

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS PARA
DETERMINAÇÃO DA TAXA DE PASSAGEM DE
CAPRINOS EM CRESCIMENTO**

**Thiago Francisco Ventoso Bompadre
Zootecnista**

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS PARA
DETERMINAÇÃO DA TAXA DE PASSAGEM DE
CAPRINOS EM CRESCIMENTO**

Thiago Francisco Ventoso Bompadre

**Orientadora: Profa. Dra. Izabelle Auxiliadora Molina de
Almeida Teixeira**

Coorientador: Dr. Rafael Fernandes Leite

Coorientador: Prof. Dr. Normand St-Pierre

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia (produção de ruminantes).

B696a Bompadre, Thiago Francisco Ventoso
Avaliação de modelos empíricos para determinação da taxa de
passagem de caprinos em crescimento / Thiago Francisco Ventoso
Bompadre. -- Jaboticabal, 2015
xiv, 45 p. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientadora: Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira
Coorientadores: Rafael Fernandes Leite, Normand R. St-Pierre
Banca examinadora: José Gilson Louzada Regadas Filho, Carla
Joice Härter

Bibliografia

1. FDNi. 2. Itérbio. 3. Rúmen. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.085,2:636.3



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA DE PASSAGEM DE CAPRINOS EM CRESCIMENTO

AUTOR: THIAGO FRANCISCO VENTOSO BOMPADRE

ORIENTADORA: Profa. Dra. IZABELLE AUXILIADORA M. DE ALMEIDA TEIXEIRA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. RAFAEL FERNANDES LEITE

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. NORMAND R. ST-PIERRE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. IZABELLE AUXILIADORA M. DE ALMEIDA TEIXEIRA
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ GILSON LOUZADA REGADAS FILHO
Cargill Latin American Innovation Center / Campinas/SP

Profa. Dra. CARLA JOICE HÄRTER
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 27 de julho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Thiago Francisco Ventoso Bompadre filho de Maria do Rosário Castelo Ventoso Bompadre e Carlos Alberto Bompadre nasceu no dia 19 de Dezembro de 1988 na cidade de São Paulo SP. Iniciou sua graduação em Zootecnia em março de 2008, na Unesp, Campus de Jaboticabal, durante o período participou ativamente de programas ligados a extensão (diretório acadêmico, empresa júnior, representação discente, entre outros) e a pesquisa (bolsista de iniciação científica FAPESP por três anos), colando grau no dia 7 de Março de 2013. No mesmo ano iniciou o mestrado no programa de pós graduação em Zootecnia na mesma universidade na área de nutrição de ruminantes. No período de Julho a Novembro de 2014 realizou o estágio no exterior sob orientação do prof. Dr. Normand Roger St-Pierre na "The Ohio State University", na cidade de "Columbus - Ohio", Estados Unidos da América.

DEDICO

Ao meu pai Carlos Alberto Bompadre (in memorian)... Pela certeza de que onde estiver, está sempre zelando por mim... saudades...

A minha mãe Maria do Rosário Castelo V. Bompadre... Por estar sempre ao meu lado em minhas decisões... Essa conquista é NOSSA!

Agradecimentos

A Deus, por me abençoar sempre nessa jornada!

À minha mãe, Maria do Rosário, por acreditar em mim mesmo nos momentos onde ninguém mais acreditou, serei eternamente grato a você mãe.

Ao meu pai, Carlos (*in memoriam*), por todo o carinho e dedicação comigo.

Aos meus avós, José (*in memoriam*) e Maria Mercedes, por toda a infância na qual fui preparado para me tornar quem sou hoje.

Aos meus tios, Marcio e Maria José, pelos momentos de descontração que me mantiveram motivados durante minha jornada.

Às minhas primas, Marcella e Mayara, por verem em mim uma inspiração para que todos possamos crescer juntos.

A todos os meus amigos de São Paulo, que sempre acreditaram no meu potencial.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - Jaboticabal, ao programa de pós graduação e ao departamento de zootecnia, por abrir as portas para a minha evolução acadêmica.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela concessão da bolsa de estudos no Brasil (2013/06845-2) e no exterior (2014/09229-3), assim como os demais recursos.

À professora Izabelle, eu não tenho palavras pra descrever esses 8 anos juntos, muito foi aprendido e aprimorado, cientificamente, profissionalmente e pessoalmente. Muito Obrigado por tudo!

Ao meu co-orientador, Rafael, pelo trabalho em grupo, e por todos os ensinamentos que são pilares para o meu desenvolvimento.

Ao meu co-orientador Normand, por abrir as portas do Brasil para o mundo e me permitir viver a ciência fora do país.

Aos novos laços de amizade realizados nos EUA durante meu estágio no exterior, com carinho especial aos pós graduandos Benjamin e Caitlyn, obrigado pelos ensinamentos.

Aos membros da banca, Gilson e Carla, assim como os membros da qualificação, Luciano e Amélia, pelas contribuições no momento da avaliação assim como durante todo o mestrado.

Ao Rafael e a Simone, por ceder todos os dados para que o projeto pudesse ser conduzido.

Aos Líderes da Equipe cabritolândia, Izabelle, Kleber, Bruno e Márcia, por orientar uma excelente equipe na qual tenho orgulho de fazer parte.

A todos que passaram pela cabritolândia, graduação, pós graduação, pós-docs e estagiários pelo convívio e por me ensinarem sempre a importância do trabalho em equipe.

A Raiza, por estar sempre ao meu lado me apoiando, ajudando, suportando e escutando todas as minhas reclamações na fase final do mestrado. Peça chave nessa fase da minha vida.

Ao meu irmão distante de consideração, Diogo, por todas as risadas e parcerias, mesmo longe, você sempre será um irmão pra mim.

A todos os moradores e ex moradores da República Kabra de Peste, pelos churrascos, bebedeiras e por todos os ótimos momentos de descontração.

Quero ressaltar uma amiga em especial, Raissa, que mesmo em São Carlos continua sendo meu porto, onde desligo de tudo para compartilhar de muitas risadas juntos.

Aos Funcionários do laboratório de caprinocultura Carlinhos e Juninho, e aos funcionários dos laboratórios de análises, Ana Paula, Orlando, Joyce Magali (LANA) e Josie (OSU), por toda a colaboração.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Taxa de passagem.....	2
2.1.1 Fatores relacionados a taxa de passagem	2
2.1.2 Métodos para determinar a taxa de passagem.....	4
2.1.3 Indicadores.....	6
2.2 Modelagem matemática	9
2.2.1 Definição de modelos.....	9
2.2.2 Classificação de modelos.....	10
2.2.3 Avaliação de modelos	11
2.2.4 Modelagem na taxa de passagem	14
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CHAPTER 2. EVALUATION OF EMPIRICAL MODELS TO PREDICT PASSAGE RATE IN GROWING SAANEN GOATS	27
ABSTRACT	27
1. INTRODUCTION	28
2. MATERIAL AND METHODS	28
2.1. Database description	28
2.2. Literature models description.....	31
2.3. Model assessment.....	33
3. RESULTS	35
4. DISCUSSION	39
5. CONCLUSIONS.....	42
6. REFERENCES	42

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 007156/10 do trabalho de pesquisa intitulado "**Taxa de passagem de partículas e fluidos em caprinos submetidos a diferentes níveis nutricionais**", sob a responsabilidade da Profª Drª Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal, adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), em reunião ordinária de 15 de abril de 2010.

Jaboticabal, 19 de abril de 2010.


Prof. Dr. Jeffrey Frederico Lui
Presidente - CEUA


Med. Vet. Maria Alice de Campos
Secretária - CEUA

02/05/11

AVALIAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA DE PASSAGEM DE CAPRINOS EM CRESCIMENTO

RESUMO

A taxa de passagem (k_p) está associada a uma série de fatores interligados como por exemplo a ingestão, digestão e aproveitamento do alimento. O rúmen e o retículo são os principais segmentos do trato gastrintestinal para a digestão da fibra. Levando em consideração a importância da k_p na nutrição de ruminantes, alguns estudos vêm concentrando seus esforços em equacioná-la. Na literatura existem diversos modelos para predição da k_p em ruminantes, mas poucos modelos geram predições para caprinos. Nesse sentido o presente estudo visa avaliar modelos para estimativa da k_p ruminal de caprinos. O banco de dados utilizado para avaliar os modelos da literatura provem de dois estudos com caprinos em crescimento entre 15 e 45 kg de peso corporal, totalizando 102 animais com consumo à vontade. Foi utilizada a metodologia de evacuação ruminal em animais abatidos e os marcadores considerados para as medidas de k_p foram o itérbio (marcador externo de fase sólida) e a FDN indigestível (marcador interno da fase sólida). Foram avaliados cinco modelos que predizem a k_p , sendo estes provenientes de publicações em revistas de grande impacto científico. A avaliação destes modelos foi conduzida utilizando o conceito da regressão do resíduo (observado menos predito) pelo predito centralizado. Considerando a k_p obtida a partir do itérbio, nenhum modelo da literatura se adequou aos dados observados no presente estudo. Por outro lado, quando a k_p foi obtida com dados de FDN indigestível (FDNi), o modelo desenvolvido por Krizsan et al. (2010) foi acurado (viés médio, $P = 0,82$) e não apresentou erro sistemático no intervalo de variação das predições (viés linear, $P = 0,45$). Foi realizado teste de covariância para identificar variáveis que poderiam melhorar a adequação dos modelos. O modelo teórico proposto por Vieira et al. (2008) após a incorporação da ingestão de FDNi no modelo, apresentou viés médio ($P = 0,42$) e viés linear ($P = 0,75$). Conclui-se que em estudos utilizando a técnica da evacuação ruminal e o marcador FDNi, os modelos desenvolvidos por Vieira et al. (2008) e Krizsan et al. (2010) são capazes de predizer a k_p de caprinos em crescimento nas condições do presente estudo.

Palavra-chave: FDNi, itérbio, rúmen, tempo médio de retenção

EVALUATION OF EMPIRICAL MODELS TO DETERMINE PASSAGE RATE IN GROWING GOATS

ABSTRACT

The passage rate (k_p) is related to several factors, such as intake, digestion and nutrient absorption. Fiber digestion is greater in the reticulorumen segment. Considering the importance of k_p in ruminant nutrition, some studies have been developing models to predict k_p . In the literature, there are many models to predict k_p in ruminants, but few models consider exclusively goats. Thus, this study aimed to evaluate most widely used models to determine k_p in growing goats. The database used to evaluate the literature models derived from two studies with Saanen goats of different growth stages between 15 and 45 kg of body weight. A total of 102 goats fed *ad libitum* were used. The studies used the ruminal evacuation technique in slaughtered animals. The markers used were Ytterbium (external marker of solid phase) and indigestible NDF (internal marker of solid phase). Five k_p models published between 1960 and 2013 were evaluated. The evaluation of the literature models was conducted using the regression of residual (observed minus predicted) on centered predicted values. Considering the model evaluation for Ytterbium in the observed data, none of the models tested fit well in this database. On the other hand, when the models were evaluated using the indigestible NDF database, the model developed by Krizsan et al. (2010) was accurate (mean bias, $P = 0.82$) and did not present systematic error in the prediction variance (linear bias, $P = 0.45$). A covariance analysis were performed for identifying variables to improve the adequacy of the models. The theoretical model developed by Vieira et al (2008) after integrating iNDF intake, showed mean bias ($P = 0.42$) and linear bias ($P = 0.75$). In conclusion, in ruminal evacuation technique studies using iNDF as marker, the models developed by Vieira et al. (2008) adjusted by iNDF intake and Krizsan et al. (2010) could provide a reliable prediction of k_p for growing goats.

Keywords: indigestible NDF, mean retention time, rumen, Ytterbium

LISTA DE FIGURAS**CHAPTER 2. EVALUATION OF EMPIRICAL MODELS TO PREDICT
PASSAGE RATE IN GROWING SAANEN GOATS.**

- Figure 1. Regressions of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by literature models (A = de Vega et al., 1998; B = Cannas and Van Soest, 2000; C = Vieira et al., 2008; D = Krizsan et al., 2010, and E = Tedeschi et al., 2011), considering solid phase k_p obtained by ytterbium 36
- Figure 2. Regressions of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by literature models (A = de Vega et al., 1998; B = Cannas and Van Soest, 2000; C = Vieira et al., 2008; D = Krizsan et al., 2010, and E = Tedeschi et al., 2011), considering solid phase k_p obtained by iNDF 37
- Figure 3. Regression of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by Vieira et al. (2008), considering solid phase k_p obtained using iNDF as an internal marker, adjusted with iNDF intake (g/kg BW) 39

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tabela 1. Equações para predição da taxa de passagem disponíveis na literatura	16
--	----

CHAPTER 2. EVALUATION OF EMPIRICAL MODELS TO PREDICT PASSAGE RATE IN GROWING SAANEN GOATS.

Table 1. Chemical composition of feed ingredients and experimental diets	30
Table 2. Descriptive statistics of characteristics of animal, intake, pool size and kinetics parameters used in the model evaluation	30
Table 3. Models used in the evaluation to predict reticulorumen passage rate	31
Table 4. Regressions of passage rate (k_p) residual on k_p predicted by the models centered on their mean value of solid phase k_p determined by ytterbium	35
Table 5. Regressions of passage rate (k_p) residual on k_p predicted by the models centered on their mean value of solid phase k_p determined by iNDF	37
Table 6. Concordance correlation coefficient and precision / accuracy indicators of solid phase k_p determined by iNDF	38

CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

A taxa de passagem (k_p) pode ser descrita como o trânsito de resíduos não digeridos através do trato gastrintestinal (VANSOEST, 1994). A k_p está intimamente relacionada com a máxima ingestão de matéria seca, digestibilidade, e a eficiência dos microorganismos em reduzir o tamanho de partícula dos alimentos (OKINE et al., 1998), influenciando diretamente a quantidade de nutrientes que chega ao intestino para absorção, impactando assim a produção animal (VAN SOEST, 1994; TITGEMEYER, 1997).

Sabendo o papel fundamental que a k_p exerce na nutrição de ruminantes, alguns estudos tem buscado modelar a k_p a partir do desenvolvimento de equações com aplicabilidade direta em sistemas de alimentação e programas de balanceamento de ração (CANNAS; VAN SOEST, 2000; TEDESCHI et al., 2012). Neste sentido, modelos matemáticos são utilizados como ferramentas fundamentais no aperfeiçoamento e entendimento da nutrição animal. Adicionalmente, diversos modelos com o intuito de prever a k_p em ruminantes tem sido desenvolvidos, sendo a maioria destes baseados em bovinos e ovinos. No entanto, os conhecimentos sobre a cinética de passagem de partículas em caprinos são limitados e não conclusivos.

Hofmann (1989) e Clauss (1998) observaram características anatômicas e fisiológicas específicas para animais caracterizados como selecionadores intermediários (caprinos), como glândulas salivares maiores, lábios flexíveis e menor estratificação da digesta no rúmen. Essas características podem modificar a k_p . Sendo assim, aplicar modelos em caprinos, uma vez que foram desenvolvidos para ovinos e bovinos, pode resultar em estimativas de k_p viesadas. Por outro lado, existe escassez de modelos para predição de k_p específicos para caprinos. Portanto, a avaliação de modelos disponíveis na literatura é essencial pra compreender se o modelos matemáticos presentes na literatura podem estimar de forma adequada a k_p para caprinos em crescimento.

Sendo assim, o objetivo do presente estudo visa avaliar modelos descritos na literatura para estimar a k_p utilizando um banco de dados de caprinos em crescimento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Taxa de passagem

2.1.1 Fatores relacionados a taxa de passagem

Em ruminantes, a digestão de alimentos e disponibilização de seus nutrientes depende da taxa fracional de degradação (k_d) e da taxa fracional de passagem (k_p) (VAN SOEST, 1994). Diversos fatores podem interferir na taxa de passagem, sendo esses classificados como fatores relacionados a dieta e ao animal.

Fatores relacionados à dieta estão o tamanho de partículas, a densidade da partícula, a gravidade específica e o nível de ingestão da dieta (DE VEGA; POPPI, 1997; HRISTOV, 2003). Além dos fatores citados, a estratificação da digesta no rúmen, bem como as contrações secundárias que afetam a abertura do orifício retículo-omasal podem influenciar a saída de alimento e fluidos para o omaso (SEO et al., 2009). O nível de ingestão está intimamente correlacionado com o tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal dos ruminantes. Alterações na cinética de passagem acompanhadas por variações na ingestão têm sido observadas por vários autores (BLAXTER, 1956; COLUCCI et al., 1990; DIAS et al., 2011). O aumento nos níveis de consumo resulta em maior quantidade de alimento disponível no rúmen, com o aumento da entrada de alimento o resultado será o aumento da taxa de desaparecimento deste alimento, promovendo um aumento na k_p .

O período de permanência de uma partícula no reticulorúmen depende substancialmente de suas características físicas, como por exemplo o tamanho de partícula (POPPI et al., 1980) e a densidade específica (HOOPER; WELCH, 1985). Portanto, alimentos com tamanho de partícula reduzido (concentrados) devem apresentar maior k_p quando comparado com

partículas grosseiras (volumosos). Porém, fatores como forma da partícula (relacionado com largura, comprimento e espessura da partícula) e a localização da partícula dentro do rúmen podem colaborar com a maior ou menor k_p para o omaso (POPPI et al., 2001; WARNER, 2013).

Dentre os fatores relacionados aos animais, destacam-se o sexo, estágio fisiológico e a espécie (FAICHNEY, 1996). Neste contexto, machos inteiros apresentam valores de exigência nutricional superior quando comparado a machos castrados e fêmeas (NRC, 2007). A diferença na exigência está associada a ação de hormônios sexuais que pode influenciar diretamente no consumo, e por consequência interferir na k_p . Adicionalmente, diversos autores tem observado que machos inteiros apresentam maior consumo comparado com fêmeas (THONNEY et al., 1987; BAILEY; DUFF, 2005). Tomando como base o que foi apresentado, machos inteiros podem apresentar maior k_p que machos castrados e fêmeas.

A evolução do trato gastrintestinal se deu ao longo dos anos por meio de processos adaptativos a partir de diferentes estratégias de busca e seleção de alimento, condicionados pelo ambiente e necessidade dos animais (VAN SOEST, 1994). Segundo Hoffmann (1989), caprinos são classificados como selecionadores intermediários. Estes apresentam os compartimentos ruminal, omasal e intestinal proporcionalmente menores quando comparado com ruminantes pastejadores (ovinos e bovinos). Aspectos estes que podem resultar em diferenças na passagem do alimento ao longo do trato comparadas a outras espécies de ruminantes. Essas diferenças foram apontadas por alguns autores (CLAUSS et al., 2006), os quais observaram maior k_p de sólido em animais selecionadores comparado aos pastejadores. Tedeschi et al. (2012) sugerem ainda que o teor de fibra da dieta impacta de forma diferente a k_p de caprinos em relação a bovinos e ovinos, entretanto os mesmos autores relatam que dietas com alto volumoso podem resultar em k_p semelhante para caprinos em comparação com ovinos e bovinos.

Outro fator relacionado ao animal que afeta a k_p é o estágio fisiológico (crescimento, gestação, etc.). Estes estados fisiológicos estão associados à atuações indireta de hormônios sexuais que podem influenciar o consumo dos animais (NRC, 1987). Durante a fase inicial de crescimento, o fornecimento precoce de alimentos sólidos durante o período de aleitamento promove o

desenvolvimento do reticulorumen e a eficiência de ruminação (FURLAN et al., 2011). O contato precoce ou tardio com fibras alimentares influencia diretamente o desenvolvimento ruminal e, conseqüentemente a k_p (LUCCI, 1989).

Assim como a fase inicial de crescimento esta indiretamente relacionada com a k_p . Durante o período de gestação, as fêmeas sofrem modificações anatômicas que podem resultar em alterações na k_p . Durante a gestação, o comprometimento do volume ruminal ocorre em decorrência do aumento do útero gravídeo associado a ação hormonal, essa redução no volume ruminal pode induzir uma maior k_p ruminal. A literatura relata que o terço final da gestação é o período mais crítico, em função do maior crescimento do feto, e conseqüentemente aumento das necessidades nutricionais (FORBES, 1986; COSTA et al., 2003).

2.1.2 Métodos para determinar a taxa de passagem

A k_p ao longo do trato gastrointestinal pode ser estimada por métodos indiretos (curvas de excreção, modelos uni ou multicompartimentais) ou métodos diretos de determinação (evacuação ruminal a partir de animais fistulados ou abatidos). As metodologias indiretas têm como princípio o uso de indicadores externos complexados com a fração sólida (volumoso ou concentrado) ou líquida, sendo fornecido para os animais em dose única com múltiplas amostragens (rúmen, omaso, abomaso, fezes) realizadas com intervalos definidos (LASCANO, 1990; QUIROZ, 1990).

Blaxter (1965) teorizou modelo para descrever o fluxo de passagem a partir de dois termos exponenciais e o fator tempo. Posteriormente, esse modelo foi aprimorado por Grovum e Williams (1973), possibilitando estimar a k_p lenta (passagem do indicador pelo reticulorumen), assim como a k_p rápida (passagem do indicador pelo Ceco e Cólon). Esse modelo embora muito utilizado para a predição da k_p tem como limitação a igual oportunidade de escape das partículas independente do seu tempo de permanência no compartimento, sofrendo críticas por essa abordagem, uma vez que partículas maiores necessitam sofrer quebra, aumentando a densidade e diminuindo tamanho, para que posteriormente possam seguir para os demais

compartimentos. A partir das críticas, foi proposto modelo no qual o fluxo da digesta é considerado como exponencial e multi-compartimental, onde todos os n compartimentos são classificados como independentes (DHANOA et al. 1985).

Diferentemente dos modelos de Blaxter (1965), Grovum e Williams (1973) e Dhanoa et al. (1985), que consideram o rúmen como único pool, nos modelos utilizando a distribuição gamma ($G_n G_1$), os ruminantes alimentados com forragem apresentam duas fases distintas no rúmen-retículo. A primeira fase sólida seria uma esteira flutuante com partículas cuja flutuabilidade promove a sua retenção seletiva no rúmen (pool não-escapável); e a segunda fase sólida com partículas menores e dispersas dentro da fase fluida (pool escapável) (BALCH; KELLY, 1950; HUNGATE, 1966; VIEIRA et al., 2008). Tentando simular o que realmente acontece no interior do rúmen.

Apesar dos avanços nos conceitos matemáticos com relação a curva de excreção fecal, o método indireto com uso de indicadores possui limitações devido a mudança nas características físicas do alimento, possível migração e perda de indicador (ÚDEN et al., 1980; EHLE, 1984; COMBS et al., 1992; HUHTANEN et al., 2006; KRIZSAN et al., 2010).

Por sua vez, as metodologias diretas consistem no esvaziamento ruminal, o qual pode ser realizado em animais abatidos ou canulados (Huhtanen et al., 2006). O método do esvaziamento ruminal tem sido amplamente utilizado (PALOHEIMO; MAKELA, 1959; DE VEGA, 1998; HUHTANEN et al., 2006; KRIZSAN et al., 2010) buscando estimar a cinética de passagem e o tempo médio de retenção em cada um dos segmentos do trato gastrointestinal de forma independente.

Para determinar a k_p na metodologia direta, a infusão do indicador deve ser realizada de forma contínua, para atingir a condição de "steady-state". Isto significa que a concentração do indicador ao longo do trato gastrointestinal será constante, permitindo assim a mensuração de cada um dos segmentos de forma independente. O estado estacionário "steady-state" é relativo ao período durante o qual o fluxo de entrada e saída de alimento e indicador se mantém constante (FOX, 1991), sendo esse um pré-requisito na estimativa confiável de digestão e de parâmetros cinéticos de passagem (HUHTANEN et

al., 2007). Poucas pesquisas utilizam a evacuação ruminal em animais abatidos, uma vez que este método é oneroso e laborioso (HUHTANEN et al., 2007). Esta metodologia pode ser utilizada para possíveis comparações interespecíficas (CANNAS et al., 2003). Além disso, é considerada a metodologia padrão por ser mais acurada quando comparada às metodologias indiretas e ao uso de cânulas, apesar de gerar uma única medida por animal (FONTES et al. 2001).

2.1.3 Indicadores

Os indicadores são as principais ferramentas metodológicas para estimar a cinética de digestão e passagem ao longo do trato gastrointestinal. Úden et al. (1980), Mayer et al. (1986) e Owens (1992) descreveram as características para um bom indicador:

- não ser absorvido ao longo do trato;
- ser atóxico;
- não afetar ou ser afetado pelos processos digestivos;
- ser de fácil determinação e mensuração em procedimentos laboratoriais;
- não dissociar da fração a qual está marcada;
- apresentar íntima associação ao alimento;
- apresentar distribuição uniforme na digesta;
- não influenciar a microbiota do trato digestivo;

Os indicadores são classificados como marcadores internos e marcadores externos (KOTB; LUCKEY, 1972; OWENS; HANSON, 1992; FIRKINS et al, 1998).

Indicadores internos se referem a fração do alimento que não sofre ações de microorganismos (rúmen, retículo, omaso, ceco e colón) nem digestão química (abomaso), chamado também de fração indigestível da dieta. Desde que os constituintes indigestíveis não sofram ação de digestão, o mecanismo de desaparecimento do constituinte é somente a passagem. Caso as partículas indigestíveis apresentem cinética de passagem semelhante a

digesta, a fração referente a estas partículas pode ser considerada como indicador.

Vantagens a respeito da utilização dos indicadores internos têm sido relatadas na literatura como: a presença desses no alimento, baixo custo, fácil mensuração, não necessitam de preparo prévio (PIAGGIO et al., 1991). Os primeiros indicadores internos utilizados foram a lignina (PALOHEIMO e MAKELA, 1959) e a cinza insolúvel em ácido (VAN KEULEN; YOUNG, 1977). Porém, a utilização desses indicadores é questionada (MUNTIFERING, 1982; VAN SOEST, 1994) devido a dificuldades de amostragem, já que suas quantidades na dieta são baixas. Ademais, outros autores relatam o desaparecimento da lignina durante o processo de digestão (MERCHEN, 1988; COCHRAN et al., 1988). Nesse sentido pesquisas tem sugerido o uso da fração fibrosa indigestível do alimento como indicador (LIPPKE et al., 1986). As principais frações são as fibras indigestíveis em detergente ácido (FDAi) e neutro (FDNi) e a matéria seca indigestível (MSi) (COCHRAN et al., 1986; BERCHIELLI et al., 2000; DETMANN et al., 2001; ZEOULA et al., 2002).

Atualmente, as principais críticas aos marcadores internos, especialmente as fibras indigestíveis, referem-se a metodologia para obtenção da fração indigestível, existindo divergência quanto ao tempo mínimo para incubação necessário para obter a fração totalmente indigestível. Os tempos citados na literatura variam de 96 horas (RUIZ et al., 2001) a 288 horas (HUHTANEN et al., 1994; VALENTE et al., 2011). Adicionalmente, a falta de padronização referente ao tecido utilizado na incubação da amostra tem sido considerada uma limitação do método (PIAGGIO et al., 1991; HUHTANEN et al., 1994; BERCHIELLI et al., 2001).

Indicadores externos podem ser divididos com relação a adesão a fração sólida ou a fração líquida da digesta. No tocante aos indicadores externos de fase sólida, as terras raras, como por exemplo o Samário, Lantânio, Itérbio, Disprósio, Césio e o Rutênio Fenantrolina são os principais indicadores para estimar a k_p de partículas no trato gastrintestinal (CROOKER et al., 1982; TEETER et al., 1984; COMBS et al., 1992; TITGEMEYER et al., 2001; CEZIMBRA, 2010). A determinação de algumas das terras raras exige

procedimentos específicos, envolvendo alto custo e mão de obra especializada (HARTNELL, 1979).

Os indicadores externos de fase sólida sofrem críticas metodológicas por alterar as características físicas da dieta interferindo na digestão e k_p (EHLE, 1984), além de possível dissociação do material marcado, associando assim a outras partículas e microorganismos, o qual pode distorcer o resultado de k_p (SATTER, 1992). Esse efeito de migração pode ser acentuado em condições ácidas, ou seja, onde ocorre queda do pH, dificultando assim mensurações após o abomaso. Contudo, dentre as terras raras, o itérbio tem sido amplamente utilizado em procedimentos de determinação da k_p , por se tratar de um material de maior aderência a partícula destinada a marcação e de fácil detecção por equipamentos de absorção atômica (COLEMAN, 1979; TEETER et al., 1979).

Com relação aos marcadores externos de fase líquida, Úden et al. (1980) desenvolveram modelos matemáticos buscando compreender os movimentos hídricos ruminais, usando polietilenoglicol como marcador. Contudo, esse marcador tem capacidade de precipitação quando em contato com tanino, presente em forragens tropicais. Em substituição ao polietilenoglicol, os quelatos são relatados na literatura como indicadores interessantes para a mensuração da k_p de fluidos, podendo ser esses de Cromo ou de Cobalto (BINNERTS et al., 1968; UDÉN et al., 1980; CANNAS; VAN SOEST, 2000; SEO et al., 2007). Em ambos os casos, a análise de quelatos é mais simples e mais precisa (MERCHEN, 1988).

O complexo proposto por Downes e McDonald (1964), chamado de cromo etileno diamino tetra-acético (Cr-EDTA), tem sido amplamente utilizado para determinar a k_p da fase líquida, uma vez que sua determinação se dá de forma simples, a partir de espectrometria de absorção atômica ou colorimétrica (BINNERTS et al., 1968). Outro fator que possibilita o uso do Cr-EDTA é a baixa afinidade deste com partículas sólidas (WARNER, 1969), tornando esse um marcador exclusivo de fluidos.

A crítica da literatura ao uso de marcadores de fase líquida está na possível absorção desses indicadores pelo trato gastrintestinal, uma vez que, alguns autores observaram traços de indicador na urina (DOBSON et al., 1976; ÚDEN et al., 1978; STERN et al., 1983). Neste sentido, precauções

devem ser tomadas em estudos para a administração de indicador, principalmente em animais enfermos ou com longos períodos de restrição hídrica (ÚDEN, 1978).

O uso de indicadores em estudos envolvendo nutrição animal em ruminantes tem se mostrado prática interessante devido a todos os benefícios agregados a prática de determinação da k_p . Porém, existem limitações que, quando negligenciadas, podem gerar resultados equivocados e conclusões não acuradas com relação ao trânsito de partículas e líquido pelo trato gastrintestinal.

2.2 Modelagem matemática

2.2.1 Definição de modelos

Modelos matemáticos podem ser definidos como a representação de um sistema real, o que significa que um modelo deve representar um sistema e como ocorre as suas modificações (MERTENS, 1976; GRAYBEAL; POOCH, 1980). O modelo matemático é constituído por uma ou mais equações, tendo por finalidade representar o comportamento de um sistema ou fenômeno natural. Atualmente modelos matemáticos tem sido considerados como ferramentas indispensáveis para expressar o conhecimento científico possibilitando novas descobertas, contestação de dogmas e o desenvolvimento de sistemas que apoiam a tomada de decisão (TEDESCHI, 2006).

O processo que visa desenvolver modelo a partir de um sistema inclui diversos passos, tendo início pelo estabelecimento do objetivo, delimitações quanto as características do modelo, escolha da forma matemática que melhor se ajusta ao sistema e a escolha da base de dados apropriada para a parametrização dentre outros (BARIONE et al., 2011). Adicionalmente, os modelos incorporam apenas aspectos essenciais do sistema buscando um objetivo definido, porém a capacidade de predição do modelo pode ser limitada a partir da disponibilidade escassa de dados para a parametrização, validação e aplicação.

Na modelagem o preceito de que maior número de variáveis envolvidas geram modelos mais robustos e assim mais acurados não se aplica em todas as ocasiões. É importante ponderar o erro associado à determinação de modelos utilizando maior ou menor número de parâmetros, que buscam minimizar o viés e maximizar a exatidão e precisão do modelo (DANICKE, 2009). Portanto, bons modelos devem ser o mais simples possível desde que estes representem de forma adequada o comportamento da resposta estudada.

Conclusões obtidas por observações a campo utilizando metodologias confiáveis apresentam valores com menor viés quando comparados a valores preditos por modelos matemáticos. Por outro lado, o uso dos modelos matemáticos devidamente calibrados e gerados a partir de informações confiáveis obtidas no campo podem potencializar a aplicabilidade e abrangência das informações obtidas (GOERING; VAN SOEST, 1970).

2.2.2 Classificação de modelos

Os modelos matemáticos podem ser classificados de diferentes formas de acordo com a sua abordagem. Essas abordagens são dependentes da complexidade dos dados de entrada, bem como da proposta para o qual o modelo foi desenvolvido. Os modelos matemáticos podem ser classificados como “empíricos” ou “mecanicistas”, segundo o grau de explicação biológica dos fenômenos que eles descrevem ou estimam. Da mesma forma, podem ser classificados como “estáticos” ou “dinâmicos”, conforme seu comportamento em relação ao tempo. E por fim, os modelos podem ser “estocásticos” ou “determinísticos”, de acordo com o tratamento probabilístico dado as suas variáveis e parâmetros (SAINZ; BALDWIN, 2002).

A abordagem mecanicista está relacionada com a interação entre os processos internos de modo a explicar o comportamento do sistema de forma completa. Assim, o sistema é decomposto em seus principais componentes e fluxos internos. Uma vez conhecendo os processos envolvidos no sistema, estes são modelados individualmente. Os resultados desses modelos são produzidos a partir da simulação dos processos e na interação entre eles (FRANCE; KEBREAB, 2008). Por sua vez, os modelos denominados

empíricos evidenciam a observação direta de variáveis de interesse associadas ao comportamento do sistema. Análises estatísticas envolvidas nas observações podem elucidar as possíveis relações envolvidas, uma vez que a partir da determinação de valores preditos (observados) pode-se estimar o valor de outra variável de interesse (resposta). Para modelos dessa natureza, os mecanismos causais nos quais uma variável interfere na resposta do sistema não são elucidados (FRANCE; KEBREAB, 2008).

Os modelos também são classificados, conforme seu dinamismo ao longo do tempo. São denominados como modelos estáticos os que visam representar o estado de um determinado sistema sem levar em consideração a variável tempo, enquanto que o modelo dinâmico representam as alterações ocorridas no sistema durante um intervalo de tempo estabelecido a partir das observações mensuradas (TEDESCHI, et al., 2005).

Os modelos matemáticos determinísticos são aqueles que proporcionam apenas uma resposta, por outro lado, modelos estocásticos, também conhecidos como probabilísticos, as possíveis respostas de saída do modelo dependem de uma distribuição de probabilidades (BALDWIN, 1995). Em trabalhos envolvendo nutrição e manejo, a maioria dos modelos de simulação disponíveis na literatura são determinísticos.

2.2.3 Avaliação de modelos

Todos os modelos são considerados como errados, pois são abstrações da realidade. (BOX, 1976; 1979). Contudo, conhecendo as deficiências e as fragilidades do banco de dados durante o processo de modelagem aliado a testes para determinar precisão e acurácia dos modelos, estes se tornam ferramentas importantes para a predição de parâmetros a partir de equações.

Testar modelos está descrito na literatura como a demonstração da acurácia e precisão em predições desses modelos, sendo essas avaliações indicativos de acertabilidade e capacidade de uso dos mesmos (STERMAN, 2002). Sendo assim, o termo avaliação ou teste são propostos para medir a robustez baseado em critérios pré-estabelecidos. Existem diversos métodos

para avaliação de modelos tendo como intuito principal comparar valores preditos pelo modelo a ser testado com valores observados.

Análise de regressão linear é o método mais comumente utilizado em avaliação de modelos. Este consiste na plotagem do valor predito pelo modelo no eixo X do gráfico, e o valor observado no eixo Y, essa disposição nos eixos ocorre devido a variabilidade natural contida nos valores observados, por outro lado, os valores preditos são determinísticos com variação aleatória (Equação 1; HARRISON, 1990; MAYER et al., 1994). Na disposição dos dados citada acima, os pontos estão dispostos acima ou abaixo da linha $Y=X$ indicando sub ou super-predição, respectivamente. Algumas pressuposições são consideradas em avaliações de regressão linear, nas quais, o eixo X não deve conter erros (modelos determinísticos), o eixo Y deve ser aleatório, independente e homocedástico e o resíduo deve ser independente e igualmente distribuído.

$$Y_i = B_0 + B_1 * f(X)_i + e_i \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde Y_i são os i valores observados, X_i são as i predições do modelo, e_i são os i erros aleatórios e B_0 e B_1 são respectivamente os parâmetros da regressão para intercepto e inclinação. A estimativa dos parâmetros da regressão são gerados a partir do método dos quadrados mínimos (NETEL et al., 1996).

Outro método utilizado para avaliar modelos é o coeficiente de correlação e concordância (CCC) proposto por Lin (1989), o qual inicialmente foi desenvolvido para testar o grau de correlação entre dados bivariados, ou seja, dois parâmetros obtidas a partir da mesma unidade experimental. Posteriormente, estudos constataram a possibilidade de utilizar o método CCC na avaliação de modelos (LIN et al., 2002; MCBRIDE, 2005). Esse método é ajustável somente para variáveis discretas sendo descrito como indicador de produtividade, levando em conta a precisão e a acurácia da medida simultaneamente.

A equação proposta para avaliação leva em consideração as médias dos valores preditos (Y) e observados (X) e suas respectivas variâncias s_y^2 e s_x^2 , obtendo assim a estimativa do coeficiente de correlação.

$$p_c = \frac{2 * s_{f(X)Y}}{s_y^2 + s_{f(x)}^2 + (\bar{Y} - \bar{f}(X))^2} \quad [\text{Eq. 2}]$$

A equação 2 pode ser expandida em dois parâmetros distintos como apresentado na equação 3 (LIN, 1989), a estimativa do coeficiente de correlação (p) no qual indica precisão, e o fator de correção do viés (C_b) indicando o quão distante a linha de regressão desvia da inclinação da curva padrão (45°), apresentado nas equações 4 a 6

$$p_c = p * C_b \quad [\text{Eq. 3}]$$

$$C_b = \frac{2}{\left[v + \frac{1}{v} + \mu^2 \right]} \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$v = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad [\text{Eq. 5}]$$

$$\mu = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\sigma_1 \sigma_2}} \quad [\text{Eq. 6}]$$

O parâmetro C_b varia entre 0 e 1. Uma vez que o C_b seja igual a inclinação, indica acurácia do modelo devido a não ocorrência de desvio dos dados com relação a curva padrão. A proposta principal da estatística CCC é propiciar um formato unificado de avaliação de concordância entre duas ou mais medidas, porém, as medidas devem ser ambas classificadas como contínuas ou em escala (KING; CHINCHILLI, 2001).

Outra forma de avaliar modelos matemáticos utilizada e descrita em diversos trabalhos científicos (HARLEY, 1977; 1982; ST-PIERRE, 2003) tem como base o valor de regressão residual (observado menos predito) no eixo Y e o valor do predito centralizado (predito menos a media das predições) no eixo X (Equação 7). O uso do predito centralizado tem como finalidade tornar

as estimativas ortogonais para o intercepto e inclinação da curva, ou seja, independentes entre si.

$$(Y_i - X_i) = B_0 + B_1 * (X_i - \bar{X}) + e_i \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde Y_i são os i valores observados, X_i são os i valores preditos pelo modelo, B_0 e B_1 são respectivamente os parâmetros da regressão para intercepto e inclinação, \bar{X} é a média dos valores preditos pelo modelo. Nesse caso o intercepto da equação de regressão estima o viés médio, gerando assim informação sobre a acurácia do modelo, por outro lado, o viés linear é obtido pela inclinação da reta, possibilitando verificar o erro sistemático do modelo testado (ST-PIERRE, 2003).

Durante a avaliação de modelos, diversos procedimentos podem ser utilizados para melhor interpretação dos resultados assim como auxiliar na tomada de decisão. Dentre eles podemos considerar a análise de desvio, método proposto por Mitchell (1997) que consiste na plotagem gráfica do desvio (predito menos observado) em função do valor observado. A porcentagem de pontos obtidos dentro de uma variação predeterminada é usado como critério avaliador.

2.2.4 Modelagem na taxa de passagem

Diversos modelos para avaliar a nutrição de ruminantes tem sido desenvolvidos por sistemas de alimentação como o AFRC (1998), INRA (2007), NRC (2007), e por alguns autores como Cannas e Van Soest (2000) e Tedeschi et al. (2012). O desenvolvimento de modelos para predições na nutrição animal tem se mostrado uma ferramenta interessante no desenvolvimento e interpretação de mecanismos biológicos envolvidos na digestão em ruminantes. Portanto, modelos matemáticos são ferramentas indispensáveis para permitir avanços tecnológicos na alimentação e manejo animal (TEDESCHI et al., 2012).

A k_p é uma ferramenta essencial que possibilita interpretar e entender a cinética de digestão do alimento e o comportamento dos nutrientes ao longo

do trato gastrintestinal (ALLEN; MERTENS, 1988). Esse motivo aliado a dificuldade na determinação da k_p tem impulsionado o desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevam a k_p de partículas sólidas e líquidas pelo trato gastrintestinal, possibilitando assim, correlacionar a k_p com possíveis variáveis de simples mensuração, o que torna os modelos aplicáveis a diversas situações.

Os modelos citados na literatura com finalidade de mensurar a k_p em ruminantes estão apresentados em ordem cronológica na Tabela 1. Segundo os autores relacionados, as variáveis que interferem na k_p nos ruminantes estão relacionadas com a dieta (MS, FDN, FDNi) (DE VEGA et al., 1998; HUHTANEN, 2006; KRIZSAN et al., 2010), com o peso corporal (ILLIUS; GORDON, 1992; VIEIRA et al., 2008) e com características comportamentais (tempo em ruminação, alimentação, ócio (minutos/dia)) (OKINE; MATHISON, 1991).

Os modelos matemáticos descritos (Tabela 1) utilizam como variável dependente a k_p ou o tempo médio de retenção. Porém, esses modelos foram desenvolvidos em condições metodológicas distintas no que diz respeito aos indicadores utilizados, a metodologia para mensuração (direta ou indireta) e o modelo animal utilizado. Alguns autores consideram viável a predição de modelos unificados para diferentes espécies de ruminantes (CANNAS; VAN SOEST, 2000). Outros autores consideram viável essa prática, porém para condições dietéticas de alto volumoso (CLAUSS et al, 2006; TEDESCHI et al, 2012). Por outro lado, existem autores que discordam dessa afirmação, acreditando na individualidade entre espécies afetando direta e/ou indiretamente a k_p de forma distinta (HENNESSEY et al. 1983; HOFFMANN, 1989).

Tabela 2. Equações para predição da taxa de passagem disponíveis na literatura

Estudo	Modelo	Indicador	Espécie	Segmento
Castle (1965)	$DMf_{(g)} = 29.12 + 1.464 * Kp_{(h)}$	Cr - forragem	Caprino	"Forestomach"
Grovum e Willians (1973)	$MRT = (1/Kp_{slow_{(h)}}) + (1/Kp_{fast_{(h)}}) + Time_{(h)}$	-	-	Rúmen
Ellis et al. (1978)	$DMI_{(kg)} = iDMFor_{(kgDM/100kgBW)} * Kp_{(h)} / [Kp_{(h)} / (Kp_{(h)} + Kd_{(h)})]$	Marcador forragem	Bovino	TGI
Oura et al.1 (1986)	$Kp_{(h)} = 0.0233 + 0.00091 * DMI_{(g/kgBW)}$	Cr-forragem	Bezerro	TGI
Oura et al.2 (1986)	$Kp_{(h)} = -0.01286 + 0.00332 * DMI_{(g/kgBW)}$	Cr-forragem	Garrote	TGI
Colucci et al. (1990)	$Kp_{(g/h)} = 1.91 + 0.369 * Kpsbm_{(g/h)}$	Cr mordentado	Bovino e Ovino	TGI
Okine e Mathison (1991)	$Kpndf_{(g/d)} = 35.04 + 0.0575 * Ruminating_{(min/d)}$	Cr mordentado	Bovino leiteiro	Rúmen
Illius e Gordon (1992)	$MRT_{(h)} = 16.7 * BW_{(kg)}$	Cr mordentado	Ruminantes	TGI
deVega e Poppi (1997)	$Kp_{(g/h)} = 2.15 + 0.023 * DMI_{(g/kgBW^{75})}$	Yb acetato	Ovino	TGI
deVega et al. (1998)	$Kp_{(g/h)} = -0.48 + 0.078 * DMI_{(g/kgBW^{75})}$	Yb acetato	Ovino	Rúmen
Cannas e Van Soest (2000)	$Kp_{(g/h)} = 1.82 * DMFor_{(g/BW)}^{0.34} + e^{0.036 * ConCP_{(gDM)}}$	Cr e terra rara	Bovino, Ovino, Caprino	Rúmen
Huhtanen et al. (2006)	$Kp_{(h)} = 0.0047 + 0.0027 * NDFI_{(kg/d)}$	FDNi	Bovino leiteiro	Rúmen
Seo et al. (2007)	$Kp_{liquid_{(h)}} = LOFR_{(kg/h)} / LCR_{(min)}$	Marcador fase líquida	Bovino leiteiro	Rúmen
Vieira et al. (2008)	$Kp_{(min)} = 1 / (0.425 * BW_{(kg)}^{0.25})$	Lignina	Bovino e Ovino	Rúmen
Huhtanen (2008)	$MRT_{(h)} = -9.4 + 0.95 * TTMRT_{(h)}$	FDNi	Bovino leiteiro	"Forestomach"
Krizsan et al. (2010)	$Kp_{(g/h)} = F + 1.54 + 0.0866 * NDFI_{(g/kgBW)}$	FDNi	Bovino leiteiro	Rúmen
Tedeschi et al. (2012)	$Kp_{(h)} = 0.00161 * NDFI_{(g/kgBW)}^{1.503} * e^{(0.022 * BW_{(kg)} - 0.00375 * ConNDF_{(g/kgDM)})}$	Yb acetato capsulado	Caprino	Rúmen

k_p = taxa de passagem; k_d = taxa de degradação; DMI = ingestão matéria seca; BW = peso corporal; DMf = matéria seca fecal; MRT = tempo médio de retenção; $k_{p,slow}$ = taxa de passagem rúmen; $k_{p,fast}$ = taxa de passagem ceco e cólon; iDMFor = matéria seca indigestível da forragem; Kpsbm = taxa de passagem do farelo de soja; DMFor = ingestão matéria seca de forragem; ConCP = concentração de proteína bruta na dieta; ConNDF = concentração de fibra detergente neutra na dieta; NDFI = ingestão de fibra detergente neutro; LOFR = taxa de saída de líquido do rúmen; LCR = volume de líquido no rúmen; TTMRT = tempo médio de retenção ao longo do trato gastrointestinal; F = fator de correção; TGI = trato gastrointestinal

Com relação a caprinos, poucas são as abordagens sobre modelos para prever a k_p . Cannas e Van Soest (2000) desenvolveram equações empíricas para prever a k_p de forragens e concentrado para bovinos, ovinos e caprinos. A partir da compilação de artigos publicados, estes autores observaram que a k_p de forragem do rúmen foi melhor predita, e conseqüentemente explicada por equações curvilíneas tendo como variáveis o nível de ingestão (em relação a porcentagem do peso corporal) da forragem e da proteína bruta da dieta. Por sua vez, a k_p do concentrado foi linearmente associada com a k_p da forragem.

Tedeschi et al. (2008) desenvolveram um modelo semi-mecanicista para prever os requerimentos dos nutrientes e o valor biológico dos alimentos para ovinos (CNCPS-S) e estas predições foram expandidas possibilitando abranger caprinos, o qual foi utilizado um modelo de predição de k_p único para as duas espécies. Porém, o banco de dados referente aos caprinos, pela baixa quantidade de variáveis, foi utilizado somente para a validação das equações, uma vez que o banco de dados utilizado para desenvolver os modelos consistia basicamente de ovinos e bovinos.

Tedeschi et al. (2012) desenvolveram e avaliaram equações empíricas para a predição da k_p fracional de alimentos em caprinos, usando a composição química da dieta e o peso corporal. Para o desenvolvimento do modelo, os autores utilizaram um banco de dados de quatro estudos contendo 54 médias de tratamentos e para a avaliação do modelo, foi utilizado banco de dados independente a partir de cinco estudos contendo 39 observações. As equações apresentadas por Tedeschi et al. (2012) corroboram com as equações desenvolvidas por Cannas e Van Soest (2000).

O panorama científico atual em pesquisas relacionadas a modelagem matemática de k_p em caprinos, pode ser descrito como dados incipientes e contraditórios. Contudo se faz necessária pesquisa com enfoque na avaliação dos modelos existentes na literatura com um banco de dados robusto e composto exclusivamente de caprinos, para determinar se os modelos se ajustam adequadamente aos dados de caprinos.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL - AFRC. **The Nutrition of Goats**. Wallingford: Cab International, 1998

ALLEN, M.S., MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of nutrition**, Bethesda, v. 118, p. 261–270, 1988.

BAILEY, C.R.; DUFF, G.C. Protein requirements of finishing beef cattle. In: southwest nutrition conference, 6., 2005, Arizona. **Abstract...** Arizona: SNC, 2005. p. 78-85.

BALDWIN, J.F. Knowledge from data using fuzzy method. **Pattern Recognition Letters**, North-Holland, v. 17, p. 593-600, 1995.

BARIONE, L.G.; ALBERTINI, T.Z.; MEDEIROS, S.R. Modelagem matemática no balanço de gases do efeito estufa na pecuária de corte. **Revista Brasileira De Zootecnia**, Vicosa, v. 40, p. 201-212, 2011.

BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicosa, v. 29, p. 830-833, 2000. doi:10.1590/S1516-35982000000300027

BERCHIELLI, T.T.; SADER, A.P.O.; TONANI, F.L.; PAZIANI, S.F.; ANDRADE, P. Avaliação da determinação da fibra em detergente neutro e da fibra em detergente ácido pelo sistema ANKOM. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vicosa, v.30, p.1572-1578, 2001. doi:10.1590/S1516-35982001000600027

BINNERTS, W.T.; VAN T KLOOSTER, A.T.; FRENS, A.M. Soluble chromium indicator measured by atomic absorption in digestion experiments. **The Veterinary Records**, London, v. 82, p. 470, 1968.

BLAXTER, K.L.; GRAHAM, N.M.C.; WAINMAN, F.W. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. **British Journal of Nutrition**, London, v.10, p. 69-91, 1956. doi:10.1079/BJN19560015

BOX, G.E.P. Science and statistics. In: **Journal of American Statistical Association**, Washington, v. 71, 791-799, 1976. doi:10.1080/01621459.1976.10480949

BOX, G.E.P. Robustness. **Statistics**. Academy press, London, 1979.

CANNAS, A.; VAN SOEST, P.J. **Simple allometric models to predict rumen feed passage rate in domestic ruminants**. In: MacNamara J.P., France J. e Beever D.E. editors, *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, Pages 49-62, 2000. doi:[10.1079/9780851994499.0049](https://doi.org/10.1079/9780851994499.0049)

CANNAS, A.; VAN SOEST, P.J.; PELL, A.N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 106, p. 95–117, 2003. doi:10.1016/S0377-8401(02)00255-9

CASTLE, E.J. The rate of passage of foodstuffs through the alimentary tract of the goat. **British Journal of Nutrition**, London, v. 10, p. 338-346. 1956. doi:10.1079/BJN19560020

CEZIMBRA, I.M. **Indicadores na estimativa do fluxo de nutrientes no duodeno, produção fecal, consumo de concentrado e volumoso por bovinos**, 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

CLAUSS, M.; HUMMEL, J.; STREICH, W.J. The dissociation of the fluid and particle phase in the forestomach as a physiological characteristic of large grazing ruminants: an evaluation of available, comparable ruminant passage data. **European Journal of Wildlife Research**, Berlin, v. 52, p. 88–98. 2006. doi:10.1007/s10344-005-0024-0

CLAUSS, M.; NUNN, C.; FRITZ, J.; HUMMEL, J. Evidence for a tradeoff between retention time and chewing efficiency in large mammalian herbivore. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v.154, p.376-382, 2009. doi:10.1016/j.cbpa.2009.07.016

COCHRAN, R.C.; ADAMS, D.C.; WALLACE, J.D.; GALYEAN, M.L. Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, p. 1476–1483. 1986. doi:10.2134/jas1986.6351476x

COCHRAN, R.C.; VANZANT, E.S.; DELCURTO, T. Evaluation of internal markers isolated by alkaline hydrogen peroxide incubation and acid detergent lignin extraction. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 66, p. 3245-3251. 1988. doi:10.2134/jas1988.66123245x

COLEMAN, S.W. The use of ytterbium as a rumen kinetic marker. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 49, p. 38. 1979.

COLUCCI, P.E.; MACLEOD, G.K.; GROVUM, W.L.; MCMILLAN, I.; BARNEY, D.J. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. **Journal of Dairy Science**, Champaign v. 73, p. 2143–2156. 1990. doi:10.3168/jds.S0022-0302(90)78895-9

COMBS, D.K.; SHAVER, R.D.; SATTER, L.D. Retention of rare earths by hay particles following incubation in fresh or autoclaved rumen fluid. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 75, p. 132–139, 1992. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77747-9

COSTA, R.G.; RESENDE, K.T.; RODRIGUES, M.T., ESPECHIT, C.J.B., QUEIROZ, A.C. Utilização de modelos matemáticos para estimar a retenção de minerais em cabras durante a gestação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 425-430, 2003. doi:10.1590/S1516-35982003000200022

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**, Bethesda, v.112, p.1353-1361, 1982.

DANICKE, S. Mathematical modeling in animal nutrition. France, J.; Kebreab, E. editors. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 151, p. 341-342, 2009. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.01.006

DHANO A M.S.; SIDONS R.C.; FRANCE J.; GALE D.L. A multi-compartmental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British journal of nutrition**, London, v. 53, p. 663-671, 1985. doi:10.1079/BJN19850076

DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; VALADARES FILHO, S.C.; EUCLYDES, R.F.; LANA, R.P.; QUEIROZ, D.S. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, p.1600-1609, 2001 doi:10.1590/S1516-35982001000600030

DE VEGA, A.; GASA, J.; CASTILLO, C.; GUADA, J.A. Passage through the rumen and the large intestine of sheep estimated from faecal marker excretion curve and slaughter trials. **British Journal of Nutrition**, London, v. 80, p. 381-389, 1998. doi:10.1017/S0007114598001445

DE VEGA, A.; POPPI, D.P. Extent of digestion and rumen condition as factors affecting passage rate of liquid and digesta particles in sheep. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 128, p. 207-215, 1997.

DIAS, R.S.; PATINO, H.O.; LÓPEZ, S.; PRATES, E.; SWANSON, K.C.; FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility and digesta passage kinetics in steers fed restricted and *ad libitum* levels of oat hay. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 1873-1880, 2011. doi:10.2527/jas.2010-3156

DOBSON, A.; SELLERS, A.F.; GATEWOOD, V.H.; Dependence of Cr-EDTA absorption from the rumen on luminal osmotic pressure. **American Journal of Physiology**, v.231, p.1595, 1976.

DOWNES, A.M.; MC DONALD, I.W. The chromium-51 complex of ethylene diamine tetra acetic acid as a soluble rumen marker. **British Journal of Nutrition**, London, v.18, p.153-162, 1964. doi:10.1079/BJN19640015

EHLE, F.R. Influence of feed particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.67, p.693-697, 1984. doi:10.3168/jds.S0022-0302(84)81354-5

ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; LASCANO.C. Quantifying ruminal turnover. **Federation Proceeding**, v. 38, p. 2702-2706. 1979.

FAICHNEY, G.J. **The kinetics of particulate matter in the rumen**. In: Milligan, L.P.; Grovum, W.L.; Dobson, A. Editors. Control of digestion and metabolism in ruminants. Prentice-hall, Englewood Cliffs, p.173-195, 1986.

FAICHNEY, G.J. Rumen physiology: the key to understanding the conversion of plants into animal products. **Australian Journal of Agriculture Research**, Australia, v. 47, p. 163-174, 1996. doi:10.1071/AR9960163

FIRKINS, J.L.; BERGER, L.L.; MERCHEN, N.R.; FAHEY, G.C. Effects of forage particle size, level of feed intake and supplemental protein degradability on microbial protein synthesis and site of nutrient digestion in steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 62, p. 1081-1094, 1986. doi:10.2134/jas1986.6241081x

FONTES, C.A.A.; ALVES, G.R.; PAULINO, M.F., ERBESDOBLER, E.D., THIEBAUT, T.L., LOMBARDI, C.T., GOMES, H.L. Influência do nível de consumo sobre degradabilidade das partículas e características ligadas à cinética ruminal, em novilhos pastejando capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, p. 2134-2144, 2001. doi:10.1590/S1516-35982001000800024

FORBES, J.M. **The voluntary food intake of farm animals**, London, Boston: Butterworths, 1986. p. 532.

FOX, D.G. Predicting body condition score changes in cows from calculated energy balance. **Cornell nutrition conference for feed manufacturers**. Cornell University, p. 144, 1991.

FRANCE, J.; KEBREAB, E. Mathematical modelling in animal nutrition. Edited Book, 2008. p. 237.

FURLAN, R.L.; MACARI, M; FARIA FILHO, D.E. **Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal**, In: BERCHIELLI et al. editor, Nutrição de ruminantes, Jaboticabal : FUNEP, 2ª ed., p. 16. 2011.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage Fiber Analysis**. Agriculture Handbook, US department of Agriculture, Washington DC, p. 20, 1970.

GRAYBEAL, W.J.; POOCH, U.W. **Simulation: principles and methods**. Cambridge: Winthrop Publishers Inc. p. 249, 1980.

GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 3. Differential rates of passage of water and dry matter from the reticulo-rumen, abomasum and caecum and proximal colon. **British Journal of Nutrition**, London, v. 30, p. 231–240, 1973. doi:10.1079/BJN19700029

HARLEY, W.R. **User's Guide for LSML76**. 1976. 56 pages. Thesis (phD in Animal Science) - The Ohio State University, Columbus, 1976.

HARLEY, W.R. Mixed model capabilities of LSML76. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 54, p. 1279–1285, 1982. doi:10.2134/jas1982.5461279x

HARRISON, S.R. Regression of a model on real-system output: an invalid test of model validity. **Agriculture system**, England, v. 34, p. 183-190, 1990. doi:10.1016/0308-521X(90)90083-3

HARTNELL, G.F.; SATTER, L.D. Extent of Particulate Marker (Samarium, Lanthanum and Cerium) Movement from One Digesta Particle to Another. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.48, p.375-380,1979. doi:10.2134/jas1979.482375x

HENNESSEY, D.W.; LEE, G.J.; WILLIAMSON, P.J. Nitrogen loss from protein meals held in Terylene bags in the rumen of cattle and the nutritive value of the residues. **Australian Journal of Agricultural Research**, Australia, v. 34, p. 453-467, 1983. doi:10.1071/AR9830453

HOFFMANN, R.R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. **Oecologia**, Berlin, v. 78, p. 443-457, 1989. doi:10.1007/BF00378733

HOOPER, A.P.; WELCH, J.G. Effects of particle size and forage composition on functional specific gravity. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 68, p. 1181-1188, 1985. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)80945-0

HRISTOV, A.N.; ROPP, J.K. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.86, p.2416-2427, 2003. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73836-3

HUHTANEN, P.; KUKKONEN, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetic in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 52, p. 141-158, 1994. doi:10.1016/0377-8401(94)00699-A

HUHTANEN, P.; AHVENJARVI, S.; WEISBJERG, M.R.; NORGAARD, P. **Digestion and passage of fiber in ruminants**. In: Sejrsen, K.; Hvelpund, T.; Nielsen, M.O. editors, Ruminant Physiology. Wageningen Academy Publishers, the Netherlands. p. 87-135, 2006.

HUHTANEN, P.; ASIKAINEN, U.; ARKKILA, M. Cell wall digestion and passage kinetics estimated by marker and in situ methods or by rumen evacuations in cattle fed hay 2 or 18 times daily. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 133, p. 206-227, 2007. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.05.004

HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York. Academic press, 1966.

ILLIUS, A.W.; GORDON, I.J. Modeling the nutritional ecology of ungulate herbivores: Evolution of body size and competitive interactions. **Oecologia**, Berlin, v 89: pp 428 - 434. 1992. doi:10.1007/BF00317422

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE - INRA. **Alimentation des bovins, ovins e caprins. Besoins des animaux. Valeurs des aliments**. Versailles, France: Editions Quae: 2007. p. 307.

KING, T.S.; CHINCHILLI, V.M. A generalized concordance correlation coefficient for continuous and categorical data. **Statistics in Medicine**, v. 20, p. 2131-2147, 2001. doi:10.1002/sim.845

KRIZSAN, S.J.; AHVENJARVI, S.; HUHTANEN, P. A meta-analysis of passage rate estimated by rumen evacuation with cattle and evaluation of passage rate prediction models. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, p. 5890 - 5901, 2010. doi:10.3168/jds.2010-3457

KOTB, A.B.; LUCKEY, T.D. Markers in Nutrition. **Nutrition Abstract and Review**, v. 42, p. 813-845, 1972.

LASCANO, C.; QUIROZ, R., **Metodologia para estimar la dinámica de La digestion en ruminantes**. 1990. In: Ruiz, M.E; Ruiz, A. Editors, Nutrición de ruminantes: guiametodológica de investigación. San Jose: ALPA/IICA/RISPAL, 1990. p.89-104.

LIN, L.I.-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. In: **Biometrics**, v. 45, p. 255-268, 1989. doi:10.2307/2532051

LIN, L.I.-K.; HEDAYAT, A.S.; SINHA, B.; YANG, M. Statistical methods in assessing agreement: Models, issues and tools. **Biometrics**, v. 97, p. 257-270, 2002. doi:10.1198/016214502753479392

LIPPKE, H. Regulation of Voluntary Intake of Ryegrass and Sorghum Forages in Cattle by Indigestible Neutral Detergent Fiber. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 63, p. 1459-1468, 1986. doi:10.2134/jas1986.6351459

LUCCI, C.S. Bovinos leiteiros jovens. São Paulo: Nobel, p. 371, 1989.

MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agriculture System**, England, v. 45, p. 93-104, 1994. doi:10.1016/S0308-521X(94)90282-8

MCBRIDE, G.B. **A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient**. Niwa Client Report, p. 62, 2005.

MERCHEN N.R. **Digestion, absorption and excretion in ruminants**. In: The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. p.172-201, 1988.

MERTENS, D.R. Principles of modeling and simulation in teaching and research. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 60, p. 1176-1186, 1976. doi:10.3168/jds.S0022-0302(77)84005-8

MITCHELL, P.L. Misuse of regression for empirical validation of models. **Agriculture system**, England, v. 54, p. 313-326, 1997. doi:10.1016/S0308-521X(96)00077-7

NETEL, J.; KUTNER, M.H.; NACHTCHEIM, C.J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models** (4th Edition). McGraw-Hill Publishing Co., Boston, 1996.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL, **Environmental health perspectives**. 3.ed. Washington, D.C., 1987.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL, **Nutrient Requirements of Small Ruminants**. Washington, DC: National Academy Press, 2007.

OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; KASKE, M.; KENNELLY, J.J.; CHRISTOPHERSON, R.J. Current understanding of the role of the reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of digesta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.78, p.15–21, 1998. doi:10.4141/A97/021

OKINE, E.K.; MATHISON, G.W. Reticular contraction attributes and passage of digesta from the ruminoreticulum in cattle fed roughage diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 69, p. 2177–218, 1991. doi:10.2134/jas1991.6952177x

OURA, R.; SEKINE, J.; OKUBO, M.; ASAHIDA, Y. Rate of passage of digesta in young calves weaned at 6 weeks of age. **Journal of the Faculty Agriculture**, Hokkaido, v. 63, p. 119 - 124, 1986.

OWENS F.N.; HANSON F.C. Symposium: external and internal markers, external and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of dairy science**, Champaign, v. 75, p. 2605-2617, 1992. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)78023-0

PALOHEIMO, L., MAKELA, A. Further studies on the retention time of food in the digestive tract of cows. **Acta Agralia Fenniae**, v. 94, p. 1–25, 1959.

PIAGGIO, L.M.; PRATES, E.R.; PIRES, F.F.; OSPINA, H. Avaliação de cinzas insolúveis em ácidos indigestíveis e lignina em detergente ácido indigestível como indicadores internos da digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 20, p. 306-312, 1991.

POPPI, D.P.; ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; LASCANO, C.E. Marker concentration pattern of labelled leaf and stem particles in the rumen of cattle grazing bermuda grass (*Cynodon dactylon*) analysed by reference to a draft model. **British Journal of Nutrition**, London, v. 85, p. 553-563, 2001. doi:10.1079/BJN2001317

POPPI, D.B.; NORTON, B.W.; MINSON, D.J.; HENDRICKSEN, R.W. The validity of the critical particle size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 94, p. 275-280, 1980. doi:10.1017/S0021859600028859

RUIZ, R.; VAN SOEST, P.J.; VAN AMBURGH, M.E.; FOX, D.G.; ROBERTSON, J.B. Use of chromium mordant neutral detergent residue as a predictor of fecal output to estimate intake in grazing high production Holstein cows. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.89, p.155-164, 2001. doi:10.1016/S0377-8401(00)00229-7

SAINZ, R.D.; BALDWIN, R.L. **Models of growth, lactation and digestion in cattle**. In: Everling, D.M.; Quadros, F.L.; Viégas, J.; Sanchez, L.M.; Gonçalves, M.B.F.; Lovatto, P.A.; Rorato, P.R.N Editors. Modelos Para a Tomada de Decisões na Produção de Bovinos e Ovinos. Santa Maria, p. 120-132, 2002.

SATTER, L.D.; NELSON, W.F. Impact of alfalfa maturity and preservation method on milk production by cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.75, p. 1562-1570, 1992. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77913-2

SEO, S.; LANZAS, C.; TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of liquid flow out of the rumen and to predict the rate of passage of liquid in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 90, p. 840-855, 2007. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71568-0

SEO, S.; LANZAS, C.; TEDESCHI, L.O.; PELL, A.N.; FOX, D.G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of particle flow out of the rumen and to predict rate of passage of forage particles in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 92, p. 3981-4000, 2009. doi:10.3168/jds.2006-799

ST-PIERRE, N.R. Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 344-350, 2003. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73612-1

STERMAN, J.D. All models are wrong: reflecting on becoming a system scientist. In: **System Dynamics Review**, Cambridge, v. 18, p. 501-531, 2002. doi:10.1002/sdr.261

STERN, M.D.; ORTEGA, M.E.; SATTER, L.D. Retention Time in Rumen and Degradation of Protein Supplements Fed to Lactating Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 66, p.1264-1271, 1983. doi:10.3168/jds.S0022-0302(83)81933-X

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; GUIROY, P.J. A decision support system to improve individual cattle management. 1. A mechanistic, dynamic, model for animal growth. **Agriculture Systems**, England, v. 79, p. 171-204, 2004. doi:10.1016/S0308-521X(03)00070-2

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; SAINZ, R.D.; BARIONI, L.G.; MEDEIROS, S.R.; BOIN, C. Mathematical models in ruminant nutrition. **Agricultural Science**, Cambridge, v. 62, p. 76-91, 2005. doi:10.1590/S0103-90162005000100015

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, Cambridge, v. 89, p. 225 - 247, 2006. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004

TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A.; SOLAIMAN, S.G.; VIEIRA, R.A.; GURUNG, N.K. Development and evaluation of empirical equations to predict fractional passage rate in goats. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 150, p.95-107, 2012. doi:10.1017/S0021859611000591

TEETER R.G.; OWENS F.N.; MADER T.L. Ytterbium chloride as a marker for particulate matter in the rumen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 58, p. 465-473, 1984. doi:10.2134/jas1984.582465x

THONNEY, M.L.; TAYLOR, St.C.S.; MCCLELLAND, T.H. Breed and sex differences in equally mature sheep and goats, growth and food intake. **Animal Production**, v. 45, p. 239-260, 1987. doi:10.1017/S0003356100018833

TITGEMEYER, E.C. Design and interpretation of nutrient digestion studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 2235-2247, 1997. doi:10.2134/jas1997.7582235x

TITGEMEYER, E.C.; ARMENDARIZ, C.K.; BINDEL, D.J.; GREENWOOD R.H.; LOES C.A. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v.79, p.1059-1063, 2001. doi:10.2134/jas2001.7941059x

UDÉN P.; COLUCCI P.E.; VAN SOEST P. J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, p. 625-632, 1980. doi:10.1002/jsfa.2740310702

ÚDEN, P. **Comparative studies on rate of passage, particle size and rate of digestion in ruminants, equines, rabbits, and man**. Ph.D. thesis, Cornell Univ. Ithaca, NY, 1978.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN E.; QUEIROZ A.C.; VALADARES FILHO S.C.; GOMES D.I.; FIGUEIRAS J.F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p. 2565-2573, 2011. doi:10.1590/S1516-35981011001100039

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell, 2a. Edition, p. 476, 1994.

VAN KEULEN, J.; YOUNG, B.A. Evaluation of Acid insoluble ash as a natural markers in ruminant digestibility studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 44, p. 282-287,1977. doi:10.2134/jas1977/442282x

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fiber mass in the ruminoreticulum. 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, v. 255, p. 357–368, 2008. doi:10.1016/j.jtbi.2008.08.014

WARNER, A.C.I. Binding of Cr-EDTA to particulate matter in the rumen **Veterinary Records**, v. 81, p. 441, 1969. doi:10.1136/vr.84.17.441

WARNER, D. **Passage of feed in dairy cows**. 165 pages. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, Netherland, 2013.

ZEOULA, L.M.; KASSIES, M.P.; FREGADOLLI, F.L. Uso de marcadores na determinação da digestibilidade parcial e total em bovinos. In: **Acta Scientiarum**, Maringa, v. 22, p. 771-777, 2000. doi:10.4025/actascianimsci.v22i0.3191

CHAPTER 2. EVALUATION OF EMPIRICAL MODELS TO PREDICT PASSAGE RATE IN GROWING SAANEN GOATS

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the adequacy of available models in the literature to estimate passage rate (k_p) in growing goats. The database derived from two studies with growing Saanen goats between 15 and 45 kg of body weight (BW), in total 102 goats fed *ad libitum*. The studies used rumen evacuation technique in slaughtered animals, and the markers used were Ytterbium (solid-phase external marker) and indigestible NDF (solid-phase internal marker). Model evaluation was conducted using mainly the regression of residual (observed minus predicted) based on centered predicted values and concordance correlation coefficient (CCC). Five models to predict reticulorumen k_p were evaluated. Any of the models tested fit well using Ytterbium database. On the other hand, when the indigestible NDF (iNDF) database was used, the model developed by Krizsan et al. (2010) fitted in the observed data ($P = 0.82$ for mean bias, and $P = 0.45$ for linear bias). The model developed by Tedeschi et al. (2012) was accurate (mean bias $P > 0.25$), and the model developed by Cannas and Van Soest (2000) and by Vieira et al. (2008) did not show systematic bias (linear bias $P > 0.16$) in the range of k_p predictions, using iNDF database. However, after considering iNDF intake (g/kg BW) as covariate in the model developed by Vieira et al. (2008), it became accurate and did not show systematic bias ($P = 0.42$ for mean bias and $P = 0.75$ for linear bias) in predicting k_p using iNDF as solid-phase marker. In conclusion, the model developed by Krizsan et al. (2010) and Vieira et al. (2008) adjusted to iNDF intake, provide a reliable prediction of k_p in growing Saanen goats.

Keywords: indigestible NDF, mean retention time, rumen, weaning goats, Ytterbium.

1. INTRODUCTION

Passage rate (k_p) is the transit of non-digested residues through the gastrointestinal tract (VAN SOEST, 1994). It has a direct impact on the amount of nutrients reaching the intestine for absorption, which will influence animal production (VAN SOEST, 1994; TITGEMEYER, 1997). Passage rate has been closely associated to the maximum dry matter intake, feed digestibility, and efficiency of microbiota in reducing feed particle size (OKINE et al., 1998). Knowing the importance of k_p in ruminant nutrition, some studies have focused in modeling k_p in order to applying some equations and models in feed balancing programs (e.g., National Research Council (NRC) and Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)).

Mathematical models can be defined as a representation of a real system by mathematical equations (MERTENS, 1976), math models are considered an essential tool to propagate and integrate the scientific knowledge (TEDESCHI, 2006). There were many models developed to predict the k_p in ruminants, most of those are empirical. However, the need of adjustment of those models for goats, as well as development of new models exclusively for goat have been constantly discussed in the literature (CANNAS; VAN SOEST, 2000; TEDESCHI et al., 2012).

Therefore, the evaluation of literature models to predict k_p in goats is necessary. Because, with these evaluations will be possible to state if the models developed for sheep and cattle fit well for goat databases or if more models need to be developed specific for goats. Thus, this study aimed to assess the adequacy of empirical models to determine k_p in growing Saanen goats.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Database description

The database was built based on information from two studies (SILVA, 2013; and LEITE et al., 2015a), These two studies determined diet composition, dry matter intake (DMI), neutral detergent fiber intake (NDFI), indigestible neutral detergent fiber intake (iNDFI), rumen pool size (wet, DM, NDF, and

iNDF content) in animals of different sexes and body weights (BW). The composition of diets used in both studies is described in Table 1.

In summary, both studies determined mean retention time (MRT) in growing Saanen goats of different sexes (females, intact males, and castrated males) and different BW (15, 22, 30, 35 and 45 kg BW). The MRT in the reticulorumen was calculated following Eq.[1] as described by Van Soest et al. (1992). The k_p was calculated as inverse of MRT, as presented in Eq.[2].

$$MRT = \left(Q/F \right) \quad [\text{Eq.1}]$$

where MRT is the mean retention time in h, Q is the marker quantity in g and F is the marker administration rate in g/h.

$$K_p = \left(1/MRT \right) \times 100 \quad [\text{Eq.2}]$$

where MRT is mean retention time in hours, and the k_p is passage rate in % per hour.

The studies determined MRT using the rumen evacuation technique in slaughtered goats after five consecutive days of solid-phase marker administration. The markers used to describe the solid particle kinetics were Ytterbium-labeled diet (external marker) and iNDF (internal marker). The ytterbium acetate tetrahydrate was used to label the whole diet. The database consisted of 102 goats fed *ad libitum*.

Table 1. Chemical composition of feed ingredients and experimental diets

Item	Study 1	Study 2
Ingredients (% as fed)		
Dehydrated corn plant ¹	45.40	45.65
Cracked corn grain	26.64	30.76
Soybean meal	22.32	15.03
Limestone	1.04	1.10
Ammonium chloride	0.920	-
Soybean oil	1.60	2.17
Mineral supplement	2.22	5.30
Nutrient composition		
Dry matter, % as fed	85.44	86.63
Organic matter, %DM	93.48	90.71
Crude protein, %DM	20.40	14.72
Ether extract, %DM	8.01	4.80
Neutral detergent fiber, %DM	35.54	31.61
Indigestible neutral detergent fiber, %DM	10.80	11.27
Non fibrous carbohydrates, %DM	29.53	39.58

¹ Dehydrated corn plant consisted of whole corn plant harvested and chopped when the kernel milk line was approximately 2/3 of the distance down the kernel

Animal characteristics and kinetic parameters used in the model evaluation are presented in Table 2. The animals were fed with similar diet, for this reason we assumed that the differences between studies were not due to diet characteristics.

Table 2. Descriptive statistics of characteristics of animals, intake, pool size and kinetics parameters used in the model evaluation

	n	Mean	S.D.	Minimum	Maximum
BW, kg	102	29.9	9.80	14.8	47.4
Intake					
DM, g/d	102	882	233	446	1447
NDF, g/d	102	276	89,0	99	474
iNDF, g/d	101	91	32,4	20	160
iNDF:NDF ratio	101	0.35	0.122	0.10	0.67
Reticulorumen					
Pool size, g	101	3696	998	1650	6418
Wet, g	100	3087	875	1171	5489
DM, g/d	100	558	197	187	1238
NDF, g/d	99	280	90,2	103	552
iNDF, g/d	99	149	65,4	53	366
iNDF:NDF ratio	99	0.53	0.126	0.34	0.82
Passage rate					
Ytterbium, %/h	92	3.50	0.930	1.41	5.93
iNDF, %/h	99	2.68	0.822	1.19	5.20

BW = body weight; DM = dry matter; NDF = neutral detergent fiber; iNDF = indigestible NDF.

2.2. Literature models description

A model search in the literature was done in papers published between 1960 and 2013. Only were chosen models that can estimate solids MRT or k_p in the reticulorumen and that was based on independent variables present in the database. The models selected were: de Vega et al. (1998), Cannas and Van Soest (2000), Vieira et al. (2008), Krizsan et al. (2010), and Tedeschi et al. (2012). These models were developed using different methodological approach, animal category and markers (Table 3).

Table 3 Models used in the evaluation to predict reticulorumen passage rate

Model	Equation
de Vega et al. (1998)	$K_p(\%/h) = -0.48 + 0.078 * DMI_{(g/kgMBW)}$
Cannas and Van Soest (2000)	$K_p(\%/h) = 1.82 * DMfor_{(\%BW)}^{0.34} + e^{0.036*conCP_{(\%DM)}}$
Vieira et al. (2008)	$K_p(/h) = 1/(0.425 * BW_{(kg)}^{0.25})$
Krizsan et al. (2010)	$K_p(\%/h) = F + 1.54 + 0.0866 * NDFI_{(g/kgBW)}$
Tedeschi et al. (2012)	$K_p(/h) = 0.00161 * NDFI_{(g/kgBW)}^{1.503} * e^{0.022*BW_{(kg)} - 0.00375*conNDF_{(g/kgDM)}}$

K_p = passage rate; DMI = dry matter intake; MBW = metabolic body weight; DMFor = dry matter intake of forage; BW = body weight (kg); conCP = dietary concentration of crude protein; F = adjust factor related to forage moisture; NDFI = neutral detergent fiber intake; ConNDF = concentration of neutral detergent fiber in the diet.

De Vega et al. (1998) measured k_p using eight sheep (11 months old, and BW 33.6 ± 0.75 kg) in a complete randomized design. The treatments tested were diets of Lucerne (*Medicago sativa*) hay either chopped (50 mm) or pelleted. The marker used was the Yb soaked in forage particles. Rumen k_p was measured using rumen evacuation technique in slaughtered sheep after a daily marker infusion of 6 g of Yb-labelled diets (in 12 equal portions at feeding time to mimic a continuous marker infusion) for five consecutive days. The equation developed was a linear regression considering DMI ($g/kg BW^{0.75}$) as independent variable.

Cannas and Van Soest (2000) developed a model using the information of 36 published scientific papers on small ruminants from 26 treatment means (22 in sheep and 4 on lactating goats), and on large ruminants from 62 treatment means (24 on lactating cows, 1 on dry cows and 37 on steers). The criteria considered by the authors were: diets with more than 20% forage, chopped forage smaller than 1 cm of nominal size, after 20 days of lactation, before 2/3 of pregnancy period, markers soaked in forage particles. The markers considered to develop the model were chromium or rare earth administered in a pulse-dose, and k_p was estimated with time-dependent models. The models were developed separately for each marker, allowing the comparison of the two equations, providing an internal validation process. The model tested in this study was based on rare earth marker. The empirical model developed by these authors was an exponential equation considering forage DM intake (% BW) and crude protein concentration (%DM).

Vieira et al. (2008) developed a model to explain digestion kinetic. The database used to evaluate the model was created based on information obtained from several experiments, which rumen content was measured by rumen evacuation in slaughtered animals (2 studies) or in cannulated animals (13 studies), as proposed by Cannas et al. (2003). The database included 70 treatment means with 43 cattle and 27 sheep. The database had information of internal marker, which 31 treatment means were based on lignin as marker, 25 treatment means were based on iNDF and 10 treatments means were based on non-reported internal marker. The model proposed used $BW^{0.25}$ (kg) as independent variable.

Krizsan et al. (2010) developed a model using cattle database. In total, was considered 49 studies, using cannulated animals and comprised 172 treatment means (40 studies (n = 145) conducted with dairy cows and nine studies (n = 27) with growing cattle). The marker used to measure k_p was iNDF and determined by rumen evacuation technique. The independent variable was the NDF intake (g/kg BW) and the authors suggested a correction factor (F) for forage (grass silage (F = 0.0), fresh grass (F = -0.91), mixed of alfalfa and corn silage (F = +0.83), and dry or ensiled alfalfa (F = +0.24)).

Tedeschi et al.(2012) worked with a database with four studies (54 treatment means) that sequentially measured marker concentration in the feces. All studies showed large variation in the k_p and diet composition. Three studies used mature goats (51.4, 70.6 and 58.5 kg BW). The fourth study measured k_p in smaller goats (35.7 kg BW). The solid particles k_p was determined by ytterbium acetate encapsulated (external marker). The marker was recovery in feces and the gamma distribution (G_2G_1) was used to estimate k_p . The empirical model developed by these authors was an exponential equation, and the variables described were BW (kg) and NDF intake expressed as g/kg BW and % DM.

2.3. Model assessment

To perform a model evaluation was necessary that all the models were in the same unit basis. Thus, the models that k_p was measured in decimal portion per hour (VIEIRA et al., 2008; TEDESCHI et al., 2012) was converted to % per h, as demonstrated in the Eq. [3].

$$k'_p = k_p * 100 \quad [\text{Eq.3}]$$

where k'_p is passage rate in % per hour and the k_p is passage rate in hour⁻¹.

The model evaluation was conducted by regressing residual (observed minus predicted) values on the predicted values centered on their mean values (Eq. [4]; ST-PIERRE, 2003). This approach allows the intercept and slope estimates in the regression to be orthogonal, and thus, independent. The intercept of the regression equations estimates the mean bias, and provide information of model accuracy, whereas linear bias were assessed by the slopes of the regression equations, to verify the systematic error.

$$(Y_i - X_i) = B_0 + B_1 * (X_i - \bar{X}) + e_i \quad [\text{Eq.4}]$$

where Y are observed values, X are predicted values, B_0 and B_1 are the regression parameters (intercept and slope, respectively) and \bar{X} is the mean of predicted values.

The models was also tested using additional criteria of evaluation. The coefficient of determination (R^2) of the linear regression between observed and predicted values, root mean square error of prediction (RMSEP; Eq. [5]), concordance correlation coefficient (CCC), and model accuracy (Cb) as described by Tedeschi (2006) were used to assess the model adequacy. The mathematical approach used to determine CCC and Cb is described in Equations [6] to [9].

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Where RMSEP is the root mean square error of predictions , that can easily compare the magnitude of this value to that of the observed mean value and gain an assessment of the relative accuracy of the model, Y are observed values, X are predicted values and n are the number of observations.

$$CCC = Cb + P \quad [\text{Eq. 6}]$$

$$Cb = \frac{2}{[v + 1/v + \mu^2]} \quad [\text{Eq. 7}]$$

$$v = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad [\text{Eq. 8}]$$

$$\mu = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\sigma_1 \sigma_2}} \quad [\text{Eq. 9}]$$

Where CCC is the concordance correlation coefficient, this parameter varied between 0 and 1, Cb is the bias correction factor that indicates how far the regression line deviate from the slope of unity (45°), P was the correlation coefficient estimate, μ_1 is the mean of observed k_p , μ_2 is the mean of predicted

k_p , σ_1 is the standard deviation of the observed k_p and σ_2 is the standard deviation of the predicted k_p .

The covariance procedure is a statistical tool that can be used find correction factors of models, and thus minimizing biased predictions. After evaluating the literature models, the covariance was performed in the non precise or accurate models by testing different variables in the model and measuring the changes in the residual by t-test to verify if the model got improved adequacy. The tested covariates were: iNDF/NDF ratio, DM intake (g/day; g/kg BW), iNDF intake (g/day; g/kg BW; g/kg DMI), NDF intake (g/day; g/kg BW; g/kg DMI), BW (kg) and $BW^{0.75}$ (kg).

3. RESULTS

The sex effect was analyzed, and no difference among sexes was identified for any variable tested. Therefore, the tests involving sex effect was not presented.

Using the database with ytterbium none of the evaluated models were accurate ($P < 0.05$; Table 4; Figure 1). However, the model proposed by Vieira et al. (2008) showed no systematic error ($P = 0.07$) in the range of k_p predicted values, which varied from 0.9 to 1.2 %/h (Figure 1). The results of R^2 , RMPE, CCC, and Cb also supported these findings (data no shown).

Table 4. Regressions of passage rate (k_p) residual on k_p predicted by the models centered on their mean value of solid phase k_p determined by ytterbium

	Intercept			Slope		
	Estimate	SE ¹	P ²	Estimate	SE ¹	P ²
de Vega et al. (1998)	1.79	0.11	<0.01	-0.94	0.17	<0.01
Cannas and Van Soest (2000)	-0.40	0.10	<0.01	-1.04	0.29	<0.01
Vieira et al. (2008)	2.48	0.09	<0.01	1.93	1.06	0.07
Krizsan et al. (2010)	0.91	0.10	<0.01	-1.05	0.26	<0.01
Tedeschi et al. (2012)	1.16	0.11	<0.01	-1.16	0.11	<0.01

¹Standard error = SE;

²P = P- value.

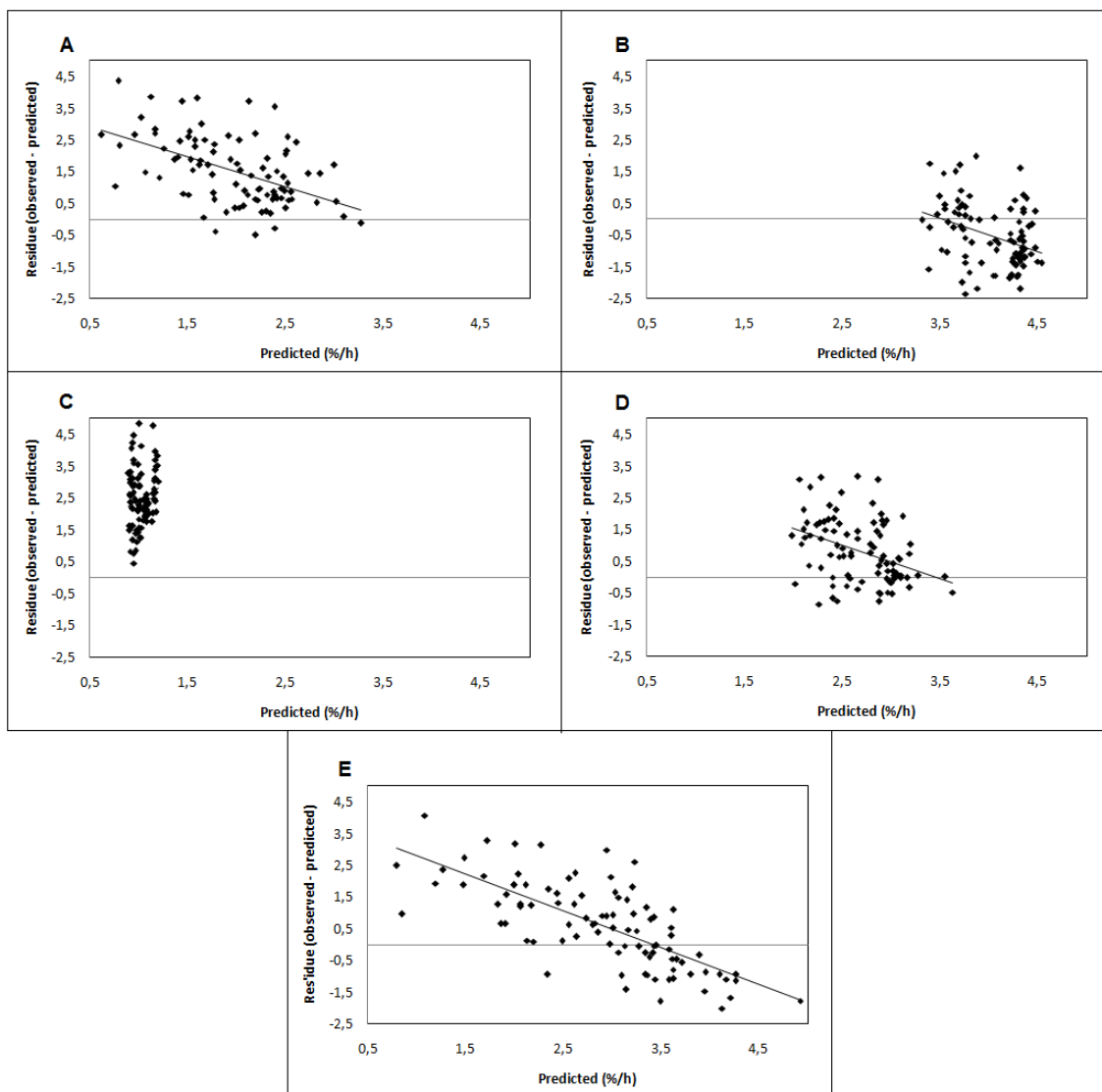


Figure 1. Regressions of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by literature models (A = de Vega et al., 1998; B = Cannas and Van Soest, 2000; C = Vieira et al., 2008; D = Krizsan et al., 2010, and E = Tedeschi et al., 2012), considering solid phase k_p obtained by ytterbium.

The k_p measured with iNDF showed better adjustment values compared to Yb (Table 5; Figure 2). The study of Cannas and Van Soest (2000) and Vieira et al. (2008) did not present systematic bias in the range of predicted k_p ($P = 0.50$ and $P = 0.16$, respectively). However, these models were not accurate ($P < 0.01$), wherein the model developed by Cannas and Van Soest (2000) overestimated k_p , and the model developed by Vieira et al. (2008) underestimated k_p . On the other hand, the model developed by Tedeschi et al. (2012) was accurate ($P = 0.25$), but presented systematic bias in the range of the predictions ($P < 0.01$). The model developed by Krizsan et al. (2010) was the only model that was accurate ($P = 0.82$), and did not showed systematic bias in

the range of predicted values evaluated ($P = 0.45$), using the database based on iNDF as solid-phase marker (Table 5; Figure 2).

Table 5. Regressions of passage rate (k_p) residual on k_p predicted by the models centered on their mean value of solid phase k_p determined by iNDF

	Intercept			Slope		
	Estimates	SE ¹	P ²	Estimates	SE ¹	P ²
de Vega et al. 1998	0.84	0.08	<0.01	-0.43	0.13	<0.01
Cannas and Van Soest 2000	-1.33	0.08	<0.01	-0.15	0.23	0.50
Vieira et al. 2008	1.65	0.08	<0.01	1.27	0.89	0.16
Krizsan et al. 2010	0.02	0.08	0.82	-0.16	0.21	0.45
Tedeschi et al. 2012	0.10	0.08	0.25	-0.62	0.09	<0.01

¹Standard error (SE).

²P = P- value.

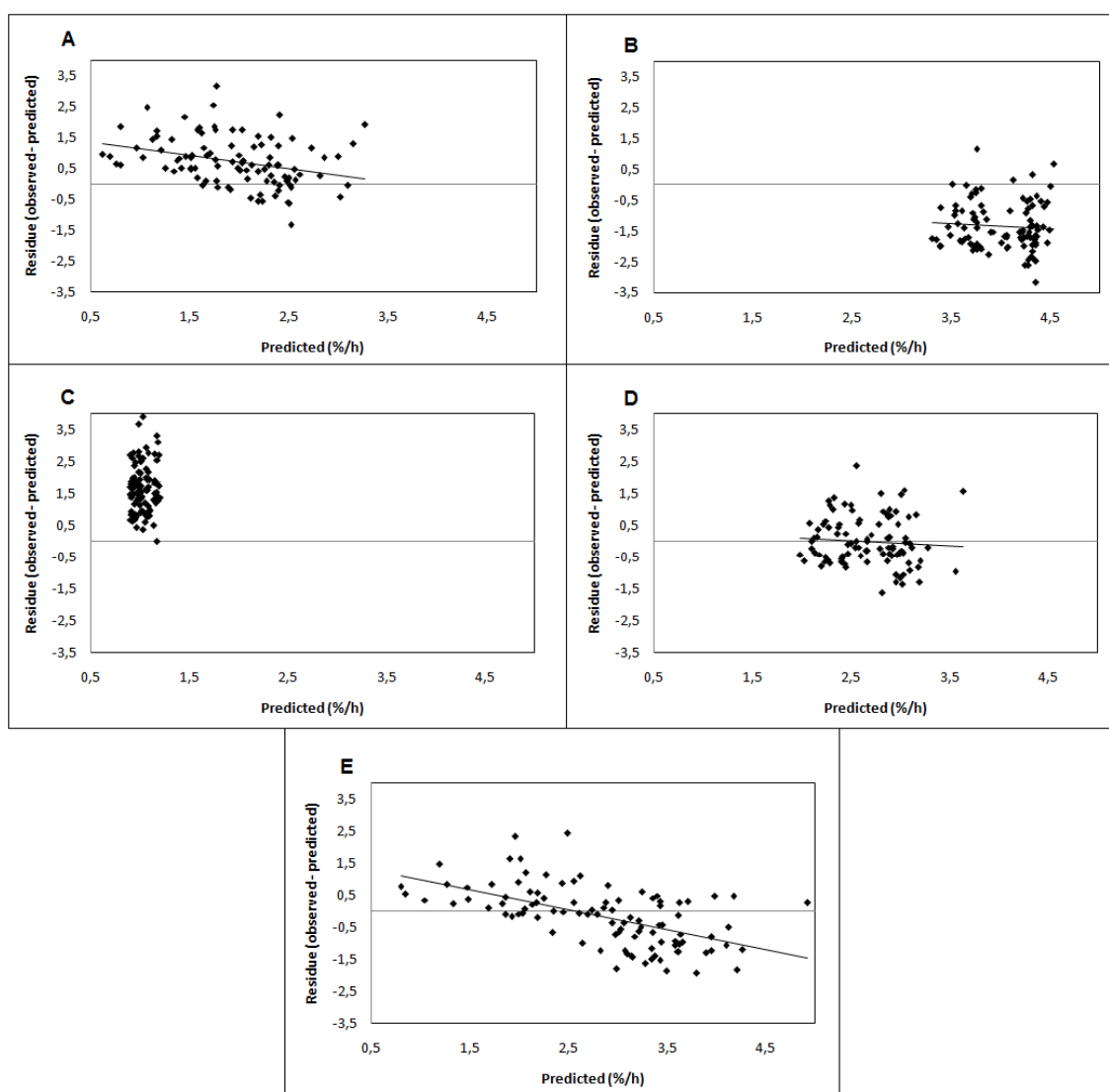


Figure 2. Regressions of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by literature models (A = de Vega et al., 1998; B = Cannas and Van Soest, 2000; C = Vieira et al., 2008; D = Krizsan et al., 2010, and E = Tedeschi et al., 2012), considering solid phase k_p obtained by iNDF.

To confirm the prediction power of each model the concordance correlation coefficient test (CCC) was used. In addition, determination coefficient (R^2), root mean square error of prediction (RMSEP) were also evaluated for each model. The results obtained with these evaluations supported the previous test (Table 6).

Table 6. Concordance correlation coefficient and precision/accuracy indicators of solid phase k_p determined by iNDF

	CCC ¹	Cb ²	R ² ³	RMSEP ⁴
de Vega et al. 1998	0.161	1.067	0.624	0.251
Cannas and Van Soest 2000	0.123	1.546	0.215	0.075
Vieira et al. 2008	0.063	1.833	0.044	0.011
Krizsan et al. 2010	0.136	0.760	0.739	0.273
Tedeschi et al. 2012	0.153	0.927	0.981	0.388

¹CCC = concordance correlation coefficient

²Cb = accuracy factor

³R² = determination coefficient

⁴RMSEP = root mean square error of prediction

No covariables improved the predictions of the evaluated models using the database that k_p was estimated using Yb. On the other hand, when the covariance test was used in the evaluated models using the database based on iNDF, the variable iNDF (g/kg BW) explained 29.6% of total residual for the model proposed by Vieira et al. (2008). Additionally, adding this variable in the model, the mean bias that was 1.65 ± 0.08 ($P < 0.01$) became -0.24 ± 0.30 ($P = 0.42$), and the linear bias changed from 1.27 ± 0.89 ($P = 0.16$) to -0.23 ± 0.74 ($P = 0.75$). Thus, the model developed by Vieira et al. (2008) that already did not showed systematic error, became accurate (Figure 3).

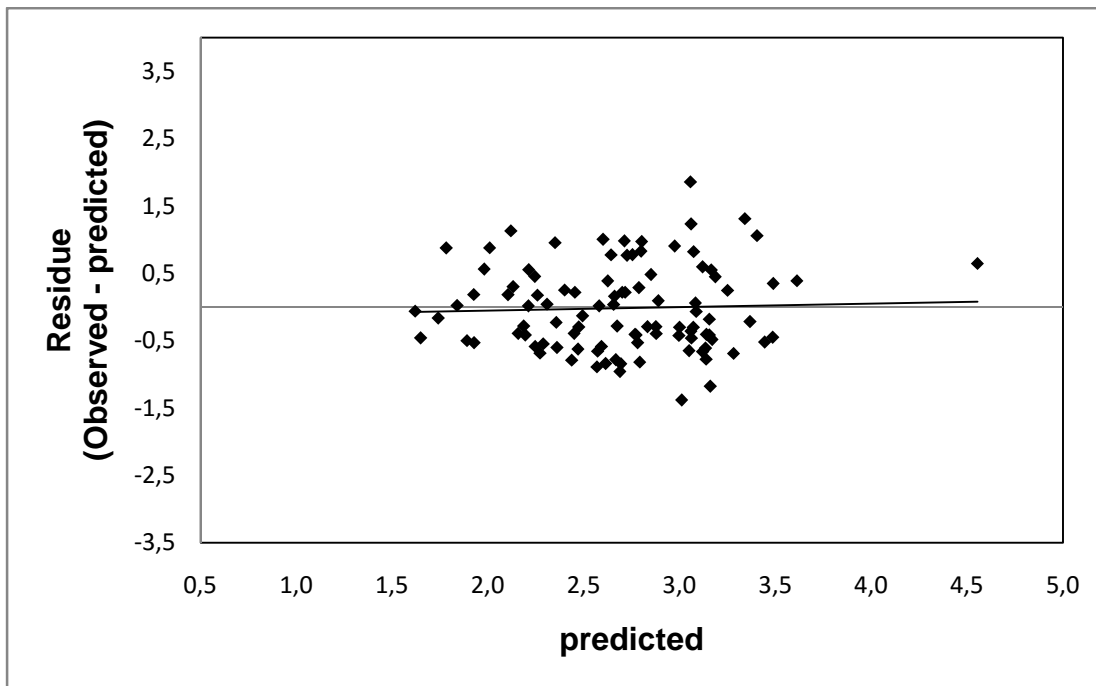


Figure 3. Regression of residual passage rate (k_p) on k_p predicted by Vieira et al. (2008), considering solid phase k_p obtained using iNDF as an internal marker, adjusted with iNDF intake (g/kg BW)

4. DISCUSSION

The marker applied is one of the factors that can impact k_p . For instance, the present study used two different markers to determine the solid fraction k_p (Yb-labeled diet and iNDF). The k_p estimated by Yb was about 1%/h faster than the k_p estimated by iNDF. It is in agreement with previous studies, which also found greater k_p when rare earth was used to label concentrate fraction of diet (HUHTANEN; KUKKONEN, 1995; KRIZSAN et al., 2011) and also labeled whole diet (LEITE et al., 2015b). Huhtanen and Kukkonen (1995) compared Yb and Cr (Chromium) labeled in silage and found faster rumen turnover when Yb was applied. Additionally, Krizsan et al. (2010) reported that fore-stomachs retention time was longer when estimated by Cr labeled in feed compared to rare earths. The iNDF is commonly used to represent fiber k_p (TAF AJ et al., 2005; VAN SOEST et al., 2005; HUHTANEN et al., 2006), while Yb better explain the k_p of concentrate (KOTB; LUCKEY, 1972; FRANCE; SIDDON, 1986), because ytterbium has greater affinity for small particles (ERDMAN; SMITH, 1985).

The differences between k_p estimated by Yb and iNDF reflected in the model evaluation herein. None of the evaluated models showed good adequacy

for Yb database. Additionally, most of models showed systematic bias, but the model developed by Vieira et al. (2008). Hui and Jackson (2007) stated that a variable scaling small exponent result in smaller range of variation. Taking into account that Vieira et al. (2008) model used the independent variable $BW^{0.25}$, it would result in a small range of prediction, which may be the reason for absence of systematic bias.

The model developed by de Vega et al. (1998) underestimated the k_p in slower k_p predictions when iNDF database was used. This model estimate k_p based on intake as a proportion of BW (g/kg BW). In fact, Clauss et al. (2013) reported a linear decrease in relative intake (g/kg BW) as animals increase BW. However, de Vega et al. (1998) build their database with few animals, and those animals had similar BW, therefore the model was not build to identify differences in k_p across large range of BW. It may be a reason for the low adequacy of this model.

The model developed by Tedeschi et al. (2012) presented systematic bias. This model underestimated at lower k_p predictions and overestimated at higher k_p predictions, and higher predictions occurred in smaller animals. In addition, observed values of k_p in smaller animals presented wider variation than in heavier ones. It is likely that these factors affected the predictions in the studies used herein to assess the models. In this sense, the systematic bias observed in the prediction model developed by Tedeschi et al. (2012) may be due to an interaction of data variation in the database and biased predictions by the model.

The model proposed by Cannas and Van Soest (2000) was based on fecal excretion curve of markers. The excretion curve was a common and useful method used in several studies in the past (HUNGATE et al., 1966; GROVUN; WILLIAMS, 1973; DHANOA et al., 1985; LASCANO, 1990; CANNAS; VAN SOEST, 2000). However, several studies have described a large variance in the estimates of this method, which can be associated to changes in the physical characteristics of labeled diet and possible migration or detachment of marker (ÚDEN et al., 1980; EHLE, 1984; COMBS et al., 1992; HUHTANEN et al., 2006; KRIZSAN et al., 2010). These limitations could bias the predictions of k_p , when the model is tested with database based on different methods (e.g., rumen

evacuation). The methodology is a possible reason for why the model developed by Cannas and Van Soest (2000) overestimated the observed data. On the other hand, this model did not present systematic bias at the range of k_p predictions. Therefore, finding a covariate that can generate a correction factor can be useful in increasing the accuracy of the model.

The model developed by Vieira et al. (2008) did not present systematic bias either, however it was not accurate. The only variable considered in this model was BW. The BW is an intrinsic variable related to the animal. However, Clauss et al. (2007) stated that the k_p is more affected by DMI than BW. In addition, several studies have reported that k_p is affected by diet factors, i.e. particle size, specific gravity, and level of intake (POPPI et al., 1980; HOOPER; WELCH, 1985; HRISTOV, 2003). All in all, In the present study, we observed that adding the variable iNDF intake (g/kg BW), the bias in the Vieira et al. (2008) model was eliminate, becoming the model accurate and without systematic error.

The model developed by Krizsan et al. (2010) did not present mean and linear bias in the observed values, these results can be related to the similarities in approaches used in the database for developing the model and in the evaluation database. Considering that the model and the observed data used rumen evacuation technique and similar internal marker (iNDF), it suggests that most of the precision and accuracy obtained in the model evaluation may be explained by these similarities. Additionally, the model developed by Krizsan et al. (2010) estimates k_p by a linear regression with NDF intake (g/kg BW) as independent variable. Huhtanen et al. (2006) stated that the k_p is affected by both animal and diet characteristics, and the association of those characteristics provides better reticulorumen k_p estimates (ELLIS et al., 1994). Thus, considering the technique similarities combined to the variable used to predict k_p , the model developed by Krizsan et al. (2010) can estimate a reliable k_p for growing dairy goats.

All in all, it is possible to conclude that models developed with large ruminants database, considering diet and animal characteristics can predict the k_p in small ruminants. It is great once the information presented in the literature related to cattle is larger compared to small ruminants. Cautions must be taken

in comparing methods to determine the k_p , in some instances differences in studies with ruminant species are related to methodology approach instead of simply species divergence. However, more studies are needed to confirm the possibility of extrapolations in other diet conditions. Additionally, it is important to take in account that those results and conclusions were based in our conditions, which consisted of lower variation in diet characteristics, resulting in a bias in the evaluations. However, fixing the diet characteristics, the variation in the predictions was attributed to animal effect. In addition, the database used to evaluate the models was based on rumen evacuation technique in goats with more than 100 animals, which gave us a robust database to evaluate models.

5. CONCLUSIONS

The use of Yb-labeled diet in reticulorumen shows faster k_p compared to iNDF.

The models developed by Vieira et al. (2008), adjusted for iNDF intake, and Krizsan et al. (2010) are adequate to predict the k_p in growing Saanen goats.

6. REFERENCES

CANNAS, A.; VAN SOEST, P.J. **Simple allometric models to predict rumen feed passage rate in domestic ruminants**. In: MacNamara J.P., France J. e Beever D.E. editors, *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, Pages 49-62, 2000. doi:10.1079/9780851994499.0049

CLAUSS, M., SCHWARM, A., ORTMANN, S., JÜRGEN STREICH, W., JÜRGEN HUMMEL. A case of non-scarling in mammalian physiology? Body size, digestive capacity, food intake, and ingesta passage in mammalian herbivores. In: **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 148, p. 249-265, 2007. doi:10.1016/j.cbpa.2007.05.024

CLAUSS, M., STEUER, P., MÜLLER, D.W.H., CODRON, D., JÜRGEN HUMMEL. Herbivory and body size: Allometries and diet quality and gastrointestinal physiology and impactations for herbivore ecology and dinosaur gigantism. **Plos One**, v. 8, p. e.68714, 2013. doi:10.1371/journal.pone.0068714

COMBS, D.K.; SHAVER, R.D.; SATTER, L.D. Retention of rare earths by hay particles following incubation in fresh or autoclaved rumen fluid. **Journal of**

Dairy Science, Champaign, v. 75, p. 132–139, 1992. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77747-9

DHANOVA M.S.; SIDONS R.C.; FRANCE J.; GALE D.L. A multi-compartmental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British journal of nutrition**, London, v. 53, p. 663-671, 1985. doi:10.1079/BJN19850076

DE VEGA, A.; GASA, J.; CASTILLO, C.; GUADA, J.A. Passage through the rumen and the large intestine of sheep estimated from faecal marker excretion curve and slaughter trials. **British Journal of Nutrition**, London, v. 80, p. 381-389, 1998. doi:10.1017/S0007114598001445

EHLE, F.R. Influence of feed particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.67, p.693-697, 1984. doi:10.3168/jds.S0022-0302(84)81354-5

ELLIS, W.C., MATIS, T.M., MURPHY, M.R. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forage. In: **FAHEY, G.C. editor, Forage quality, evaluation, and utilization**. University of Nebraska, p. 682-756, 1994.

ERDMAN, R.A., SMITH, L.W. Ytterbium binding among particle-size fraction of forage cell-walls. In: **Journal of Dairy Science**, v. 68, p. 3071-3075, 1985. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)81205-4

FRANCE, J.; SIDONS, R.C. Determination of digesta flow by continuous marker infusion. **Journal of Theoretical Biology**, v. 112, p. 105-119, 1986. doi:10.1016/S0022-5193(86)80031-5

GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 3. Differential rates of passage of water and dry matter from the reticulo-rumen, abomasum and caecum and proximal colon. **British Journal of Nutrition**, London, v. 30, p. 231–240, 1973. doi:10.1079/BJN19700029

HOOPER, A.P.; WELCH, J.G. Effects of particle size and forage composition on functional specific gravity. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 68, p. 1181-1188, 1985. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)80945-0

HRISTOV, A.N.; ROPP, J.K. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.86, p.2416–2427, 2003. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73836-3

HUHTANEN, P.; KUKKONEN, U. Comparison of methods, markers, sampling sites and models for estimating digesta passage kinetic in cattle fed at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 52,p. 141-158, 1995. doi:10.1016/0377-8401(94)00699-A

HUHTANEN, P.; AHVENJARVI,S.; WEISBJERG, M.R.; NORGAARD, P. **Digestion and passage of fiber in ruminants**. In: Sejrsen, K.; Hvelpund, T.; Nielsen, M.O. editors, *Ruminant Physiology*. Wageningen Academy Publishers, the Netherlands. p. 87–135, 2006.

HUI, D., JACKSON, R.B. Uncertainty in allometric exponent estimation: a case studying in scaling metabolic rate with body mass. In: **Journal of Theoretical Biology**, v. 249, p. 168-177, 2007. doi:10.1016/j.jtbi.2007.07.003

HUNGATE, R.E. **The rumen and its microbes**. New York. Academic press, 1966.

KRIZSAN, S.J.; AHVENJARVI, S.; HUHTANEN, P. A meta-analysis of passage rate estimated by rumen evacuation with cattle and evaluation of passage rate prediction models. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 93, p. 5890 - 5901, 2010. doi:10.3168/jds.2010-3457

KOTB, A.B.; LUCKEY, T.D. Markers in Nutrition. **Nutrition Abstract and Review**, v. 42, p. 813-845, 1972.

LASCANO, C.; QUIROZ, R., **Metodologia para estimar la dinámica de La digestion en ruminantes**. 1990. In: Ruiz, M.E; Ruiz, A. Editors, Nutrición de ruminantes: guiametodológica de investigación. San Jose: ALPA/IICA/RISPAL, 1990. p.89-104.

LEITE, R.F., KRIZSAN, S.J., FIGUEIREDO, F.O.M., CARVALHO, V.B., TEIXEIRA, I.A.M.A., HUHTANEN, P. Retention time of digesta in the gastrointestinal tract of growing Saanen goats. In: **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 1-10, 2015a. doi:10.2527/jas.2014-8763

LEITE, R.F., KRIZSAN, S.J., FIGUEIREDO, F.O.M., CARVALHO, V.B., TEIXEIRA, I.A.M.A., HUHTANEN, P. Contribution of different segments of the gastrointestinal tract to digestion in growing Saanen goats. In: **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 1-10, 2015b. doi:10.2527/jas.2014-8423

LIN, L.I.-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. In: **Biometrics**, v. 45, p. 255-268, 1989. doi:10.2307/2532051

MERTENS, D.R. Principles of modeling and simulation in teaching and research. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 60, p. 1176-1186, 1976. doi:10.3168/jds.S0022-0302(77)84005-8

OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; KASKE, M.; KENNELLY, J.J.; CHRISTOPHERSON, R.J. Current understanding of the role of the reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of digesta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v.78, p.15–21, 1998. doi:10.4141/A97/021

POPPI, D.B.; NORTON, B.W.; MINSON, D.J.; HENDRICKSEN, R.W. The validity of the critical particle size theory for particles leaving the rumen. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 94, p. 275-280, 1980. doi:10.1017/S0021859600028859

SILVA, S.P. **Taxa de passagem em caprinos submetidos ou não à restrição alimentar**. 2013. 94f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ST-PIERRE, N.R. Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, p. 344-350, 2003. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73612-1

TAJAFI, M., KOLANECI, V., JUNCK, B., MAULBETSCH, A., STEINGASS, H., DROCHNER, W. Influence of fiber content and concentrate level on chewing activity, ruminal digestion, digesta passage rate and nutrient digestibility in dairy cows on late lactation. In: **Asian and Australasian Journal of Animal Science**, v. 18, p. 1116-1124. 2005. doi:10.5713/ajas.2005.1116

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Journal of Agricultural Systems**, Cambridge, v. 89, p. 225 - 247, 2006. doi:10.1016/j.agsy.2005.11.004

TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A.; SOLAIMAN, S.G.; VIEIRA, R.A.; GURUNG, N.K. Development and evaluation of empirical equations to predict fractional passage rate in goats. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 150, p.95-107, 2012. doi:10.1017/S0021859611000591

TITGEMEYER, E.C. Design and interpretation of nutrient digestion studies. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, p. 2235-2247, 1997. doi:10.2134/jas1997.7582235x

UDÉN P.; COLUCCI P.E.; VAN SOEST P. J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, p. 625-632, 1980. doi:10.1002/jsfa.2740310702

VAN SOEST, P.J.; FRANCE, J.; SIDDON, R.C. On the steady-state turnover of compartments in the ruminant gastrointestinal-tract. **Journal of Theoretical Biology**, v. 159, p. 135-145, 1992. doi:10.1016/S0022-5193(05)80698-8

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell, 2a. Edition, p. 476, 1994.

VAN SOEST, P.J., VAN AMBURGH, M.E., ROBERTSON, J.B., KNAUS, W.F. Validation of the 2.4 times lignin factor for ultimate extent of NDF digestion, and curve peeling rate of fermentation curves into pools. In: **Proceeding Cornell Nutrition Conference for Feed Manufactures**, p. 139-149, 2005.

VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fiber mass in the ruminoreticulum. 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**, v. 255, p. 357-368, 2008. doi:10.1016/j.jtbi.2008.08.014