade para incluir a ação microbiana e ruminação na redução de tamanho de partícula e Waldo et al. (1972)

sugeriram utilizar taxas diferentes de digestão e escape para partículas de tamanho diferente.

Modelos mais recentes incorporam interações entre consumo, comportamento animal (SAUVANT et al. 1996) e efeitos de flutuação de partícula de acordo com o tempo de permanência no rúmen (JESSOP & ILLIUS, 1999). Os conceitos aplicados nesses modelos e suas implicações serão discutidos posteriormente.

Waldo et al. (1972) fracionaram os componentes fibrosos livres de lignina em potencialmente digestíveis e indigestíveis devido a fatores intrínsecos da forragem. Digestão e passagem foram representadas como reações de primeiro-ordem. A fração potencialmente digestível desaparece por taxas diferentes de digestão e passagem. O desaparecimento do *pool* indigestível só acontece através de passagem.

A fibra no rúmen pode ser separada pela sua probabilidade de escape como também pela sua resistência à digestão. Mertens & Ely (1979) desenvolveram um modelo dinâmico que inclui cinética de passagem, redução de tamanho de partícula e digestão da fração fibrosa no trato digestivo dos ruminantes. Foram utilizados três compartimentos para representar PG (>2mm), partículas médias (0.5 a 2 mm) e partículas pequenas (PP) (<0.5 mm) (Figura 1). Partículas Médias (PM) poderiam escapar do rúmen embora numa taxa mais lenta que PP.

Algumas partículas com mais de 5 mm podem escapar do rúmen, no entanto, Poppi et al. (1980, 1981) observaram que menos que 5 % das partículas de fezes de ovinos e bovinos passam por uma peneira de 1,18 mm. A maioria dos modelos usa estes valores. Bruining et al. (1998) observaram frações mais altas (entre 11,1 a 14,0%) de matéria fecal retida em peneiras de 1,25 mm. Foram também observados teores em torno 3 a 4 mm para bovinos em crescimento (DIXON & MILLIGAN, 1985). Valores acima de 4 mm (CARDOZA & MERTENS, 1986) e 4.25 mm (WOODFORD & MURPHY, 1988) foram determinados para gado leiteiro. Shaver et al. (1988) sugerem que o tamanho crítico para a saída de partículas ruminais em bovinos parece estar em torno de 3,6 mm. O limite mínimo, provavelmente, está ligado à extensão de contrações reticulares como uma característica intrínseca de cada indivíduo.

Embora o conceito geral usado da representação do tamanho de partícula seja semelhante nos diferentes modelos, estes apresentam formas diferentes de parametrização. Poppi et al. (1981) apresentaram um modelo no qual o alimento entra diretamente em compartimentos de PG ou PP. O conteúdo de alimento foi separado em frações digestíveis e indigeríveis (Figura 2).

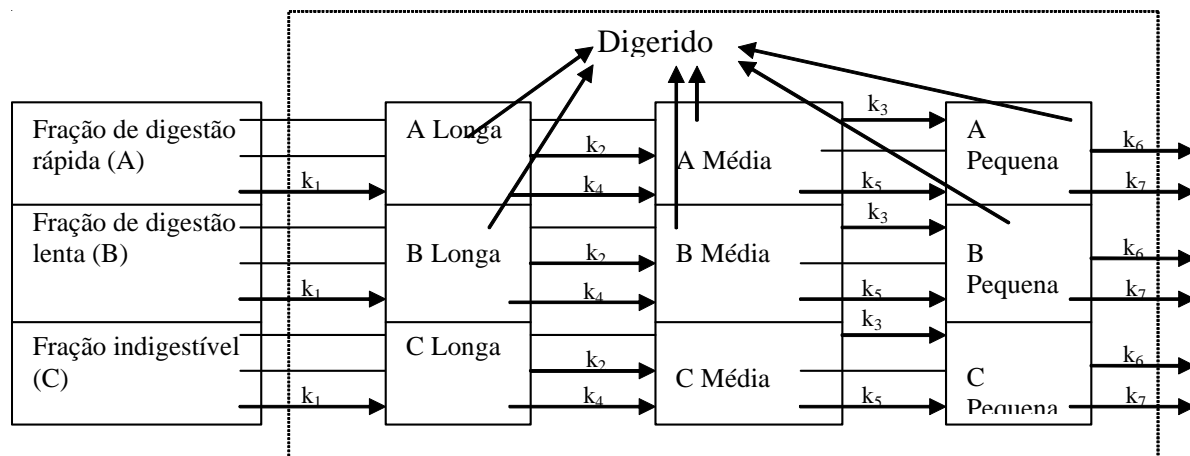


FIGURA 1 – Modelo da dinâmica da fibra no rúmen. k_1 , k_2 e k_3 são, respectivamente, os teores de partículas longas, médias e pequenas no alimento; k_4 e k_5 , são taxas de redução do tamanho de partícula entre compartimentos; k_6 e k_7 , são taxas de passagem de partículas médias e pequenas (MERTENS & ELY, 1979).

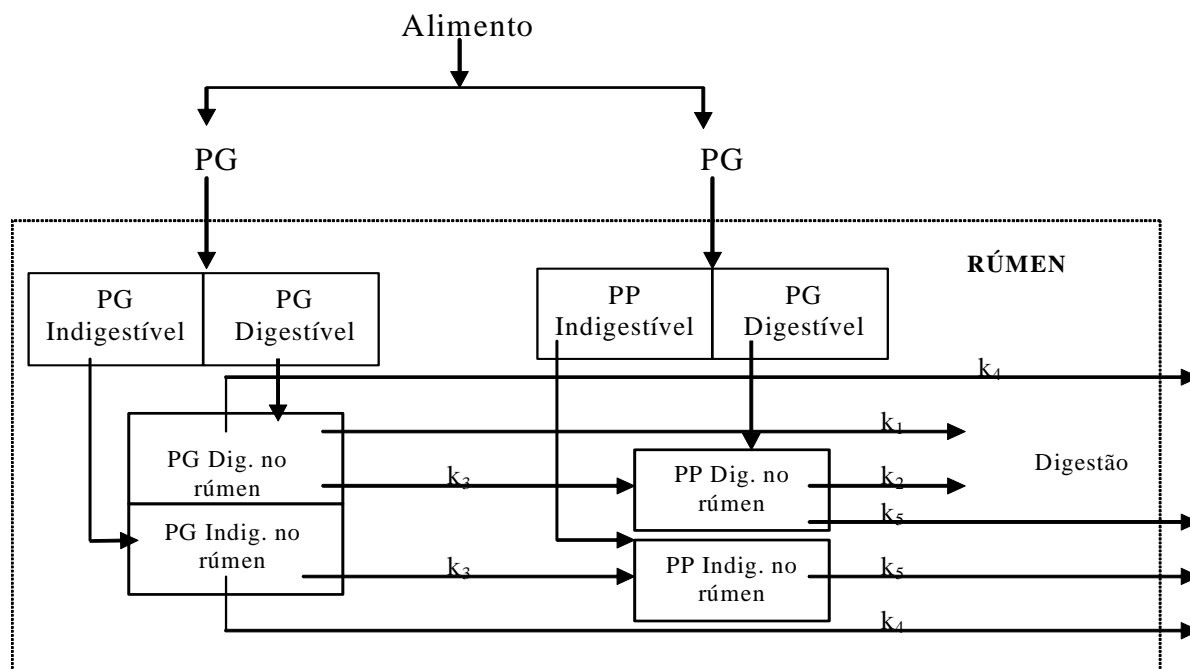


FIGURA 2 – Fluxo de MS através do retículo-rúmen. k_1 e k_2 são taxas de degradação de PG e PP, respectivamente; k_3 , taxa de redução a PP; k_4 e k_5 , taxa de passagem de PG e PP do rúmen respectivamente (POPPI et al., 1981).

Baldwin et al. (1970) apresentaram um modelo ruminal com diferentes substratos afetados pela atividade de três grupos microbianos. A fibra foi separada em duas formas físicas. Em vez de considerar um compartimento de PG para cada componente, como Mertens & Ely (1979) ou Poppi et al. (1981) fizeram, o “pool” de PG foi representado por uma única variável de estado que inclui celulose, hemicelulose, lignina, cinza insolúvel e proteína insolúvel. Diferentes valores de adesão e fluxo microbiano foram considerados para PG e PP. Os microorganismos atuam sobre as PP e algumas equações foram incluídas para representar o crescimento e associação de microorganismos nos substratos. A conversão de PG a PP é totalmente dependente da ruminação (Figura 3). PG não podem sair do rúmen e não ocorre hidrólise ou fermentação dos componentes de PG.

Illius & Gordon (1991) propuseram um modelo mecanístico que detalhava o consumo e digestão de forragens e incorporava equações de redução, digestão e passagem das partículas em função ao peso do corpo, (PV). Assumindo que esses parâmetros estão relacionados com o tamanho do animal, animais maiores deveriam ter maior capacidade para processar alimento relativo a suas exigências e manter-se consumindo forragens de baixa qualidade. Após a ingestão, o tempo de colonização foi considerado, assumindo que não houve passagem de partículas do alimento durante esta fase. O compartimento

de PG está disponível para ser digerido e o modelo assume que as taxas de digestão de PG e PP são as mesmas (Figura 4).

Os ruminantes não consomem água ou alimentos continuamente durante o dia. France et al. (1982) propuseram pela primeira vez, consumo descontínuo de alimentos em um modelo sem diferenciação em tamanho de partículas. Para prever o CMS em condições ‘non-steady state’, Sauvant et al. (1996) desenvolveram um modelo considerando comportamento alimentar (motivação e inibição de consumo) e digestão em ovinos. A cinética de PP tem o mesmo princípio (Figura 5). Ao contrário do modelo de Illius & Gordon (1991), as taxas de degradação de alimento são diferentes para partículas grandes (PG) e partículas pequenas (PP).

À diferença de modelos anteriores, Sauvant et al. (1996) incluíram um sistema ‘non-steady state’ autônomo para simular a influência do comportamento animal e motilidade ruminal para prever as taxas de escape e degradação em vez de usar valores constantes predefinidos.

Os diversos modelos anteriormente descritos tentam representar a redução do tamanho de partícula em função de dois objetivos principalmente. Alguns deles procuram prever a disponibilidade de nutrientes após a fermentação ruminal, enquanto que, outros representam a redução de tamanho de partícula como um modo de calcular o consumo de alimento.

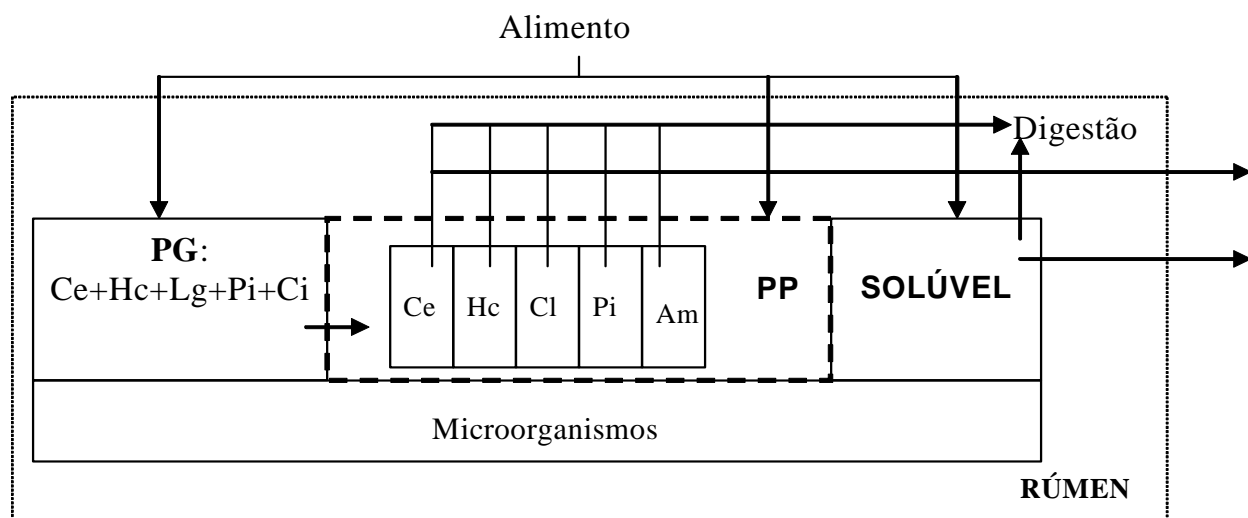


FIGURA 3 – Atividade microbiana em função das concentrações de nutrientes solúveis e associados a PG e PP (BALDWIN et al., 1987). Am, amido; Ce, celulose; Hc, hemicelulose; Lg, lignina; Pi, proteína insolúvel; Ai, cinza insolúvel; Cl, cinza insolúvel e lignina.

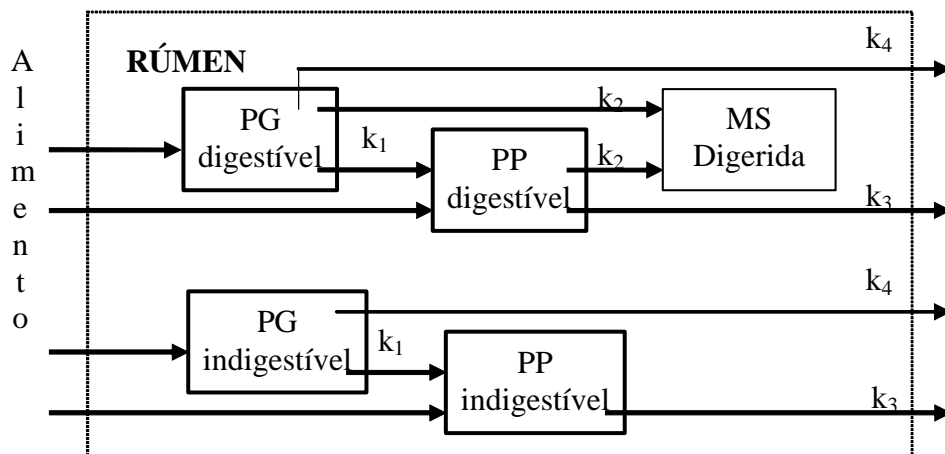


FIGURA 4 – Modelo da digestão de forragens em ruminantes. k_1 , taxa de redução de PG; k_2 , taxa de digestão; k_3 e k_4 , taxa de passagem de PG e PP, respectivamente (ILLIUS & GORDON, 1991).

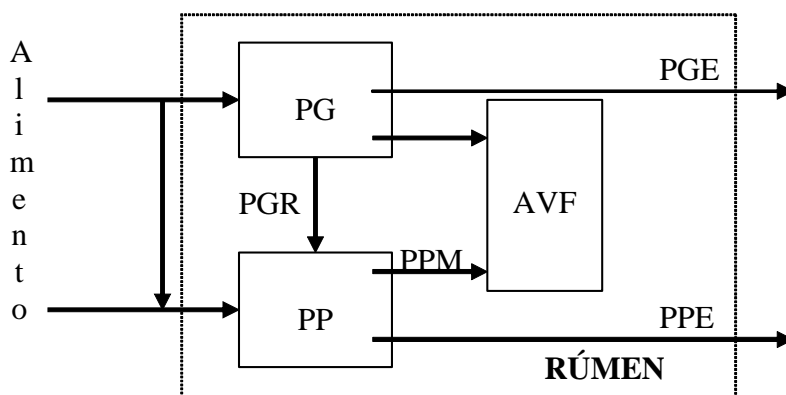


FIGURA 5 – Degradação e passagem pelo rúmen. PGR, perda de PG devido à ruminação; PGM, perda de PG devida a ataque microbiano; PGE, trânsito de PG através do orifício retículo-omasal; PPM, perda de PP devida a ataque microbiano; PPE, trânsito de PG através do orifício retículo-omasal. Sauvant et al. (1996).

De acordo com Forbes (1996), é irreal tentar prever o consumo de forragens somente baseado nos atributos físicos do alimento (tamanho de partícula, teor de FDN) e do animal (capacidade intestinal), embora em alguns casos estes fatores parecem tão dominantes que a predição de consumo baseada nesses atributos seria suficientemente precisa.

Os diversos modelos se comportam adequadamente em geral e fornecem informação útil para produção ou pesquisa, no entanto, todos eles demonstram inexatidão em alguns pontos. O problema parece ser uma falta de conhecimento em aspectos específicos da função ruminal, o qual dificulta a simulação das vias em que maior conhecimento deve ser obtido antes representá-los matematicamente.

Na intenção de representar a cinética ruminal com precisão, vários modelos incluíram mais de dois compartimentos de tamanho de partícula (KENNEDY & MURPHY, 1988; MERTENS & ELY, 1979). Poppi et al. (1980), porém, sugeriu que um sistema com dois compartimentos para PG e PP oferece melhor quantificação dos processos envolvidos na redução de partículas. Sauvant et al. (1996) afirmam que o uso de mais de dois tamanhos prejudicaria o desempenho do modelo, porque aumenta o problema da falta de informação sobre os fluxos entre compartimentos. A descrição de mais de dois tamanhos de partícula precisaria de um nível mais alto de parametrização. Um modelo deve ser preciso e ao mesmo tempo simples, portanto, a simplificação a apenas dois tamanhos de

partícula parece ser adequada para o nível atual de conhecimento.

A maioria dos modelos assumem cinética de primeiro-ordem para descrever processos de digestão e passagem. No entanto, além do tamanho, a flutuação da partícula também é um fator que influencia o fluxo ruminal dos alimentos (JESSOP & ILLIUS, 1999; POPPI et al., 1981). Mudanças na flutuação de partículas durante a digestão podem precisar outras aproximações diferentes da cinética de primeiro-ordem. Jessop & Illius (1999) incluíram o efeito do tempo em suspensão no líquido ruminal relacionado à densidade de partícula para modelar diferentes taxas de passagem variando com o tempo de ingestão. A inclusão em modelos de algumas constantes respondendo por um “fator de flutuação” para concentrados e forragens pode ajudar a representar as características de passagem mais adequadamente.

A frequência de ingestão e a quantia ingerida pelos ruminantes não é constante durante o dia. A avaliação de padrões de alimentação descontínuos podem incrementar a importância da representação das características mencionadas anteriormente. De acordo com Dijkstra & France (1996), a representação de padrões de alimentação descontínuos não recebeu muita atenção em modelos ruminais, e a simulação dinâmica de diferentes “pools” pode ser de importância, especialmente quando são utilizadas dietas sem sincronização na fermentação de nutrientes. Há pouca informação quantitativa em como a frequência de alimentação afeta o padrão de disponibilidade de nutrientes (GILL, 1996). Como observado em modelos de digestão (DIJKSTRA & FRANCE, 1996) ou previsão de consumo (SAUVANT et al., 1996), a representação da cinética ruminal requer de representações mecânicas para indicar os intervalos de tempo mais apropriados entre refeições ou explicar variações no consumo.

Finalmente, todos os modelos citados assumem uma única taxa de degradação fracionária e disponibilidade imediata de todos os componentes de planta para fermentação. Boudon & Peyraud (2001) e Kingston-Smith et al. (2003), porém, postulam que existe diferença na liberação do conteúdo intracelular após a quebra da parede de células vegetais e como consequência, efeito na digestão dos componentes intracelulares. Boudon & Peyraud (2001) propõem que a mastigação inicial de forragens frescas libera relativamente poucos componentes da célula e que alguns componentes só podem ficar disponíveis para os microorganismos se a parede celular é quebrada. A inclusão da liberação de nutrientes em modelos mecânicos pode ser feita pela agregação de variáveis de estado que

representam os a disponibilidade de nutrientes em dependência de mastigação, ruminação e as frações diferentes de nutrientes (açúcares solúveis, nitrogênio não-proteico, etc.).

Em conclusão, representações mecânicas para representar os efeitos de redução de tamanho de partícula, taxa de passagem e taxa de liberação de conteúdo celular em condições de CMS descontínuo podem permitir melhorar a representação dos efeitos de tamanho de partícula e de consumo de alimento em ruminantes.

A redução do tamanho de partículas deve ser considerada na simulação de processos de consumo e digestão de forragens. A falta de conhecimento sobre a dinâmica desses processos no rúmen dificulta a representação matemática dos fenômenos envolvidos a cinética de partículas. Os modelos propostos, no entanto, são ferramentas importantes para testar o efeito da utilização de diversos ingredientes ou dietas na produção animal. Embora, a representação de processos como flutuação de partículas, padrão das refeições ou liberação do conteúdo celular pareçam ser complexos, a inclusão dessas variáveis de forma simplificada incrementa a precisão de modelos de consumo e digestão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDWIN, R. L.; LUCAS, H. L.; CABRERA, R. Energetic relationships in the formation and utilization of fermentation end-products. In: PHILLIPSON, A. T. **Physiology of digestion and metabolism in the ruminant**. Newcastle: Oriel, 1970. p. 319-334.
- BALDWIN, R. L.; THORNLEY, J. H. M.; BEAVER, D. E. Metabolism of the lactating cow: II. digestive elements of a mechanistic model. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v. 54, n. 1, p. 107-131, Feb. 1987.
- BLAXTER, K. L.; GRAHAM, N. M.; WAINMAN, F. W. Some observations on the digestibility of food by sheep and on related problems. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 10, n. 2, p. 69-91, 1956.
- BOSCH, M. W. **Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows**. 1991. 150 f. Thesis (Ph.D. in Animal Nutrition) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1991.

- BOUDON, A.; PEYRAUD, J. L. The release of intracellular constituents from fresh ryegrass (*Lolium perenne* L.) during ingestive mastication in dairy cows: effect of intracellular constituent, season and stage of maturity. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 93, n. 3/4, p. 229-245, Oct. 2001.
- BRUINING, M.; BAKKER, R.; BRUCHEM, J. van; TAMMINGA, S. Rumen digesta kinetics in dairy cows fed grass, maize and alfalfa silage: I. comparison of conventional, steady-state and dynamic methods to estimate microbial degradation, comminution and passage of particles. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 73, n. 1, p. 37-58, 1998.
- CARDOZA, R. S.; MERTENS, D. R. Effect of fiber source and content on threshold size for passage and fecal particle distribution. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 69, p. 134, 1986. Supplement.
- DADO, R. G.; ALLEN, M. S. Variation in and relationships among feeding, chewing and drinking variables for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 1, p. 132-144, Jan. 1994.
- DIJKSTRA, J.; FRANCE, J. Comparative evaluation of models of whole rumen function. **Annales de la Zootechnie**, Paris, v. 45, p. 175-192, 1996.
- DIXON, R. M.; MILLIGAN, L. P. Removal of digesta components from the rumen of steers determined by sieving techniques and fluid, particulate and microbial markers. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 53, n. 2, p. 347-362, Mar. 1985.
- FORBES, J. M. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, n. 12, p. 3029-3035, Dec. 1996.
- FRANCE, J.; THORNLEY, H. M.; BEEVER, D. E. A mathematical model of the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 99, n. 2, p. 343-353, Oct. 1982.
- GILL, M. Modeling nutrient supply and utilization by ruminants. In: GARNSWORTHY, P. C.; COLE, D. J. A. **Recent developments in ruminant nutrition**. Nottingham: Nottingham University, 1996. v. 3, p. 225-236.
- ILLIUS, A. W.; GORDON, I. J. Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 116, n. 1, p. 145-157, Feb. 1991.
- JESSOP, N. S.; ILLIUS, A. W. Modeling the influence of buoyancy on particle dynamics in the foregut of ruminants. In: VETERINARY INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE NUTRITION OF HERBIVORES, 1999, San Antonio, Texas. **Proceedings...** San Antonio: [s.n.], 1999. p. 10-16.
- KENNEDY, P. M.; MURPHY, M. R. The nutritional implications of differential passage of particles through the ruminant alimentary tract. **Nutrition Research Reviews**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 189-208, June 1988.
- KINGSTON-SMITH, A. H.; BOLLARD, A. L.; THOMAS, B. J.; BROOKS, A. E.; THEODOROU, M. K. Nutrient availability during the early stages of colonization of fresh forage by rumen micro-organisms. **New Phytologist**, Cambridge, v. 158, p. 119-130, 2003.
- MCLEOD, M. N.; MINSON, D. J. Large particle breakdown by cattle eating ryegrass and alfalfa. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 66, n. 4, p. 992-999, Apr. 1988.
- MERTENS, D. R.; ELY, L. O. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, n. 4, p. 1085-1095, Apr. 1979.
- OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. Digesta passage and microbial protein synthesis. In: MILLIGAN, L. P.; GROVUM, W. L.; DOBSON, A. **Control of digestion and metabolism in ruminants**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986. p. 196-223.
- POPPI, D. P.; MINSON, D. J.; TERNOUTH, J. H. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses: III the retention time in the rumen of large feed particles. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 32, n. 1, p. 123-137, 1981.
- POPPI, D. P.; NORTON, B. W.; MINSON, D. J.; HENDRICKSEN, R. E. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 94, n. 2, p. 275-280, Apr. 1980.

SAUVANT, D.; BAUMONT, R.; FAVERDIN, P. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 74, n. 11, p. 2785-2802, Nov. 1996.

SHAVER, R. D.; NYTES, A. J.; SATTER, L. D.; JORGENSEN, N. A. Influence of feed intake, forage physical form, and forage content on particle size of masticated forage, ruminal digesta, and feces of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 71, n. 6, p. 1566-1572, June 1988.

SOEST, P. J. van. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.

WALDO, D. R.; SMITH, L. W.; COX, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 55, n. 1, p. 125-129, Jan. 1972.

WOODFORD, S. T.; MURPHY, M. R. Dietary alteration of particle breakdown and passage from the rumen in lactating dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Cambridge, v. 71, n. 3, p. 687-696, Mar. 1988.