

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

WAGNER PESSANHA TAMY

**PREDIÇÃO DE CONTEÚDO RUMINORRETICULAR E DO CONSUMO
ALIMENTAR EM RUMINANTES DOMÉSTICOS**

CAMPOS DOS GOYTACAZES

2015

WAGNER PESSANHA TAMY

**PREDIÇÃO DE CONTEÚDO RUMINORRETICULAR E DO CONSUMO
ALIMENTAR EM RUMINANTES DOMÉSTICOS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal, na área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes.

ORIENTADOR: RICARDO AUGUSTO MENDONÇA VIEIRA

CAMPOS DOS GOYTACAZES

2015

WAGNER PESSANHA TAMY

**PREDIÇÃO DE CONTEÚDO RUMINORRETICULAR E DO CONSUMO
ALIMENTAR EM RUMINANTES DOMÉSTICOS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal, na área de concentração em Nutrição e Produção de Ruminantes.

Aprovada em 13 de Março de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Norberto Silva Rocha (D. Sc., Ciência Animal) - UFVJM

Dr. Tadeu Silva de Oliveira (D. Sc., Zootecnia) - UENF

Prof. Fernando de Paula Leonel (D. Sc., Zootecnia) - UFSJ

Prof. Aberto Magno Fernandes (D. Sc., Zootecnia) - UENF

Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira (D. Sc., Zootecnia) - UENF
(Orientador)

Aos meus Familiares:

Minha esposa, Carla Helena Merlin Vasconcellos Tamy pelo companheirismo, pela confiança, pela paciência e pelo amor em todo este tempo que estamos juntos e meu filho João Miguel Vasconcellos Tamy, meu presente de Deus e alegria da minha vida, pois tudo o que faço é pensando em vocês; meus pais João Batista Fiat Tamy e Clenilma Souza Pessanha Tamy, meus incentivadores, meus direcionadores, meus maiores educadores, por sempre estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, meu criador, porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas;

A minha esposa, por toda paciência, amor e pelo filho maravilhoso que temos, e aos seus pais por todo apoio que nos foi dado;

Aos meus pais, que sempre me proporcionaram tudo para garantir que eu me tornasse a pessoa que sou;

Ao meu irmão, meu grande amigo e companheiro de todos os momentos;

Ao meu orientador e Professor Ricardo Augusto Mendonça Vieira, pela orientação no curso, pelo comprometimento, dedicação e pelos valiosos ensinamentos.

Aos meus avôs, exemplos de sabedoria, carinho e amor;

A toda a minha família, tios, tias, primos e primas, pelo gesto de carinho;

Aos amigos da equipe de trabalho, Norberto, Raphael Pavesi, Matheus, Raphael Santos, Flávio, Leonardo, Nardele, Carlos Henrique, Davi, Jeferson e Antônio Paulo pelo apoio, alegria, as brincadeiras e descontração, tornando mais divertidos os momentos de trabalho pesado;

Aos meus amigos do curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, Felipe, Elizabeth, Renata, Bernardo e a todos os outros e outras que me acompanharam nessa caminhada;

Aos funcionários da Unidade de Apoio a Pesquisa em Zootecnia (UAPZ) UENF, Antônio Pereira de Souza, Alcir Manhães da Silva e Robson Alves de

Carvalho pelo apoio e por todo o trabalho realizado na fase de campo deste experimento;

A FAPERJ pela concessão da Bolsa de Estudos;

A todos os professores do Laboratório de Zootecnia e do curso de Pós-Graduação em Ciência Animal, pelos ensinamentos que recebi;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, por todas as oportunidades que me foram concedidas;

A todos os demais alunos de Zootecnia, da Graduação e Pós-Graduação;

E aqueles que não citei, e que me ajudaram direta e indiretamente, muito obrigado por tudo, pois sozinhos não somos nada.

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos em glória, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito, nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta, que não conhecem vitória, nem derrota”.

Theodore Roosevelt

BIOGRAFIA

WAGNER PESSANHA TAMY, filho de João Batista Fiat Tamy e Clenilma Souza Pessanha Tamy, nasceu em 23 de dezembro de 1983, na cidade de Italva, Rio de Janeiro.

Em março de 2004 ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, em Campos dos Goytacazes, graduando-se em Dezembro de 2008. Concluiu o curso de mestrado em fevereiro de 2011 nesta mesma instituição. Iniciou o curso de Doutorado em Ciência Animal no mês de março de 2011, sob orientação do Professor Ricardo Augusto Mendonça Vieira, e em março de 2015 submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

RESUMO

TAMY, Wagner Pessanha, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2015; Predição de conteúdo ruminorreticular e do consumo alimentar em ruminantes domésticos; Professor Orientador: Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Dados coletados em diferentes estudos referentes aos conteúdos ruminorreticulares fresco, de matéria seca, e lignina, bem como, os consumos de matéria seca, fibra e lignina foram utilizados para compor as observações deste estudo. O objetivo foi estimar parâmetros relacionados aos conteúdos e consumo de componentes químicos no rúmen-retículo. O modelo alométrico foi usado com a massa corporal (W) como uma variável independente, com o intuito de estimar parâmetros (α e β) como valores padronizados de referência para o conteúdo ruminorreticular fresco, conteúdo de matéria seca, conteúdo de fibra e conteúdo de lignina, bem como, consumos de matéria seca, fibra e lignina. Os procedimentos de regressão linear robusta foram usados para obter um melhor ajuste dos modelos. A qualidade dos ajustes dos modelos e a probabilidade de verossimilhança da hipótese foram acessadas pelo computo do critério de informações de Akaike. Os conteúdos ruminorreticulares de matéria seca e fibra, bem como, o consumo de matéria seca e fibra escalonaram isometricamente para a massa corporal no presente estudo. Portanto, em comparações interespecíficas entre bovinos, ovinos e caprinos, sempre que alimentos fibrosos representarem parte importante da dieta, o consumo de

matéria seca provavelmente será limitado por repleção ruminal. O conteúdo ruminorreticular de lignina escalonou alometricamente para a potência de 3/4. O consumo de lignina sem a inclusão dos dados de vacas leiteiras também escalonou para 3/4, o que manteve uma coerência com o comportamento do Q_{NDF} . O consumo de lignina das vacas leiteiras escalonou isometricamente com a massa corporal, baseado neste resultado o tempo médio de retenção ruminal de lignina parece ser menor nesta categoria animal em relação aos demais bovinos, ovinos e caprinos. Isto demonstra uma adaptação específica para utilizar alimentos lignificados ou um comportamento anômalo devido ao banco de dados estudado.

Palavras-chave: Alometria, Consumo, Fibra, Repleção ruminal, Ruminantes.

ABSTRACT

TAMY, Wagner Pessanha, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March 2015; Prediction of content ruminoreticulum and feed intake for domestic ruminants; Adviser: Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Data collected in different studies concerning the contents fresh, dry matter and lignin in the ruminoreticulum as well as dry matter, fiber and lignin intake were used to compose the observations of this study. The objective was to estimate parameters related to the contents and use of chemical components in the rumen-reticulum. The allometric model was used with body mass (W) as an independent variable in order to estimate parameters (α and β) as standard reference values for fresh, dry, fiber and lignin ruminoreticular content, as well as dry matter, fiber and lignin intake. The robust reweighted nonlinear least square procedures were used to obtain a better fit of the models. The quality of fit of the models and likelihood of hypothesis were accessed by computation of the Akaike information. The content of dry matter and fiber in the ruminoreticulum, as well as dry matter and fiber intake scaled isometrically to W in this study. So in interspecific comparisons between cattle, sheep and goats, where fibrous foods representing an important part of diet, dry matter intake is likely to be limited by ruminal fill. The lignin content ruminoreticulum scaled to the power $3/4$. Lignin intake without the inclusion of dairy cows data also scaled to $3/4$, which maintained a consistency with the Q_{NDF} behavior. The lignin intake in dairy cows scaled isometrically to W , based on this result the lignin turnover appears to be

faster in this category of animal compared to other cattle, sheep and goats. This demonstrates a specific adaptation to use lignified food or anomalous behavior due to the database studied.

Keywords: Allometry, Fiber, Intake, Rumen fill, Ruminants.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|---|--|----|
| A | Balanço de fatores que influenciam a ingestão de alimentos em ruminantes (Coelho da Silva (2011), adaptado de Preston & Leng (1987))..... | 25 |
| B | Diagrama conceitual baseado na regulação de consumo pelas teorias psicogênicos (1), fisiológicos (2) e físicos (3). As linhas sólidas referem-se ao fluxo de nutrientes, enquanto as linhas tracejadas referem-se ao fluxo de estímulos e informações (MERTENS, 1987)..... | 28 |
| C | Regulação de consumo baseado em equação algébrica simples, mostrando o consumo esperado quando limitado por demanda energética ou enchimento físico (adaptado de MERTENS, 1994)..... | 30 |
| 1 | Representação gráfica dos ajustes dos modelos alométricos para cada variável em relação à massa corporal..... | 44 |
| 2 | Representação gráfica dos ajustes dos modelos alométricos para o consumo de lignina (F_L) em relação à massa corporal..... | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Médias (\bar{x}) e desvio padrão (dp) do grupo de dados usado. O número da amostra encontra-se dentro dos parênteses (n)..... | 39 |
| 2 | Probabilidade de verossimilhança (w_h) para cada hipótese testada, com α e β estimados e seus respectivos intervalos de confiança 95% (IC 95%), e o sigma final estimado ($\hat{\sigma}$) para cada modelo utilizado para satisfazer os critérios da regressão robusta..... | 43 |
| 3 | Valores obtidos com o critério de Akaike para o consumo de lignina F_L com a utilização dos dados completos ou separados (sem dados das vacas / somente os dados das vacas)..... | 45 |
| 4 | Probabilidade de verossimilhança (w_h) para cada hipótese testada, com α e β estimados e seus respectivos intervalos de confiança 95% (IC 95%), e o sigma final estimado ($\hat{\sigma}$) para os modelos referentes ao consumo de lignina (F_L) utilizado para satisfazer os critérios da regressão robusta..... | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1 - INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 - REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 - Tipos de ruminantes | 16 |
| 2.1.1 - Diferenças no trato digestório dos ruminantes | 17 |
| 2.2 - Fibra | 20 |
| 2.2.1 - Fibra bruta (FB) | 21 |
| 2.2.2 - Fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) | 22 |
| 2.2.3 - Fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) | 22 |
| 2.2.4 - Lignina | 23 |
| 2.2.5 - FDN efetiva e fisicamente efetiva | 24 |
| 2.3 - Consumo alimentar | 30 |
| 2.3.1 - Consumo e utilização de forragens | Erro! Indicador não definido. |
| 2.3.2 - Fibra e Energia Relacionadas à Regulação de Consumo | 27 |
| 2.4 - Formulação de rações | 30 |
| 2.5 - Alometria | 32 |
| 2.5.1 - Dedução do modelo alométrico | 33 |
| 2.6 - Escalonamento da digesta e do consumo alimentar | 36 |
| 3 - MATERIAIS E MÉTODOS | 38 |
| 3.1 - Escalonamento de variáveis | 40 |
| 3.2 - Métodos estatísticos e critérios de avaliação de modelos | 40 |
| 4 - RESULTADOS | 42 |
| 5 - DISCUSSÃO | 47 |
| 5.1 - Aplicação do modelo alométrico | 51 |
| 6 - CONCLUSÕES | 53 |
| 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |
| 8 - APÊNDICE | 62 |

1 - INTRODUÇÃO

A produção de ruminantes segundo o paradigma do desenvolvimento sustentado exige adequado manejo nutricional efetuado a partir de sistemas nutricionais (MALAFAIA et al., 1999; VIEIRA et al., 2000c). Somente com o conhecimento quantitativo das necessidades nutricionais dos animais e do valor nutritivo das forragens, grãos e subprodutos agroindustriais empregados em sua alimentação, poderão ser formuladas rações que minimizem os custos com a alimentação, as perdas em nutrientes e resultem em maior eficiência para os sistemas de produção animal (RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992; AFRC, 1993; 1997; NRC, 1996; 2001). Diversos modelos matemáticos têm sido empregados nos cálculos de dietas para animais, com o intuito de otimizar a formulação de rações e evitar problemas causados pelo excesso ou pela falta de nutrientes.

Quando o tamanho de um sistema físico muda, a relação entre seus componentes precisa se ajustar para que ele continue a funcionar. Para alcançar tal diversidade os organismos tiveram que ajustar sua estrutura e função para compensar as mudanças físicas, geométricas e biológicas. O ramo da biologia que se preocupa com essas mudanças de escala é a alometria. O uso de leis de potência na biologia é muito bem estabelecido, de forma que, elas são habitualmente chamadas de equações alométricas. Existe uma grande facilidade na adoção do modelo alométrico para fins práticos cotidianos, principalmente quando a variável independente é a massa corporal, pois esta é fácil de ser obtida com um

ótimo nível de acurácia. Portanto podemos afirmar que é muito seguro, e até mesmo indicado o uso da alometria para predição de níveis de consumo e de repleção ruminal, com objetivo de melhorar quantitativamente e qualitativamente as formulações de dietas para os animais.

O objetivo do presente estudo, portanto, foi o desenvolvimento de modelos para predizer o consumo e conteúdo em componentes químicos da digesta no compartimento ruminorreticular, com base em suas relações com a massa corporal para que possam ser usados como restrições em programas nutricionais de formulação de dietas para ruminantes domésticos.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Tipos de ruminantes

Os ruminantes são animais que sofreram adaptações evolutivas ao longo do tempo que lhes permitiram o aproveitamento dos nutrientes contidos em plantas fibrosas. Estes animais não são capazes de produzir as enzimas necessárias para o processo de digestão da fibra, mas possuem compartimentos gastrintestinais de retenção da digesta, como o rúmen-retículo (RR) que permitem o desenvolvimento de bactérias, protozoários e fungos que realizam essa função.

Existem aproximadamente 150 espécies de ruminantes no mundo. Durante a evolução desses animais surgiu uma fascinante variedade de formas, o que culminou em uma impressionante amplitude de massa corporal na faixa entre 3–1200 kg, aproximadamente. Além disso, as espécies atuais da subordem *Ruminantia* conseguem viver em uma enorme variedade climática e geográfica (HOFMANN, 1989). O clima, as pressões do habitat e as oportunidades ecológicas influenciaram notavelmente a diversidade dos ruminantes. Hofmann (1989), em revisão baseada em estudos detalhados de todas as partes do sistema digestivo dos ruminantes, trabalhou com 65 espécies em quatro continentes e classificou os ruminantes em três grupos distintos de acordo com o seu tipo de alimentação, que podem ser descritos como pastadores (ex. bovinos, ovinos, búfalos), selecionadores (ex. alce, girafa, dikdik) e intermediários (ex. caprinos, gazela, antílope):

- Pastadores – somente 25% das espécies são classificadas como pastadoras que se adaptaram a forragens ricas em parede celular, que por seu turno contêm carboidratos estruturais (ex. celulose, hemicelulose e pectina), também denominados alimentos fibrosos;
- Seleccionadores – mais de 40% das espécies, são caracterizadas como seleccionadoras, consomem alimentos de alta qualidade, plantas com conteúdo celular solúvel e pouca fibra;
- Intermediários – em torno de 35% das espécies são oportunistas, pois misturam as dietas.

2.1.1 - Diferenças no trato digestório dos ruminantes

Pesquisas têm demonstrado que a ecologia da alimentação e a dieta são fatores adaptativos primários na evolução dos ruminantes, sendo o peso e o tamanho corporal, fatores secundários na adaptação a diferentes tipos de alimentos, isto permite uma comparação entre todas as espécies de ruminantes, que variam de animais com 3 kg de peso vivo (ex: Dikdik), a animais com mais de 1000 kg de peso vivo (ex: Gauro) (HOFMANN, 1989).

Devido aos diferentes tipos de alimentação adotados por cada grupo de ruminantes, são encontradas importantes diferenças no trato digestivo de acordo com o grupo em que eles se encontram. Podem-se encontrar tais diferenças nas glândulas salivares, rúmen, retículo, omaso, abomaso e intestinos.

As glândulas salivares são indicadores de seletividade e nichos de dieta, este órgão regrediu com o aumento da fibra na alimentação dos ruminantes, ou seja, a glândula salivar é mais desenvolvida nos animais dos grupos seleccionadores e intermediários do que nos pastadores (HOFMANN, 1989). Kay (1987) encontrou resultados semelhantes ao examinar glândulas salivares parótidas de ruminantes. A maior produção de saliva com característica ainda mais serosa nos seleccionadores e intermediários é uma contra-adaptação às defesas químicas das plantas que produzem compostos fenólicos com a propriedade de se complexar as proteínas salivares (complexos tânico-protéicos) e torná-las insolúveis no RR, o que permite a ingestão de moderadas quantidades de tanino e sua neutralização pela saliva de algumas espécies. Alguns experimentos têm demonstrado que o complexo tanino-

proteína é dissociado no meio ácido abomasal (HOFMANN, 1989; VAN SOEST, 1994).

O rúmen-retículo é considerado uma câmara de fermentação por permitir o desenvolvimento de microrganismos simbióticos que degradam compostos fibrosos e liberam ácidos graxos voláteis que são absorvidos pelos animais ruminantes. O rúmen também apresenta diferentes características de acordo com o tipo de ruminante e o padrão de alimentação que ele adota. O rúmen é formado por uma forte camada muscular, com poderosos pilares, arcos e pregas que o subdividem. Nos ruminantes selecionadores esta musculatura é menos desenvolvida em relação aos pastadores, independente do tamanho do animal. Dois exemplos disto são a girafa e o alce que são grandes ruminantes selecionadores, mas a musculatura do seu rúmen tem só a metade da espessura observada no búfalo. As papilas ruminais tem como principal função a absorção de ácidos graxos voláteis. De acordo com o tipo de alimentação as papilas aumentam (plantas ricas em conteúdo celular), ou diminuem (plantas ricas em parede celular) em tamanho e quantidade. Em função do tipo de alimentação pobre em parede celular e rica em conteúdo celular, os ruminantes selecionadores possuem papilas ruminais maiores e mais desenvolvidas em relação aos intermediários e aos pastadores, pois estes tipos de alimentos ao serem fermentados pelos microrganismos do rúmen produzem maiores quantidades de propionato e butirato em relação aos alimentos ricos em parede celular. Estes ácidos graxos, por sua vez, induzem a formação de novas papilas ruminais. Outro fator importante seria a taxa de passagem destes alimentos que é mais rápida, o que induz o animal a um maior número de refeições por dia e gera maior produção de ácidos graxos voláteis e, conseqüentemente, maior desenvolvimento de papilas ruminais (HOFMANN, 1989).

O retículo também possui suas diferenças de acordo com cada grupo de ruminantes e o seu tipo de alimentação. O retículo dos ruminantes selecionadores é maior em relação ao dos pastadores, este fato compensa a pequena parte dorsal do rúmen dos selecionadores, e tem função importante na motilidade da digesta. O omaso dos animais selecionadores é menor em relação ao dos animais pastadores. O omaso tem a função de último compartimento de retenção de partículas, que seleciona e direciona as partículas elegíveis ao escape para o abomaso, bem como, as que devem retornar para o rúmen a fim de ganharem as características necessárias para seguirem o fluxo normal da digesta no sentido retal, e também

realiza a absorção de água e eletrólitos, função esta que o pequeno omaso dos selecionadores e intermediários não é capaz de realizar. Por este motivo em particular, os animais selecionadores e intermediários possuem um longo cólon espiral que fornece tempo e superfície de absorção para água e eletrólitos (HOFMANN, 1989).

A mucosa do abomaso é 100% mais espessa nos animais selecionadores em relação aos pastadores e 50% mais espessa em relação aos animais intermediários. A proporção de HCl produzido nas células parietais é de 20% do tamanho do tecido da mucosa, independente do tipo de alimentação que o animal consome, com isso os ruminantes selecionadores produzem HCl em maior quantidade, independente do tamanho corporal e do tipo de alimentação. O HCl exerce funções importantes no estômago dos ruminantes, como por exemplo: neutralizar em grande parte nutrientes solúveis transportados pela saliva alcalina; digerir os corpos microbianos; fornecer pH adequado para atividade da pepsina; solubilizar cálcio e fósforo das plantas; quebrar o complexo tanino-proteína; e solubilizar a hemicelulose que escapa da fermentação ruminal (HOFMANN, 1989).

Gordon & Illius (1994, 1996) e Robbins et al. (1995) examinaram os componentes da hipótese de Hofmann, e não encontraram apoio para as adaptações morfo-fisiológicas ao tipo de dieta nas classes de ruminantes, e sendo assim, atribuíram as diferenças na função digestiva à massa corporal ou às características alimentares. Como resultado, o consenso foi que a hipótese de Hofmann quanto à morfologia do trato digestivo e função das classes de ruminantes é insuficiente (ROBBINS et al., 1995.; ILLIUS, 1997). Embora válido cientificamente, os estudos de Gordon & Illius (1994, 1996) e Robbins et al. (1995) não examinaram completamente componentes da hipótese de diversificação dos ruminantes e, portanto, não devem ser considerados para apoiar ou refutar a hipótese de Hofmann (DITCHKOFF, 2000).

Os ruminantes selecionadores e intermediários ainda realizam fermentação no intestino grosso, estes possuem o ceco bem desenvolvido como câmara de fermentação distal, o que aumenta o tempo de retenção de partículas e melhora a digestão da fibra (VAN SOEST, 1994).

Os ruminantes, como um grupo bem definido de mamíferos herbívoros, apresentam estas diversas características evolutivas descritas acima, as quais foram adquiridas ao longo de milhões de anos, e proporcionam grandes vantagens em

relação às espécies não ruminantes, e mostram muitos sinais de evolução ainda em curso.

2.2 - Fibra

A fibra representa a fração de carboidratos dos alimentos de digestão lenta ou indigestível e, dependendo de sua concentração e digestibilidade, impõe limitações ao consumo de matéria seca e energia (MERTENS, 1987).

A fibra é constituída por carboidratos que são usados como fonte de energia pelos microrganismos do rúmen e tem sido empregada na caracterização de alimentos para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações (VAN SOEST, 1994). No entanto, os nutricionistas não chegaram a um consenso sobre uma definição de fibra, bem como sobre a concentração ideal de fibra para otimizar o consumo de energia pelos ruminantes domésticos. A fibra é essencial, pois os ácidos graxos voláteis produzidos a partir de sua degradação e fermentação no RR são as principais fontes de energia para os animais alimentados com dietas ricas em forragens (MERTENS, 2001).

As forragens são importantes fontes em nutrientes na nutrição de ruminantes. Além de proteína e energia, as forragens provêm fibra necessária às rações para promover a ruminação e saúde do animal. Na formulação de dietas para os ruminantes domésticos, a qualidade e a quantidade de forragem são importantes fatores a serem analisados para o atendimento às exigências nutricionais e de fibra desses animais (MERTENS, 1997). Os componentes concentrados são usados para suplementar as contribuições nutricionais das forragens.

Os carboidratos são os principais constituintes das plantas forrageiras, correspondendo de 50 a 80% da MS forrageira e dos grãos cereais. As características nutritivas dos carboidratos das forrageiras dependem dos açúcares que os compõem, das ligações entre eles estabelecidas e de outros fatores de natureza físico-química. Assim, os carboidratos das plantas podem ser agrupados em duas grandes categorias conforme a sua uniformidade de digestibilidade no trato gastrintestinal, em fibrosos (CF) e não fibrosos (CNF) (MERTENS, 2000; HUHTANEN et al., 2006).

Os carboidratos não estruturais (CNE) incluem os carboidratos encontrados no conteúdo celular, como glicose e frutose, e os carboidratos de reserva das

plantas, como o amido, a sacarose e as frutanas. Os carboidratos estruturais (CE) incluem aqueles encontrados normalmente constituindo a parede celular, representados principalmente pela pectina, hemicelulose e celulose, que são os elementos mais importantes na determinação da qualidade nutritiva das forragens (VAN SOEST et al., 1991; HALL, 2003). A natureza e concentração dos carboidratos estruturais da parede celular são os principais determinantes da qualidade dos alimentos volumosos, especialmente de forragens (VAN SOEST, 1994).

A classificação dos carboidratos em CF e CNF refere-se unicamente a função desempenhada nas plantas e não deve ser confundido com papel dos carboidratos na nutrição animal (MERTENS, 1996). Os CF são encontrados na parede celular dos vegetais e fornecem o suporte físico necessário para crescimento das plantas. Os CNF estão localizados no conteúdo celular e são encontrados em maior concentração nas sementes, folhas e hastes e representam reservas de energia usadas para reprodução, crescimento e sobrevivência durante períodos de estresse (MERTENS, 1992).

Embora muitas vezes usadas como sinônimos, os termos parede celular e fibra não representam frações idênticas dos carboidratos, tanto em definição quanto em composição. Em relação à composição de alimentos, fibra é um termo usado para estabelecer um conceito puramente nutricional (NUSSIO, et al. 2001). A fibra é definida por nutricionistas como a fração indigestível ou de lenta digestão do alimento que ocupa espaço no trato gastrointestinal. Assim a parede celular não pode ser considerada como uma medida acurada da fibra, pois contém pectina, pois além de ser solúvel no líquido ruminal, possui digestibilidade alta e constante. Assim, os carboidratos estruturais recuperados no preparado fibroso podem ser denominados fibrosos e aqueles solúveis em solução detergente neutra podem ser denominados não fibrosos (MERTENS, 1996).

2.2.1 - Fibra bruta (FB)

É isolada por ácidos e bases fortes. A extração ácida remove amidos, açúcares e parte da pectina e da hemicelulose dos alimentos. A extração básica retira proteínas, pectinas e hemicelulose remanescentes e parte da lignina (MERTENS, 2001). A FB consiste principalmente de celulose adicionada de pequenas quantidades de lignina e celulose. Atualmente quase inexitem novos

trabalhos de pesquisa utilizando a FB, pois os métodos FDA e FDN desenvolvidos por Van Soest & Wine (1968) passaram a ter maior precisão e verossimilhança para serem utilizados em pesquisa na nutrição de ruminantes.

2.2.2 - Fibra insolúvel em detergente ácido (FDA)

A fração de fibra em detergente ácido (FDA) dos alimentos inclui celulose e lignina como componentes primários além de quantidades variáveis de cinza e compostos nitrogenados. A concentração de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) é usada para determinar a disponibilidade de proteína em alimentos tostados. Taninos, se presentes, são uma possibilidade para aumentar a proteína insolúvel associada com a parede celular da planta. Outra é a reação de *Maillard* ou não enzimática causada pelo aquecimento e secagem. O nitrogênio nestas frações tem baixa disponibilidade biológica e tende a ser recuperado na FDA (VAN SOEST, 1994). A concentração de NIDA em forragens tem uma alta correlação negativa com a digestibilidade aparente da proteína.

2.2.3 - Fibra insolúvel em detergente neutro (FDN)

A fração de fibra em detergente neutro inclui celulose, hemicelulose e lignina como os componentes principais. Atualmente o método de FDN é o que melhor representa a fração do alimento de digestão lenta ou indigestível e que ocupa espaço no trato digestório dos animais. O método original de FDN descrito por Van Soest & Wine (1968) usa sulfito de sódio para remover proteínas contaminantes da FDN quebrando ligações dissulfídicas e dissolvendo muitas ligações de proteína (Mertens, 2001). Esse método passou por várias modificações desde sua publicação, sendo essa a principal causa de variação nos resultados de análise entre laboratórios. Foi demonstrado que o método original não remove adequadamente amido dos grãos e de silagem de grãos.

Van Soest et al. (1991) desenvolveram o método do resíduo de detergente neutro (RDN), o qual usa amilase estável a quente no procedimento para remover amido, porém, o sulfito de sódio foi removido do procedimento por causa de preocupações sobre a possível perda de lignina e compostos fenólicos. Embora o

método de RDN resolva muitos problemas para mensurar a fibra em alimentos com amido, não eliminou todas as dificuldades necessárias para estabelecer FDN com acurácia (MERTENS, 2001).

Undersander et al. (1993) (citados por Mertens, 2000) desenvolveram um método de FDN para medir fibra em todos os tipos de alimentos, chamado de FDN amilase-tratada (aFDN). O método de aFDN usa amilase e sulfito de sódio para obter FDN com contaminação mínima de amido e proteínas. Se o objetivo é medir a fibra total com precisão em alimentos com contaminação mínima através de proteína digestível ou amido, o método de aFDN deve ser o preferido.

Infelizmente, os resultados de todos os três métodos (FDN, RDN, e aFDN) são geralmente chamados FDN embora os resultados dos três métodos possam ser bastante diferentes. Então, é importante saber o que está sendo definido como FDN e entender que algumas das discrepâncias entre laboratórios e entre os resultados de FDN podem resultar de diferenças devido ao método utilizado (MERTENS, 2001). Atualmente, o método de referência é o de quantificação da fibra por meio de tratamento em solução detergente contendo sulfito de sódio e adicionada durante o processo de digestão a amilase termoestável, sendo o resíduo final corrigido para as cinzas insolúveis e melhor denominado aFDN_{mo} ou matéria orgânica fibrosa tratada com amilase, o que vem do inglês aNDF_{om} de *amylase treated NDF organic matter* (MERTENS, 2000; UDÉN et al., 2005).

2.2.4 - Lignina

A lignina é um polímero fenólico que se associa aos carboidratos estruturais celulose e hemicelulose durante o processo de formação da parede celular vegetal, o que altera significativamente a digestibilidade destes carboidratos das forragens (VAN SOEST & WINE, 1968).

Sua composição, estrutura e quantidade variam de acordo com o tecido, os órgãos, a origem botânica, a idade da planta e os fatores ambientais (AKIN, 1989). A lignina presente em leguminosas, geralmente, é mais condensada e se encontra em maior quantidade, para um mesmo estágio de maturidade, do que as encontradas em gramíneas (GRENET & BESLE, 1991)

O procedimento para determinação de lignina em detergente ácido (LDA) inclui ambos os métodos hidrolítico (ácido sulfúrico) e oxidativo (permanganato de

potássio); a variante ácida sulfúrica de LDA é a mais popular. A lignina Klason é o resíduo remanescente depois de uma hidrólise por ácido sulfúrico em duas fases, que é comumente usada para determinar os componentes de açúcar neutro dos polissacarídeos da parede celular. A lignina Klason é melhor marcador para a digestibilidade que a Lignina obtida após oxidação por permanganato.

2.2.5 - FDN efetiva e fisicamente efetiva

Estes dois conceitos são relacionados, pois a efetividade da fibra na manutenção da percentagem de gordura do leite é diferente da efetividade da fibra em estimular a atividade de mastigação. A FDN efetiva (eFDN) está relacionada com a capacidade total de um alimento em diminuir a fibra da dieta de maneira que a percentagem de gordura no leite não se altere. A FDN fisicamente efetiva (feFDN) está relacionada com as propriedades físicas da fibra (principalmente o tamanho da partícula) que estimula a atividade de mastigação e estabelece uma estratificação bifásica dos conteúdos ruminais (uma camada flutuante de grandes partículas sobre a fase líquida contendo pequenas partículas dispersas). A feFDN vai sempre ser menor que a FDN, no entanto a eFDN pode ser menor ou maior que a concentração de FDN em um alimento (MERTENS, 2000).

O feFDN fornece uma medida mais consistente da fibra efetiva que a atividade mastigatória por estar em consonância com duas propriedades fundamentais dos alimentos: fibra e tamanho de partícula, e independência de fatores animais. O conceito de eFDN pode representar todas as características do alimento que ajudam a manter a síntese de gordura do leite (MERTENS, 2000). Embora uma baixa porcentagem de gordura de leite seja um indicador de dietas inadequadas, nem sempre a diminuição desta é causada pela dieta, o que sugere que a depressão na gordura do leite talvez não seja o melhor indicador de função ruminal ou de saúde animal. Assim, a eFDN pode ser um indicador menos sensível que feFDN da efetividade da fibra prevenindo depressão de consumo, acidose, laminite ou deslocamento de abomaso em vacas leiteiras (HALL, 2001).

Para Mertens (2001) uma redução no nível de fibra efetiva na dieta resulta numa série de eventos que ocorrem em cascata: menor mastigação pelo animal, menor secreção de saliva (combinado com uma maior produção de ácidos graxos voláteis) resultam em decréscimo no pH ruminal, mudança nas populações

microbianas, redução na relação acetato:propionato, depressão da gordura do leite e de nutrientes para engorda. Dos métodos de determinação de fibra a FDN é a melhor medida do conteúdo de fibra total de um alimento, servindo como base para determinar fibra efetiva.

2.3 - Consumo Alimentar

O consumo de alimentos é fundamental para a nutrição, pois é o principal fator que determina os níveis de nutrientes ingeridos, e conseqüentemente, a resposta e a função dos animais. A regulação de consumo de alimentos em ruminantes é um processo extremamente complexo envolvendo múltiplos mecanismos que são pouco entendidos (PITTROFF & KOTHMANN, 1999). Os animais ruminantes possuem a capacidade de associar os efeitos que ocorrem no organismo após a ingestão do alimento com suas propriedades sensoriais, e utilizam estes fatores para selecionar os alimentos a serem consumidos (FORBES & PROVENZA, 2000). A figura A ilustra esquematicamente os principais fatores que atuam na regulação do consumo alimentar em ruminantes (SILVA, 2011).

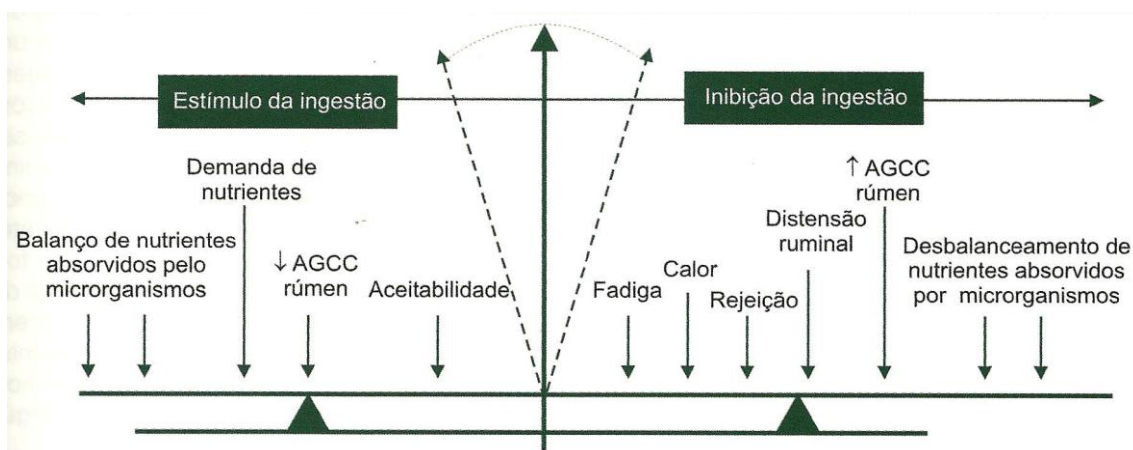


FIGURA A – Balanço de fatores que influenciam a ingestão de alimentos em ruminantes (Silva (2011), adaptado de Preston & Leng (1987)).

A digestibilidade e a utilização dos nutrientes fornecem somente uma descrição qualitativa do alimento consumido e o consumo alimentar é auto-regulado e limitado pelas exigências metabólicas e fisiológicas do animal (VAN SOEST, 1994). A digestibilidade está relacionada com a cinética e taxa de passagem da

digesta pelo trato digestivo (BLAXTER et al., 1956; WALDO et al., 1972), e esta afeta o consumo alimentar.

Durante muito tempo considerou-se que o consumo de alimentos pelos ruminantes era limitado pelo enchimento ruminal, no entanto essa limitação física não tem sido capaz de explicar todas as variações do consumo, o que indica que o controle do consumo envolve a integração de vários fatores. O consumo alimentar também pode ser influenciado por vários fatores externos, como condições de ambiente e constituintes da dieta (SILVA, 2011). Mertens (1987) afirmou que o consumo e a digestibilidade de alimentos pelos ruminantes depende da interação entre o animal, a dieta e o ambiente alimentar.

2.3.1 - Consumo e Utilização de Forragens

Os alimentos forrageiros são as principais fontes de fibra para os ruminantes. Os ruminantes são animais que sofreram adaptações evolutivas ao longo do tempo que lhes permitiram o aproveitamento dos nutrientes contidos em plantas fibrosas (HOFMANN, 1989).

Pesquisas relacionadas à regulação de consumo em ruminantes têm focado principalmente no papel da fibra no efeito do enchimento, digestibilidade e taxa de passagem (PITTROFF & KOTHMANN, 1999).

A fibra é constituída por carboidratos que são usados como fonte de energia pelos microrganismos do rúmen e tem sido empregada na caracterização de alimentos para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações (VAN SOEST, 1994). Dependendo da concentração e digestibilidade da fibra podem ocorrer limitações sobre o consumo de matéria seca e energia, a saúde dos ruminantes também depende diretamente de concentrações mínimas de fibra nas rações que estimulem a atividade de mastigação e motilidade do rúmen. A fibra é essencial, pois na maioria das dietas os ácidos graxos voláteis produzidos a partir de sua degradação e fermentação no rúmen-retículo são as principais fontes de energia para o animal (MERTENS, 2001).

O consumo é responsável duas vezes mais que a digestibilidade, pela quantidade de matéria seca digestível ingerida. Desta forma, quando a forragem está disponível à vontade para o animal, o consumo voluntário é um importante

determinante da produção por animal e por unidade de área, mesmo quando a forragem disponível não é adequada para ingestão máxima.

2.3.2 - Fibra e Energia Relacionadas à Regulação de Consumo

O consumo de alimentos em animais ruminantes é regulado por mecanismos que atuam a longo e curto prazo. Regulação de consumo em curto prazo refere-se a eventos que ocorrem dentro de um dia e que afetam a frequência, tamanho e padrão de alimentação (estímulos endócrinos e nervosos que desencadeiam sinais de fome ou saciedade). Já a regulação de consumo em longo prazo refere-se ao consumo médio diário durante um período de tempo no qual as exigências nutricionais dos animais para manutenção e produção são estáveis (MERTENS, 1987).

Os mecanismos de regulação de consumo em curto prazo geralmente não são usados em modelos de predição de consumo, pois os estímulos endócrinos e nervosos são muito complexos para prever consumo e se torna difícil o desenvolvimento de modelos dinâmicos. A pressuposição de estado de equilíbrio associada à regulação de consumo em longo prazo oferece um potencial para o desenvolvimento de modelos matemáticos para prever consumo (MERTENS, 1987).

Os trabalhos de Conrad et al. (1964) e Baumgardt (1970) indicaram que a regulação de consumo em longo prazo é dependente de características da dieta e do animal. Se as rações são ricas em fibra, o valor energético da dieta é baixa, o consumo é limitado pela capacidade física do animal, a função primária de regulação do consumo é devido às características da dieta. Quando as dietas são ricas em energia e possuem baixos teores de fibra o consumo é controlado pela demanda energética do animal, e a função primária de regulação do consumo é devido às características do animal (CONRAD et al. 1964), este fato explica a interação do metabolismo de energia e proteína com o consumo de forragens em animais ruminantes. Mertens (1987) sugeriu um terceiro mecanismo de regulação de consumo chamado de psicogênico. O mecanismo psicogênico envolve respostas no comportamento do animal a fatores inibidores ou estimuladores relacionados ao alimento ou ao ambiente que não são relacionados à energia ou enchimento da dieta (FIGURA B). Fatores como sabor, odor, textura, aparência visual de um

alimento, status emocional do animal, interações sociais e o aprendizado podem modificar a intensidade do consumo de um alimento (MERTENS, 1994).

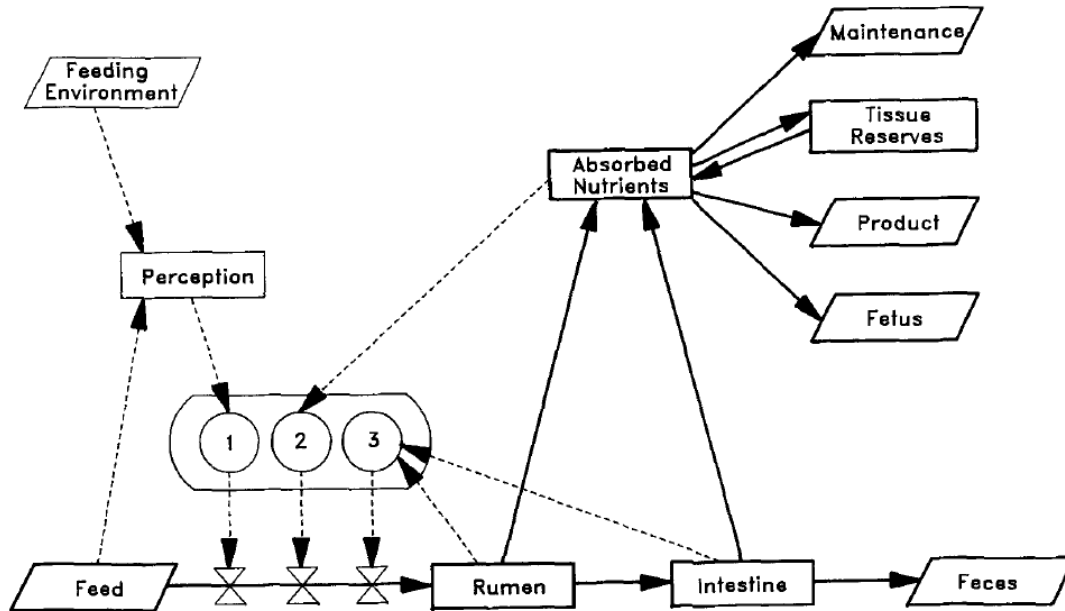


FIGURA B. Diagrama conceitual baseado na regulação de consumo pelas teorias psicogênicas (1), fisiológicas (2) e físicas (3). As linhas sólidas referem-se ao fluxo de nutrientes, enquanto as linhas tracejadas referem-se ao fluxo de estímulos e informações (MERTENS, 1987).

Mertens (1987) sugeriu modelos matemáticos simples que descrevem a regulação do consumo. Na sua forma mais simples, assumindo estado de equilíbrio o método fisiológico de regulação de consumo é aplicado da seguinte forma: quando rações com alta energia e baixo teor de fibra são utilizadas, os animais ruminantes irão regular o consumo de energia por atender a sua necessidade energética. Este mecanismo pode ser descrito por uma equação em que (I) é o consumo diário multiplicado pelo conteúdo de energia da dieta (E) igual à exigência de energia do animal (R):

$$I \times E = R$$

(Equação A)

Esta equação pode ser rearranjada para determinar o consumo esperado (I_e) quando o conteúdo de energia da dieta e o requerimento de energia do animal são conhecidos:

$$I_e = R/E \quad \text{(Equação B)}$$

Similarmente em estado de equilíbrio o método físico de regulação de consumo é aplicado da seguinte forma (MERTENS, 1987): quando rações com alto teor de fibra e baixa energia são utilizadas, o consumo dos ruminantes é limitado pelo efeito de enchimento da dieta de tal forma que isso é igual a sua capacidade para processar a fibra através do trato digestivo. Este mecanismo também pode ser descrito por uma equação simples onde o consumo diário do animal (I) multiplicado pelo efeito de enchimento da dieta (F) é igual a uma constante capacidade de enchimento diária (C), que pode ser representada como:

$$I \times F = C \quad \text{(Equação C)}$$

Com o rearranjo desta equação para determinar o consumo esperado, obtemos:

$$I_e = C/F \quad \text{(Equação D)}$$

Ambas as equações B e D podem ser utilizadas para prever consumo que não é influenciado pelo comportamento ou respostas metabólicas a estímulos que não são relacionados com demanda energética ou capacidade de enchimento (MERTENS, 1987).

Devido à densidade de energia (E) e o enchimento (F) estarem inversamente relacionadas uma com a outra, estes dois mecanismos de regulação do consumo podem ser representados esquematicamente através de um sistema de duas curvas que se cruzam (FIGURA C), sendo que estas curvas indicam o controle do consumo baseado na demanda de energia ou no mecanismo de controle pelo enchimento. O ponto onde as duas linhas se encontram representa o máximo consumo, bem como o teor de FDN da ração que deveria ser formulada para atender o nível de produção esperado.

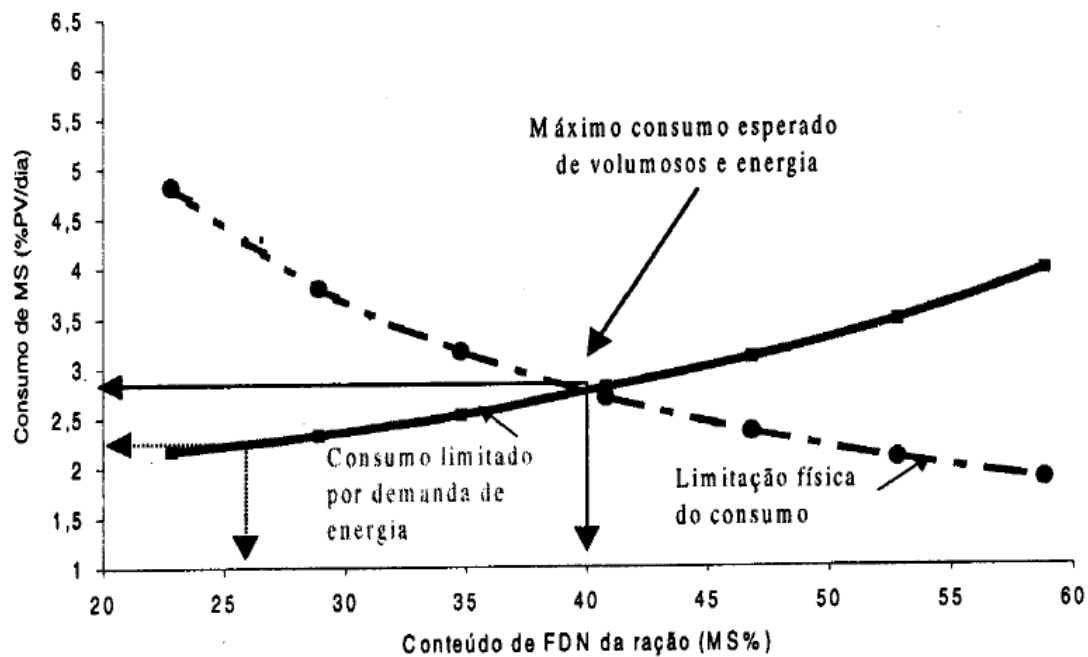


Figura C. Regulação de consumo baseado em equação algébrica simples, mostrando o consumo esperado quando limitado por demanda energética ou enchimento físico (adaptado de MERTENS, 1994).

2.4 - Formulação de rações

A formulação de rações para ruminantes, além de prover os nutrientes demandados para suportar um determinado nível de produção, é muito importante para o normal funcionamento do metabolismo animal e a manutenção de um ambiente ruminal adequado para o crescimento de microrganismos, por esta razão é necessário que um mínimo de fibra seja inserido na dieta destes animais visando manter sua saúde e produtividade.

Uma das principais características dos carboidratos, principalmente aquelas relacionadas aos carboidratos das forragens, é a efetividade em promover a atividade física motora do trato gastrointestinal. Os ruminantes retêm fibra no rúmen por um tempo adequado de digestão para cada classe animal, pois ingerem partículas grandes enquanto comem, e estas partículas grandes estimulam a atividade de ruminação (LEEK, 1993), que por sua vez possibilita a ação dos microrganismos simbióticos, que utilizam os nutrientes contidos na fibra como substrato para o seu ciclo de vida e, conseqüentemente, mantêm a saúde ruminal.

Segundo Mertens (2000), com o advento de programas de formulação de rações ou dietas de custo mínimo, estimulou-se o interesse no desenvolvimento de um método quantitativo para assegurar que um mínimo de fibra de forragem seja estabelecido. Foi observado que quando concentrados são fontes de menor custo relativo de nutrientes que as forragens, a operação dos programas tende a resultar em rações que contêm níveis baixos ou praticamente nenhuma forragem, o que seria prejudicial à saúde e a produtividade de ruminantes no longo prazo. Nessas circunstâncias não há estímulo para o funcionamento normal do rúmen, ou, por exemplo, para manutenção da porcentagem de gordura do leite.

Balch (1971), citados por Mertens (2001), propôs que a atividade de mastigação por unidade de matéria seca consumida poderia ser uma medida biológica das propriedades físicas de um alimento, o que ele chamou de característica de fibrosidade. Sudweeks et al. (1981) padronizaram o procedimento medindo a atividade de mastigação e definindo um índice de valor de forragem (IVF) para uma variedade de alimentos (minutos de mastigação total por quilograma de MS consumida). Além disso, ele propôs que um mínimo de IVF de 30 minutos de mastigação/kg de MS consumida era necessário em rações de vacas leiteiras para manter a porcentagem de gordura do leite.

Considerando estas características, Sauvant, et al. (1990) definiram o índice de fibrosidade de um alimento como os minutos gastos na atividade de mastigação por kg de MS e avaliaram o seu potencial como uma ferramenta na formulação de rações de vacas leiteiras. Mertens (2000) observou que o índice de fibrosidade era altamente correlacionado com a concentração de fibra bruta nos alimentos e com o nível de ingestão de matéria seca. Deve-se considerar que a atividade mastigatória (soma do tempo de mastigação e de ruminação) é afetada pela raça, tamanho corporal, idade, ingestão de matéria seca, concentração de fibra e tamanho de partícula do alimento e possivelmente pelo método de medir a atividade mastigatória (monitoramento automatizado ou visual, tempo não monitorado durante a ordenha, etc.).

Vieira et al. (2008) propôs a utilização de modelos alométricos para prever os consumos e os conteúdos ruminais de fibra e matéria seca em ruminantes domésticos. Os valores fornecidos por meio dos modelos alométricos são referentes à características inerentes ao animal, como capacidade de consumo e capacidade

de retenção da digesta no rúmen-retículo, e estes podem ser utilizados como restrição em programas de formulação de dietas para ruminantes.

Teoricamente os programas de formulação de dietas operam com o objetivo de minimizar custos:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j$$

em que x_j é o vetor dos diferentes alimentos e c_j é o vetor de seus respectivos custos. O vetor x_j por sua vez está sujeito às quantidades dos alimentos que na função é definida por b :

$$\sum_{j=1}^n x_j = b$$

e suas restrições, as quais podem ser inseridas nos programas:

$$bl_i \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq bu_i, \forall i = 1, 2, \dots, m;$$

$$0 \leq x_j \leq q_j, \forall x_j, j = 1, 2, \dots, n.$$

Por meio da utilização de características inerentes aos alimentos e levando em consideração o consumo alimentar do animal, pode-se prever os consumos e conteúdos ruminais de fibra e matéria seca que estes alimentos podem prover aos animais (VIEIRA et al. 2008). Ao confrontarmos os valores dos alimentos com os valores provenientes dos animais através das equações alométricas podemos criar restrições nutricionais, que por sua vez podem ser inseridas em programas de formulação de dietas com a finalidade de otimizar o consumo alimentar e evitar distúrbios metabólicos que possam causar danos aos animais.

2.5 - Alometria

Diversas características dos animais variam com seu tamanho e massa corporal. As relações entre muitas destas características e a massa corporal variam

de modo quantitativo e não linear. Muitas características estruturais, anatômicas e fisiológicas dos organismos mudam com o tamanho de tal forma que eles permanecem similares. Essa similaridade pode ser descrita por uma dimensão fractal ou uma lei de potência. O uso de leis de potência na biologia é muito bem estabelecido de forma que elas são, habitualmente, chamadas de equações alométricas.

A definição de alometria provém do grego: alo = diferente; metria = medida. O termo alometria foi cunhado por J. S. Huxley & G. Teissier em 1936, no artigo intitulado “*Terminology of relative growth*”, publicado na renomada revista científica *Nature*, bem como, a simbologia da equação. Resumidamente, alometria é o estudo sobre o tamanho relativo das várias partes ou conteúdos volumétricos de um organismo em relação ao todo, onde o crescimento de uma das partes (Y) ocorre a uma taxa exponencial β relativamente à outra parte (X), como podemos observar a seguir:

$$Y = \alpha \cdot X^\beta$$

Onde Y é a variável dependente, α é constante, X a variável independente e β é o expoente de escala. No modelo alométrico, quando o expoente $\beta = 1$, dizemos que a relação é isométrica, e quando $\beta \neq 1$ temos uma relação alométrica.

Para descrevermos como uma variável biológica varia com o tamanho dos organismos, é necessário definirmos uma variável independente comum a todos. Porém, devido à grande diversidade de formas dos organismos, é difícil caracterizá-los por um comprimento característico linear. Assim, na alometria é comum usar a massa como a variável independente pelas seguintes razões: é uma grandeza que pode ser facilmente medida na maioria dos organismos; sua medida é feita com bastante precisão; seu intervalo de variação é muito grande, compreende mais de 21 ordens de grandeza (WEST & BROWN, 2005).

2.5.1 Deduções do modelo alométrico

Uma variável qualquer, que podemos chamar de y, pode ser derivada em relação ao tempo, ou seja, dy/dt , da mesma maneira que outra variável, x, também pode ser derivada em relação ao tempo, ou seja, dx/dt . Essas duas variáveis podem

acontecer ao mesmo tempo num dado sistema, seja num objeto que se transforma ao longo do tempo, num fenômeno natural, num sistema artificial, etc. A dedução da lei de potência usada por Huxley & Teissier (1936) para fundamentar a teoria das alometrias supõe que duas variáveis, x e y , guardem uma relação aproximada,

$$\frac{dy}{dt} \approx \frac{dx}{dt}$$

e se acrescentarmos

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} \approx \frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$$

essa aproximação se torna uma igualdade ao inserir uma constante que transforma uma variável na outra, ou seja,

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = b \frac{1}{x} \frac{dx}{dt}$$

chegando a

$$\frac{dy}{dx} = b \frac{x}{y}$$

$$\frac{dy}{y} = b \frac{dx}{x}$$

e depois de integrada, temos

$$y = a \cdot x^b$$

Uma lei de potência surge quando duas variáveis guardam uma relação entre si que é garantida por um fator de transformação β . Se essa relação existe, a variável tempo é eliminada, pois ambas as variáveis estão ocorrendo ao mesmo tempo durante a realização de ambos os fenômenos. Portanto, uma alometria só

ocorre quando duas variáveis se inter-relacionam através de um expoente que promove o intercâmbio entre ambas, e essa inter-relação é garantida por uma lei de potência.

Outra dedução da equação alométrica foi proposta por Vieira et al. (2007), segundo estes autores podemos supor que a nossa variável independente é a massa corporal (W), e uma determinada parte do corpo F , por exemplo, a máxima capacidade de retenção de FDN do RR é a nossa variável dependente, e ambos são funções do tempo:

$$\dot{W} = k_1 \cdot W$$

$$\dot{F} = k_2 \cdot F$$

Após integrar em relação ao tempo, as funções de trajetória de W e F podem ser descritas pelas seguintes equações:

$$\ln(W/W_0) = k_1 \cdot t$$

$$\ln(F/F_0) = k_2 \cdot t$$

Se dividirmos a última equação pela penúltima, o seguinte resultado pode ser encontrado:

$$\frac{\ln(F/F_0)}{\ln(W/W_0)} = \frac{k_2 \cdot t}{k_1 \cdot t} \rightarrow F = F_0 \cdot \left(\frac{W}{W_0}\right)^{\frac{k_2}{k_1}}$$

Se considerarmos o parâmetro $b = k_2/k_1$, e o parâmetro $a = F_0/(W_0)^b$, finalmente chegamos à equação seguinte, que é a equação alométrica comum:

$$F = a \cdot W^b$$

Diante dos infundáveis fenômenos que ocorrem nos sistemas naturais e artificiais, é tentador afirmar que pode existir um número infundável de alometrias.

Basta apenas relacionar duas variáveis: se elas puderem ser descritas através de uma lei de potência, pronto (e satisfazendo alguns critérios estatísticos), mais uma relação de escala foi descoberta, e se for função da massa corporal de organismos vivos, ela irá pertencer ao grupo das relações alométricas biológicas.

Levando em consideração as deduções das equações demonstradas anteriormente, principalmente a dedução de Vieira et al. (2007) podemos observar que os parâmetros α e β usados na equação alométrica são complexos e compostos. Apesar disto a maioria dos estudos que utilizam o modelo alométrico insiste na linearização da equação, este fato é justificado geralmente com o intuito de simplificar o entendimento do modelo. Porém o fato de linearizar as equações faz com que estas percam informações, e conseqüentemente, percam substancialmente o seu poder preditivo.

2.6 - Escalonamento da digesta e do consumo alimentar

O método de extrapolação alométrica permite comparar matematicamente animais de massas diferentes. Os dados utilizados em estudos de escalonamento devem ser adotados segundo alguns critérios descritos por Cannas et al. (2003): as dietas devem conter um mínimo de 20% de fibra insolúvel (FDN) oriunda de forragem (base da MS); animais em lactação devem estar produzindo leite no mínimo 20 dias, e animais em gestação não devem estar no terceiro trimestre de gravidez, para evitar a influência dos efeitos do final da gestação e parto no volume do rúmen; o consumo deve ter sido medido diretamente de preferência, para limitar variações metodológicas. Porém, o consumo poderá ser o estimado indiretamente se o experimento tiver sido conduzido em pastagem; o conteúdo do rúmen deve ter sido medido por completa evacuação do rúmen de animais fistulados ou após o abate; a alimentação e o conteúdo ruminal devem ter sido analisados quanto aos teores de matéria seca, proteína bruta, fibra, compostos solúveis em solução detergente neutra, lignina e fibra indigerível.

O estudo de escalonamento, por meio de alometria, nos permite construir modelos matemáticos para prever o conteúdo máximo da digesta que pode ser acomodada no compartimento ruminoreticular, bem como, prever o consumo alimentar. O pressuposto básico é que podemos prever o máximo consumo animal, se ambos o tempo médio de retenção ruminal e conteúdo ruminoreticular

forem conhecidos, e considerando condições de equilíbrio, de acordo com a função $F = Q/T$.

De acordo com Vieira et al. (2007) a estratégia de escalonamento das variáveis do consumo alimentar e conteúdo do RR em relação à massa corporal deve ser adotada para reduzir os efeitos de tamanho sobre os seus comportamentos permitindo desta maneira que comparações possam ser feitas independentes da massa ou tamanho animal.

As influências exercidas pela taxa de consumo de fibra e massa corporal permitem estimativas razoáveis de parâmetros de taxa de passagem e conteúdo ruminal, e apesar da necessidade de uma avaliação empírica das predições, estimativas derivadas de estudos de escalonamento são de extrema importância em programas de formulação de dietas na nutrição animal.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados foi criada a partir das informações obtidas por meio de diversos experimentos, nos quais o conteúdo ruminal foi medido por abate ou por esvaziamento manual completo do rúmen. Os experimentos e os tratamentos foram selecionados através de critérios adotados por Cannas et al. (2003):

- As dietas devem conter um mínimo de 20% de fibra insolúvel (FDN) oriunda de forragem (base da MS) para evitar disfunções ruminais;
- Animais em lactação devem estar no mínimo 20 dias pós-parto, e animais em gestação não devem estar no terço final de gestação, para evitar a influência dos efeitos do final da gestação e parto no volume do rúmen;
- O consumo deve ter sido medido diretamente de preferência, para limitar variações metodológicas. Porém, o consumo poderá ser o estimado indiretamente se o experimento tiver sido conduzido em pastagem.;
- O conteúdo do rúmen deve ter sido medido por completa evacuação do rúmen de animais fistulados ou após o abate;
- A alimentação e o conteúdo ruminal devem ter sido analisados quanto aos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra (FDN), compostos solúveis em solução detergente neutra (CSDN), lignina (LIG) e fibra indigerível (FDNi).

Os dados utilizados para compor o banco de dados deste estudo foram os mesmos recolhidos por Cannas et al. (2003), estes podem ser encontrados também em Vieira et al. (2008) e possuem dados de 27 ovinos e 43 bovinos, também foram

usados dados fornecidos por M. T. Rodrigues, por comunicação pessoal, oriundos de experimentos realizados no setor de caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e constam de 53 cabritos e 48 cabras adultas, além de dados de bovinos com massa corporal entre 100 e 400 kg que foram gerados nesta pesquisa afim de suprir uma carência existente no banco de dados tornando mais verossímil as predições que serão realizadas.

O experimento foi realizado na Unidade de Apoio à Pesquisa em Zootecnia (UAPZ), e foram utilizados 32 animais machos, mestiços, oriundos de cruzamentos das raças Gir Leiteiro e Holandês, estes foram mantidos em regime de confinamento, recebendo dieta a base de silagem de milho acrescida de farelo de soja para corrigir a proteína da ração.

As dietas foram formuladas com a utilização das equações propostas pelo *Agricultural and Food Research Council* (AFRC, 1993), para proporcionar um ganho de 0,600 kg/dia. As formulações foram feitas para intervalos de 25 kg de massa corporal (MC), e as relações entre silagem de milho X farelo de soja foram as seguintes para cada massa corporal: 200 kg (MC) = 25,3 X 1; 225 kg (MC) = 30,6 X 1; 250 kg (MC) = 35,9 X 1; 275 kg (MC) = 41,8 X 1; 300 kg (MC) = 48,6 X 1; 325 kg (MC) = 60,1 X 1; 350 kg (MC) = 75,2 X 1; 375 kg (MC) = 95,9 X 1; 400 kg (MC) = 118,2 X 1. As dietas foram corrigidas de acordo com o consumo dos animais para proporcionar uma quantidade de sobra diária de 5% da matéria natural.

Os animais foram periodicamente abatidos quatro por vez com intervalos de massa corporal de 50 kg, sendo os quatro primeiros com 100 kg e os quatro últimos com 450 kg de massa corporal.

Os dados coletados para compor este estudo contêm médias para caprinos, ovinos e bovinos, da massa corporal (W , kg), taxa de consumo de matéria seca (F , g/d), taxa de consumo de FDN (F_{NDF} , g/d), taxa de consumo de lignina (F_L , g/d), conteúdo ruminal fresco (FRC, g) e quantidade de matéria seca (Q , g), de FDN (Q_{NDF} , g) ou quantidade de lignina (Q_L , g) do conteúdo da digesta do RR, conforme demonstrado na tabela 1.

O critério mais importante estabelecido por esses autores foi que as forragens devem ter constituído, no mínimo, 20% da matéria seca consumida.

Tabela 1. Médias (\bar{x}) e desvio padrão (dp) do grupo de dados usado. O número da amostra encontra-se dentro dos parênteses (n)

| Variáveis | Categoria Animal | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Ovinos | Bovinos | Cabritos | Cabras |
| | $\bar{x} \pm dp$ (n) | $\bar{x} \pm dp$ (n) | $\bar{x} \pm dp$ (n) | $\bar{x} \pm dp$ (n) |
| W (kg) | 55 ± 14 (27) | 457 ± 190 (75) | 25 ± 4 (53) | 52 ± 9 (48) |
| FRC (g) | 8166 ± 3460 (27) | 54856 ± 27506 (72) | 5549 ± 1387 (53) | 9360 ± 2657 (48) |
| Q (g) | 879 ± 314 (27) | 7166 ± 3578 (75) | 582 ± 225 (53) | 997 ± 340 (48) |
| Q _{NDF} (g) | 553 ± 259 (27) | 4279 ± 2165 (75) | 299 ± 123 (53) | 614 ± 218 (48) |
| Q _L (g) | 65 ± 40 (13) | 441 ± 236 (66) | 35 ± 14 (53) | 106 ± 50 (48) |
| F (g/d) | 1134 ± 341 (27) | 9988 ± 6360 (75) | 552 ± 212 (53) | 1330 ± 396 (48) |
| F _{NDF} (g/d) | 597 ± 203 (27) | 4028 ± 2051 (75) | 299 ± 114 (53) | 639 ± 172 (48) |
| F _L (g/d) | 93 ± 62 (10) | 501 ± 460 (53) | 21 ± 10 (53) | 40 ± 11 (48) |

3.1 - Escalonamento de variáveis

De acordo com Vieira et al. (2007) a estratégia de escalonamento das variáveis em relação à W tem sido adotada para reduzir os efeitos de tamanho sobre os seus comportamentos permitindo desta maneira que comparações possam ser feitas independentes da massa ou tamanho animal, a função de potência de escalonamento geral será aplicada como:

$$Y = \alpha W^\beta \quad (\text{Equação 1})$$

Na equação 1, W é a massa corporal do animal, Y é a massa da variável que queremos encontrar, α é a constante da integração e define a intercepção com o eixo y, e β é uma medida da proporção das taxas de crescimento relativo ou coeficiente de alometria. As variáveis analisadas serão F, F_{NDF}, F_L, FRC, Q, Q_{NDF} e Q_L.

Se $\beta = 1$ estamos diante de uma isometria, se $\beta < 1$ estamos diante de uma alometria negativa, se $\beta > 1$ temos uma alometria positiva.

Quatro modelos foram testados neste estudo, são eles: modelo completo (estima-se α e β), modelo reduzido com $\beta = 1$, modelo reduzido com $\beta = 3/4$ e o melhor modelo selecionado para cada variável na dissertação de mestrado de Tamy (2011), o qual foi usado o mesmo grupo de dados deste trabalho excluindo os dados dos 32 bovinos mestiços (Holandês X Zebu) gerados nesta pesquisa. Os parâmetros α e β estimados por Tamy (2011) para cada variável estudada estão descritos na tabela 2.

3.2 - Métodos estatísticos e critérios de avaliação de modelos

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA) versão 9.0. As estimativas dos parâmetros da equação 1 foram obtidas por meio do método de quadrados mínimos não-lineares (PROC NLIN) ajustados por meio de procedimento iterativo ponderado com base nos critérios de regressão robusta sugeridos por Beaton e Tukey (1974). Para reduzir o efeito dos diferentes estudos, dos pontos discrepantes e eliminar a subjetividade durante as análises, os chamados “*outliers*”, os valores observados foram ajustados de acordo com procedimentos de regressão linear robusta para peso adequada, para efeitos de heterogeneidade de variâncias.

A qualificação do poder preditivo de modelos biomatemáticos apenas pode ser realizada eficientemente combinando-se várias técnicas estatísticas e uma detalhada averiguação sobre o atendimento das predições do modelo ao propósito para que foi construído. Segundo Tedeschi (2006), desta forma, pode-se determinar a concordância entre valores observados e preditos, a precisão, a acurácia e a eficiência do modelo.

A seleção do modelo mais apropriado para cada parâmetro testado foi avaliada pelo cômputo do critério de informação Akaike (AIC_{C_h}) (AKAIKE, 1974; BURNHAM & ANDERSON, 2004). O AIC_{C_h} foi calculado pela soma dos quadrados do erro (SSE_h), número de parâmetros estimados incluindo a variância residual (θ_h), e o tamanho da amostra (n_h) para todas as diferentes versões de N , $\forall h = 1, 2, \dots, 6$. As diferenças entre os valores do AIC_{C_h} (Δ_h), a probabilidade de verossimilhança (w_h), e a razão de evidência (ER_h), foram também computadas usando as equações descritas por Vieira et al. (2012). Assim, tornou-se possível estabelecer a verossimilhança das predições obtidas.

4 - RESULTADOS

A variável FRC escalonou isometricamente, o que diferiu dos resultados obtidos sem o acréscimo dos dados de bovinos mestiços, o qual apresentava $\beta = 3/4$ (Tabela 2).

As variáveis F_{NDF} e Q_{NDF} escalonaram para $\beta = 1$ apresentando os melhores ajustes para os modelos estimados com a utilização dos dados dos 32 bovinos mestiços gerados neste experimento, apesar do expoente ter sido confirmado, as mudanças nos valores da constante de escalonamento α melhoraram substancialmente as previsões destes modelos (Tabela 2).

O melhor ajuste para a variável Q continuou sendo o modelo sem os novos dados de bovinos. Porém, o novo ajuste, que levou em consideração os 32 dados de bovinos também escalonou isometricamente e se assemelhou muito ao modelo anterior quando foram comparados no critério de Akaike, com a razão de evidência de 1,18. Com base neste critério de seleção de modelos, e a diminuição da variabilidade dos parâmetros estimados, optamos pelo ajuste que considerou os novos dados, por julgarmos que estes são importantes para melhorar a verossimilhança do modelo (Tabela 2).

As variáveis F e Q_L apresentaram os melhores ajustes sem a utilização dos novos dados de bovinos. O consumo de matéria seca escalonou para $\beta = 1$, já o conteúdo de lignina no rúmen escalonou para $\beta = 3/4$. Na figura 1 podem-se observar os ajustes dos modelos em relação ao banco de dados utilizado neste estudo.

Tabela 2. Probabilidade de verossimilhança (w_h) para cada hipótese testada, com α e β estimados e seus respectivos intervalos de confiança 95% (IC 95%), e o sigma final estimado ($\hat{\sigma}$) para cada modelo utilizado para satisfazer os critérios da regressão robusta

| Variáveis | Hipóteses | w_h | Parâmetros Estimados | | |
|-----------------|---------------|--------|----------------------|------------------|----------------|
| | | | α (IC 95%) | β (IC 95%) | $\hat{\sigma}$ |
| FRC (g) | Completo | <0,001 | 330 (235:425) | 0,82 (0,77:0,87) | 8200 |
| | $\beta = 1$ | 0,672 | 124 (120;128) | — | 9500 |
| | $\beta = 3/4$ | 0,308 | 572 (551:593) | — | 30000 |
| | Tamy (2011) | 0,019 | 601 (582:620) | 3/4 | 6448 |
| F (g/d) | Completo | <0,001 | 19,9 (10,3:29,6) | 0,99 (0,92:1,07) | 1950 |
| | $\beta = 1$ | 0,015 | 20,6 (19,7:21,5) | — | 2500 |
| | $\beta = 3/4$ | <0,001 | 93,2 (88,7:97,7) | — | 2700 |
| | Tamy (2011) | 0,985 | 21,9 (21,0:22,7) | 1 | 1264 |
| F_{NDF} (g/d) | Completo | 0,003 | 22,9 (18,0:27,9) | 0,83 (0,80:0,87) | 500 |
| | $\beta = 1$ | 0,681 | 8,6 (8,4:8,9) | — | 820 |
| | $\beta = 3/4$ | <0,001 | 39,6 (38,2:40,9) | — | 840 |
| | Tamy (2011) | 0,315 | 8,5 (8,2:8,9) | 1 | 557 |
| Q (g) | Completo | 0,027 | 37,6 (23,5:51,8) | 0,85 (0,78:0,91) | 1500 |
| | $\beta = 1$ | 0,446 | 14,9 (14,4:15,5) | — | 1450 |
| | $\beta = 3/4$ | <0,001 | 66,4 (64,0:68,9) | — | 1500 |
| | Tamy (2011) | 0,527 | 15,9 (15,3:16,5) | 1 | 943 |
| Q_{NDF} (g) | Completo | 0,003 | 29,9 (19,6:40,2) | 0,79 (0,73:0,85) | 880 |
| | $\beta = 1$ | 0,985 | 8,8 (8,5:9,2) | — | 1000 |
| | $\beta = 3/4$ | 0,012 | 39,2 (37,6:40,7) | — | 1000 |
| | Tamy (2011) | <0,001 | 8,0 (7,7:8,3) | 1 | 510 |
| Q_L (g) | Completo | 0,073 | 3,6 (2,1:5,0) | 0,79 (0,72:0,85) | 110 |
| | $\beta = 1$ | 0,006 | 0,97 (0,93:1,01) | — | 100 |
| | $\beta = 3/4$ | 0,025 | 4,4 (4,2:4,6) | — | 98 |
| | Tamy (2011) | 0,896 | 4,7 (4,5:4,9) | 3/4 | 67 |

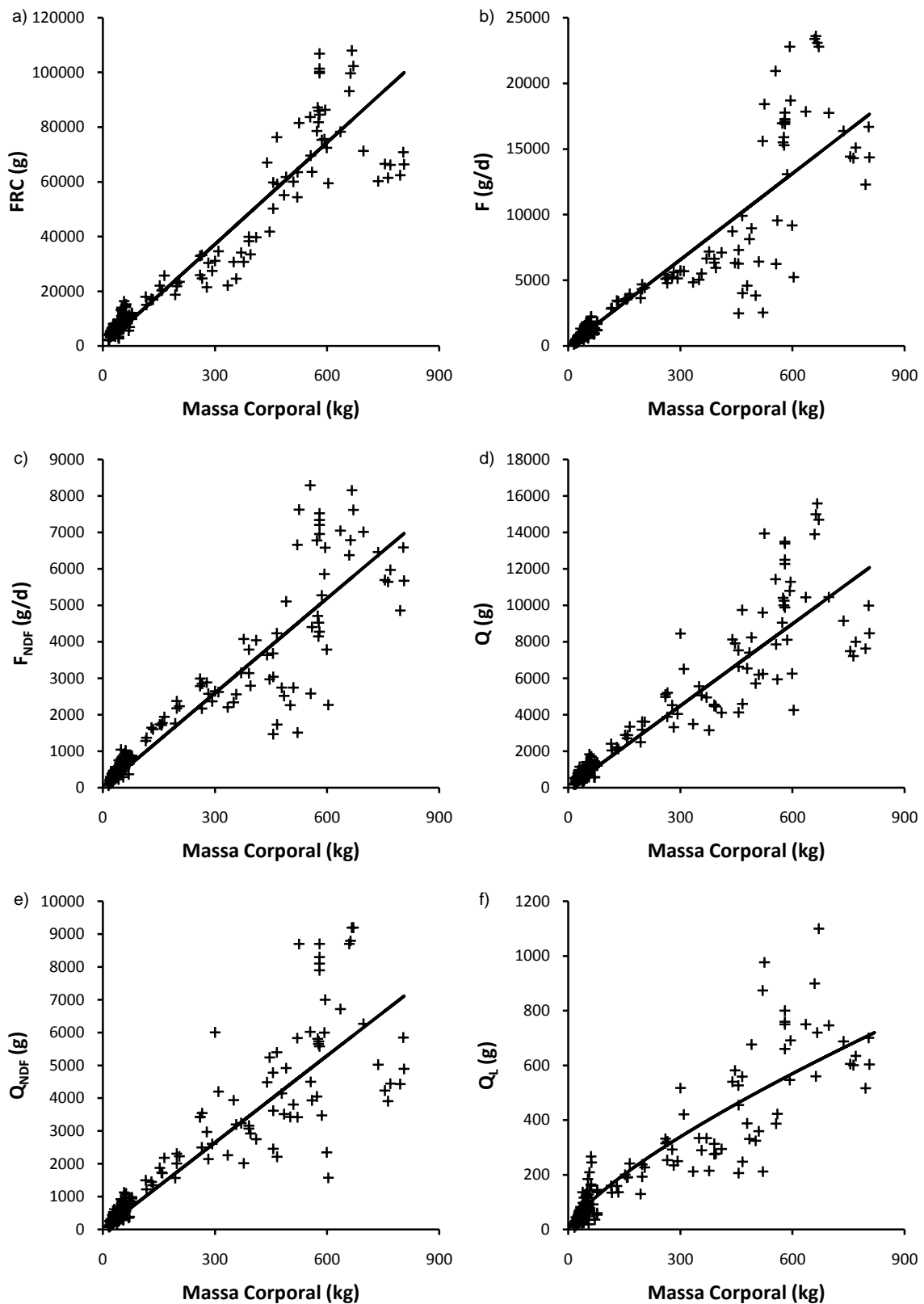


Figura 1. Representação gráfica dos ajustes do modelo alométrico para cada variável em relação à massa corporal

Os resultados obtidos para o consumo de lignina foram bastante atípicos. Os valores de F_L referentes às vacas leiteiras destoam dos demais animais, este fato ocasionou um ajuste inverossímil quando calculou-se o modelo completo, ou seja, com α e β estimados. O modelo completo para o consumo de lignina foi: $F_L = 0,0003 \times W^{2,4}$. Devido a este problema separamos os dados de vacas leiteiras dos demais animais e estimamos equações de escalonamento para cada grupo de dados separadamente. Posteriormente estas equações foram comparadas com a equação do modelo completo utilizando o critério Akaike, a fim de selecionar o melhor para explicar o comportamento dos dados (Tabela 3). Os modelos estimados utilizando o grupo de dados divididos em vacas leiteiras e demais animais foram muito superiores ao modelo estimado com o grupo de dados completo (Tabela 3).

Tabela 3. Valor de AIC_{Ch} (Δ_h), probabilidade de verossimilhança (w_h) e a razão de evidência (ER_h) para o consumo de lignina (F_L) com a utilização dos dados completos ou separados (sem dados das vacas / somente os dados das vacas)

| Variável | Hipóteses | Critério Akaike | | |
|-------------|-----------|-----------------|--------|--------|
| | | Δ_h | w_h | ER_h |
| F_L (g/d) | Completo | 386 | <0,001 | 9,9e83 |
| | Sem Vacas | 0 | 1 | 1 |
| F_L (g/d) | Completo | 12 | 0,002 | 399 |
| | Vacas | 0 | 0,997 | 1 |

As mesmas comparações feitas nas demais variáveis deste estudo foram aplicadas aos modelos estimados para o consumo de lignina nas categorias ou grupos de dados das vacas e dos demais animais. Para o grupo de dados sem os valores das vacas leiteiras o modelo reduzido com $\beta = 3/4$ apresentou melhor ajuste. Em contrapartida, o modelo que melhor se ajustou para o grupo de dados somente com valores de vacas leiteiras foi o modelo reduzido com $\beta = 1$ (Tabela 4). A representação gráfica destes modelos encontra-se na figura 2.

Tabela 4. Probabilidade de verossimilhança (w_h) para cada hipótese testada, com α e β estimados e seus respectivos intervalos de confiança 95% (IC 95%), e o sigma final estimado ($\hat{\sigma}$) para os modelos referentes ao consumo de lignina (F_L) utilizado para satisfazer os critérios da regressão robusta

| Variáveis | Hipóteses | w_h | Parâmetros Estimados | | |
|-------------|---------------|--------|----------------------|------------------|----------------|
| | | | α (IC 95%) | β (IC 95%) | $\hat{\sigma}$ |
| F_L (g/d) | | | | | |
| (Sem Vacas) | Completo | 0,149 | 2,1 (1,6:2,6) | 0,77 (0,73:0,81) | 23 |
| | $\beta = 1$ | <0,001 | 0,59 (0,57:0,61) | — | 23 |
| | $\beta = 3/4$ | 0,851 | 2,3 (2,2:2,4) | — | 23 |
| | Tamy (2011) | <0,001 | 0,5 (0,2:0,7) | 1,20 (1,12:1,28) | 49 |
| F_L (g/d) | | | | | |
| (Vacas) | Completo | 0,136 | 1,3 (-4,6:7,3) | 1,05 (0,35:1,76) | 230 |
| | $\beta = 1$ | 0,515 | 1,9 (1,7:2,1) | — | 230 |
| | $\beta = 3/4$ | 0,309 | 9,1 (8,2:10,0) | — | 230 |
| | Tamy (2011) | 0,040 | 0,5 (0,2:0,7) | 1,20 (1,12:1,28) | 49 |

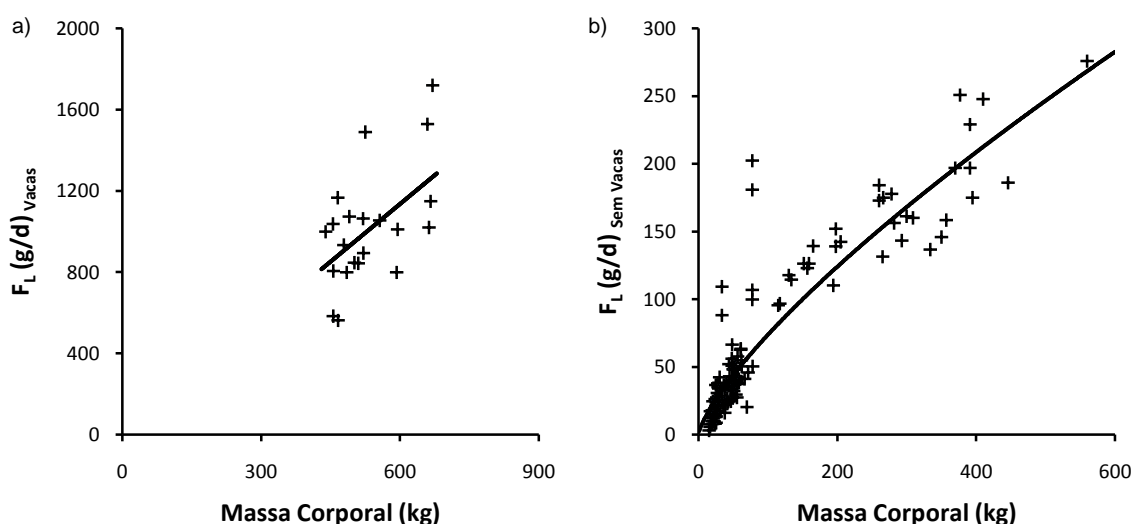


Figura 2. Representação gráfica dos ajustes do modelo alométrico para o consumo de lignina (F_L) em relação à massa corporal para as vacas leiteiras (a) e sem as vacas leiteiras (b)

5 – DISCUSSÃO

Muitos fatores podem influenciar as estimativas do expoente de escalonamento β , entre eles estão o tamanho da amostra, métodos de estimativa (não-linear vs. regressão linear) e erros de medidas, como por exemplo, durante os procedimentos de pesagem ou diferentes métodos de análises laboratoriais (HUI & JACKSON, 2007). Estes autores afirmaram que a estimativa não-linear produz ajustes de qualidade superior no modelo e alegaram que dados recolhidos a partir de estudos que utilizaram protocolos semelhantes são importantes para a síntese de metadados.

As estimativas do expoente β , após o ajuste do modelo completo para FRC, não incluiu os valores 1 ou 3/4 em seu intervalo de confiança, e este foi inferior aos demais modelos quando comparado pelo critério de Akaike. O acréscimo dos novos dados de bovinos no banco de dados foi de grande importância para esta variável em particular, pois isto fez com que o novo modelo reduzido com estimativa de um novo α , dado $\beta = 1$, apresentasse o melhor ajuste entre os demais modelos testados. Estes resultados concordam com os obtidos por Vieira et al. (2008b). Segundo Parra (1978), em mamíferos herbívoros o conteúdo intestinal fresco escala isometricamente com a massa corporal. O FRC faz parte da massa total do conteúdo intestinal fresco, e como uma medida indireta do volume espera-se que esta variável escale para W^1 (VAN SOEST, 1996).

As variáveis que também representam conteúdo de massa no RR, ou seja, Q e Q_{NDF} escalonaram para W^1 (Tabela 2). A inclusão dos novos dados de bovinos não

fizeram que o valor de β diferisse das estimativas obtidas por Vieira et al. (2008b) e Tamy (2011), e, adicionalmente, reduziram a variabilidade dos desvios padrão nas estimativas finais. O modelo completo e o reduzido com $\beta = 3/4$ obtiveram pouco ou nenhum suporte para as duas variáveis. No caso do conteúdo ruminal de matéria seca o melhor ajuste selecionado com a utilização do critério de Akaike (1974) foi o modelo de Tamy (2011), porém, com base na probabilidade de verossimilhança (Tabela 2) e na razão de evidência, com um valor de 1,18, para o modelo reduzido com $\beta = 1$ utilizando os novos dados de bovinos, optamos por escolher este novo α estimado, já que este leva em consideração o banco de dados completo.

O comportamento isométrico observado para Q e Q_{NDF} explica a variabilidade dentro da faixa de massa corporal estudada, e confirma as expectativas de que sempre que a variável é uma medida de massa com uma natureza tridimensional, a potência do escalonamento converge para 1 (VAN SOEST, 1996). Historicamente, em estudos de escalonamento, a capacidade intestinal (mensurada por meio de conteúdos intestinais) em herbívoros escala isometricamente para massa corporal (PARRA, 1978; DEMMENT & VAN SOEST, 1985; ILLIUS & GORDON, 1992).

O consumo de matéria seca escalonou para W^1 (Tabela 2). Apesar de sua maior variabilidade, a estimativa para α dado $\beta = 1$ fornecida por Tamy (2011) apresentou probabilidade de verossimilhança de 98,5%. A introdução dos novos dados de bovinos no presente estudo não alterou a tendência geral do modelo, sendo que, o modelo completo incluiu as estimativas do melhor modelo no intervalo de confiança dos seus parâmetros α e β . Entretanto, nem o modelo completo, e muito menos o modelo reduzido com $\beta = 3/4$ obtiveram suporte, apresentando probabilidade menor que 0,001. O modelo reduzido com $\beta = 1$ incluindo os dados novos, foi o que mais se aproximou do modelo anterior, porém, com uma probabilidade de verossimilhança de 1,5% e razão de evidência 64, optamos por manter o modelo de Tamy (2011) como o melhor ajuste para a variável F . O escalonamento desta variável para $\beta = 1$ concorda com o valor do expoente apresentado por Vieira et al. (2008b).

A maior probabilidade de verossimilhança foi observada para o modelo reduzido com $\beta = 1$ ajustado para a variável F_{NDF} (Tabela 2), incluindo os novos dados de bovinos. O modelo completo e o reduzido com $\beta = 3/4$ não obtiveram suporte segundo o critério de seleção de modelos aplicado. O modelo sugerido por Tamy (2011) para a taxa de consumo de fibra para os ruminantes domésticos

também escalonou para W^1 , e a sua estimativa de α não diferiu da nova melhor escolha a 95% de intervalo de confiança. Entretanto, a inclusão dos novos dados promoveu a diminuição da variabilidade das estimativas, além de contribuir para a obtenção da maior probabilidade de verossimilhança. O escalonamento do consumo alimentar para W^1 diverge do “Princípio de Jarman-Bell”. O princípio de Jarman-Bell se deve às observações independentes feitas por Jarman (1968; 1974) e Bell (1969; 1971), com base em observações feitas em ungulados africanos. O princípio geral é o de que os herbívoros maiores podem tolerar alimentos de menor qualidade em relação aos herbívoros menores, devido a uma maior eficiência na digestão pré-gástrica. Diversos estudos em que o consumo alimentar escalona com o peso metabólico (PARRA 1978; DEMMENT & VAN SOEST 1985; ILLIUS & GORDON 1992), fornecem suporte a este princípio, o qual sugere que herbívoros com maiores massas corporais possuem vantagens digestivas quando comparados a herbívoros de pequeno porte. Este comportamento tem explicação nas diferenças entre os expoentes de escala estimados por estes estudos, ou seja, se o conteúdo intestinal escalona para W^1 e o consumo alimentar escalona para $W^{0,75}$, então, com o aumento da massa corporal, maior capacidade intestinal por unidade de consumo alimentar estaria disponível. Os resultados encontrados no presente estudo relacionados aos conteúdos ruminoreticulares e consumos de matéria seca e FDN discordam do princípio de Jarman-Bell, pois os consumos escalonaram para a mesma potência dos conteúdos, ou seja, W^1 . Müller et al. (2013), encontrou resultados semelhantes aos do presente estudo para mamíferos herbívoros, tanto para consumo alimentar como para conteúdo intestinal.

Não devemos negligenciar o fato de que os ruminantes selvagens, particularmente os ungulados africanos, como o búfalo Africano (*Synceros caffer*), contam com adaptações evolutivas para sustentar suas necessidades nutricionais em um ambiente com constante flutuação de oferta de alimentos, sendo assim, eles devem maximizar a ingestão e o aproveitamento dos alimentos quando disponíveis (SINCLAIR 1975; citado por DEMMENT & VAN SOEST 1985). Em tais casos, esses animais necessitam consumir múltiplos de manutenção para restaurar suas reservas corporais. No entanto, nossa amostra é proveniente de espécies ruminantes domésticas, e, portanto, destina-se a fazer inferência a espécies de ruminantes domésticos criados em condições de cultivo.

O *pool* de lignina no RR ou Q_L obteve seu melhor ajuste com $W^{0,75}$, no modelo proposto por Tamy (2011), com base no critério de Akaike (1974). A inclusão dos novos dados não ocasionou mudanças na tendência geral do modelo. O modelo completo incluiu o $\beta = 3/4$ a 95% do intervalo de confiança, e além de ser mais complicado, pois possui um parâmetro a mais do que o proposto por Tamy (2011) apresentou razão de evidência de 12,3, o que não ofereceu suporte para esta hipótese. Os modelos reduzidos $\beta = 1$ e $\beta = 3/4$ incluindo os novos dados não obtiveram suporte pela probabilidade de verossimilhança (Tabela 2), e seus ER_h foram 150,7 e 35,7 respectivamente.

Os resultados obtidos para a taxa de consumo de lignina sugerem que para algumas variáveis um modelo universal que inclua todas as espécies domésticas, ou mais profundamente, todas as categorias animais dentro de uma mesma espécie, não deve ser o mais indicado para predizer comportamentos e tendências. Ao separarmos os dados referentes à categoria das vacas leiteiras dos demais (caprinos, ovinos e bovinos em crescimento), as estimativas dos modelos melhoraram substancialmente com base nos critérios de seleção de modelos usado neste estudo (Tabela 3).

As estimativas para F_L sem a inclusão das amostras de vacas leiteiras obtiveram o melhor ajuste no modelo reduzido com $\beta = 3/4$ (Tabela 4). Neste caso, o modelo completo foi o que mais se aproximou do melhor modelo, e incluiu o expoente $3/4$ para β a 95% do IC. Os demais modelos propostos na tabela 4 apresentaram um ajuste muito inferior aos citados acima, e suas probabilidades de verossimilhança foram menores que 0,001. Com relação às estimativas construídas considerando somente os dados de vacas leiteiras, a variabilidade foi muito alta devido a características da amostra, principalmente ao baixo n amostral ($n = 21$). O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o reduzido com $\beta = 1$ (Tabela 4). O modelo completo e o modelo reduzido com $\beta = 3/4$ apresentaram ótimos ajustes, porém, devido a sua simplicidade, a razão de evidência e a probabilidade de verossimilhança, o modelo reduzido com W^1 nos fornece o suporte mais que necessário para a sua escolha como ajuste mais apropriado. O modelo proposto por Tamy (2011) foi inferior dentre as demais hipóteses testadas, este fato se deve a interferência dos dados de caprinos e ovinos no ajuste do modelo.

Um fato muito importante dos resultados de F_L foi o fato de que $Q_L/F_{L(vacas)}$ escala algebricamente para $W^{-0,25}$ ($= W^{0,75 - 1,0}$), o que significa que vacas leiteiras

apresentam um menor tempo médio de retenção de lignina no RR, e, portanto, um *turnover* de lignina mais rápido no RR se comparados com animais menores. Vacas leiteiras de alta produção parecem apresentar adaptações evolutivas a fim de suprir suas altas demandas nutricionais. Altas taxas de consumo alimentar aceleram a passagem das partículas alimentares no RR, porém, a capacidade de consumir maiores quantidades de lignina por unidade de massa corporal necessita ser investigada em estudos futuros, a fim de esclarecer se este fato não foi influenciado por fontes mais ricas de lignina na dieta das vacas, ou se estas não conseguiram atingir o máximo consumo de lignina com a dieta oferecida. Um dos fatos que podem colaborar para este ótimo desempenho no metabolismo ruminal da lignina é a maior eficiência de mastigação principalmente em relação aos ruminantes menores, esta maior eficiência na mastigação tende a diminuir o tempo de retenção seletiva no interior do RR. A retenção seletiva é muito importante em ruminantes menores, pois ela promove cominuição das partículas grandes recém ingeridas em partículas menores, até que estas sejam elegíveis ao escape ruminal. Em bovinos, animais maiores possuem maior eficiência de mastigação, porque eles gastam menos tempo para mastigar e ruminar a mesma quantidade de fibra ingerida quando comparados com bovinos menores (BAE et al. 1983). O tempo total gasto na mastigação e ruminação por unidade de massa de fibra ingerida por cabras maiores é menor quando relacionado a cabras menores (HOOPER & WELCH, 1983). De fato, pequenos ruminantes domésticos possuem menor eficiência de ruminação comparada a ruminantes maiores, se esta é calculada como o tempo diário total gasto em ambas as mastigação e ruminação para um dado consumo de fibra (WELCH, 1982). Portanto, parece lógico que bovinos em crescimento, caprinos e ovinos necessitem de mais tempo para triturar tecidos forrageiros mais lignificados ingeridos e retidos seletivamente dentro do RR em relação a vacas leiteiras.

5.1 - Aplicação do modelo alométrico

O intuito principal deste estudo é a utilização de todas as equações alométricas estimadas para cada variável estudada como restrição nutricional em programas de formulação de dietas para os ruminantes domésticos. A idéia básica, principalmente para os conteúdos ruminais, é que o *pool* de partículas no RR é limitado pela máxima capacidade de retenção do órgão em dada condição

fisiológica. Uma vez que as características dietéticas, tais como, taxas de degradação e passagem podem ser previamente conhecidas, podemos confrontá-la com um modelo alométrico, pois a capacidade do animal em reter uma determinada carga de digesta no RR pode ser prevista como uma função da massa corporal. No caso do conteúdo de fibra no RR ou Q_{NDF} , expresso em gramas, temos:

$$Q_{NDF} = 8,8W \quad (\text{Equação 2})$$

As estimativas de taxa de passagem e degradação de partículas fibrosas, que podem ser obtidas tanto por valores tabelados quanto por medições em pesquisas, podem ser aplicadas no modelo de Vieira et al. (2008) para prever Q_{NDF} . A fim de maximizar o consumo de fibra para os ruminantes domésticos, a restrição ficaria da seguinte forma:

$$F_{NDF} \left\{ A \left[\sum_{h=1}^N \left[\lambda^{h-1} / (\lambda + k_d)^h \right] + \lambda^N / [(\lambda + k_d)^N (k + k_d)] \right] + U(N/\lambda + 1/k) \right\} \leq 8,8W \quad (\text{Equação 3})$$

Na equação 3, A é a fração digestível da fibra no RR, U é a fração indigestível da fibra, λ é a taxa de transferência de partículas do *raft* para a fase líquida no rúmen, k_d é a taxa de degradação ruminal, k é a taxa de escape de partículas da fase líquida do RR pra o restante do trato gastrointestinal e N é a ordem de dependência de tempo para a transferência de partículas no rúmen. O conteúdo de fibra predito com a utilização da equação 3 é resultante de características da dieta (k_d) e da interação dieta x animal (taxa de passagem). Ao maximizar F como um objetivo do modelo, o consumo é a resultante líquida de todas as restrições nutricionais, incluindo o limite físico para retenção da fibra no RR (MERTENS & ELY, 1979; ILLIUS & GORDON, 1991).

6 - CONCLUSÕES

Os conteúdos ruminoreticulares de matéria seca e fibra, bem como, o consumo de matéria seca e fibra escalonaram isometricamente para a massa corporal no presente estudo. Portanto, em comparações interespecíficas entre bovinos, ovinos e caprinos, sempre que alimentos fibrosos representarem parte importante da dieta, o consumo de matéria seca provavelmente será limitado por repleção ruminal.

O conteúdo ruminoreticular de lignina escalonou alometricamente para a potência de $3/4$. O consumo de lignina sem a inclusão dos dados de vacas leiteiras também escalonou para $3/4$, o que manteve uma coerência com o comportamento do Q_{NDF} . O consumo de lignina das vacas leiteiras escalonou isometricamente com a massa corporal, deste modo, o tempo médio de retenção ruminal de lignina é menor nesta categoria animal em relação aos demais bovinos, ovinos e caprinos. Isto demonstra uma adaptação específica para utilizar alimentos lignificados ou um comportamento anômalo devido ao banco de dados estudado.

A natureza guarda uma propriedade em seu todo, manifestada pelas leis de potência. As alometrias possuem um enorme potencial para sair do meio acadêmico e resolver problemas práticos, pois são de fácil acesso e igualmente fácil aplicação.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Walingford, 1993, 159p.

AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. The nutrition of goats. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B), v.67, n.11, p.765-830, 1997.

AKAIKE, H. A New Look at the Statistical Model Identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19, 716-723, 1974.

BAE, D.H., WELCH, J.G., GILMAN, B.E. Mastication and rumination in relation to body size of cattle. Journal Dairy Science 66, 2137-2141. 1983.

BALCH, R. C. Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristics of roughage. British Journal of Nutrition. 26. 383-392. 1971.

BAUMGARDT, B. R. Regulation of feed intake and energy balance. In: A. T. Phillipson (Ed.) Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant. pp 235--253. Oriel Press, Newcastle-upon-Tyne, England. 1970.

- BEATON, A. E.; TUKEY, J. W. The fitting of power series, meaning polynomials, illustrated on bandspectroscopic data. *Technometrics*. v. 16(2), p. 147-185, 1974.
- BELL, R. H. V. A grazing ecosystem in the Serengeti. *Scientific American*. 225: 86–93. 1971.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research* 33, 261-304, 2004.
- CANNAS, A.; VAN SOEST, P. J.; PELL, A. N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. *Animal Feed Science Technologia*. 106, 95–117, 2003.
- COELHO DA SILVA, J. F. Mecanismos reguladores de consumo. In: Berchielli, T. T. et al. (eds.). *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal, SP: Funep, p. 184, 2011.
- CONRAD, H. R., PRATT, A.D. e HIBBS, J. W. Regulation of feed intake in dairy cows. 1. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *Journal of Dairy Science*, 47: 54-62. 1964.
- DEMMENT, M.W., VAN SOEST, P.J., 1985. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. *The American Naturalist* 125, 641-672.
- DITCHKOFF, S. S. “A decade since “diversification of ruminants”: has our knowledge improved?” *Oecologia*. v. 125, p. 82-84, 2000.
- FORBES, J.M., PROVENZA, F. D. Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. In: Cronjé, P. B. (eds). *Ruminant physiology, digestion, metabolism, growth and reproduction*. CAB international. Publishing UK, 03-19. 2000.

- GORDON, I. J.; ILLIUS A.W. The functional significance of the browser-grazer dichotomy in African ruminants. *Oecologia*, v. 98, p.167–175, 1994.
- GORDON, I. J.; ILLIUS A. W. The nutritional ecology of African ruminants: a reinterpretation. *Journal Animal Ecology*, v. 65, p.18–28, 1996.
- GRENET, E.; BESLE, J. M. Microbes and fiber degradation. In: JOUANY, J. P. Rumen microbial metabolism and ruminant digestion. Paris: INRA. 107-129. 1991.
- HALL, M. B. Recent advanced in non-ndf carbohydrates for the nutrition of lactating cows, In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras: UFLAFAEPE, 2001. p.139-148.
- HALL, M. B. Challenges with nonfiber carbohydrate method. *Journal of Animal Science*. v81, p.3226-3232, 2003.
- HOFMANN, R. R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia*, v.78. p. 443-457, 1989.
- HOOPER, A.P., WELCH, J.G., 1983. Chewing efficiency and body size of kid goats. *journal Dairy Science* 66, 2551-2556.
- HUHTANEN, P., NOUSIAINEN, J., RINNE, M. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural of Food Science*. v15, p.293-323, 2006.
- HUI, D., JACKSON, R.B., 2007. Uncertainty in allometric exponent estimation: a case study in scaling metabolic rate with body mass. *Journal of Theoretical Biology* 249, 168-177.
- HUXLEY, J. S.; TEISSIER, G. Terminology of relative growth. *Nature*.137, 780-781. 1936a.

- ILLIUS, A. W.; GORDON, I. J. Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics. *Journal of Agricultural Science*, v. 116, p. 145-157, 1991.
- ILLIUS, A. W. Physiological adaptation by savanna ungulates. *Proc. Nutr. Soc.* v. 56, p. 1041-1048, 1987.
- JARMAN, P. The effect of the creation of Lake Kariba upon the terrestrial ecology of the middle Zambezi Valley, with particular references to the large mammals. Ph.D. dissertation, Manchester University. 1968.
- JARMAN, P. J. The social organization of antelope in relation to their ecology. *Behaviour*. 58(3,4): 215–267. 1974.
- KAY, R. N. B. Weights of salivary glands in ruminant animals. *J Zool Lond* 211:431–436, 1987.
- LEEK, B. F. Digestion in the ruminant stomach. In: Swenson, M.J., Reece, W.O. (Eds.), *Dukes' Physiology of Domestic Animals*, 11th ed. Cornell University Press, Ithaca, pp. 387–416, 1993.
- MALAFIA, P. A. M.; VALADARES FILHO, S. C.; VIEIRA, R. A. M. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non-automated system to measure gas production. *Lives. Prod. Sci.*, v.58, p.65-73, 1999.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J. Animal Sci.* 64:1548-1558, 1987.
- MERTENS, D. R. Nonstructural and structural carbohydrates. In: Van Horn, H. H.; Wilcox, C. J. (eds.). *Large dairy herd management*. Am. Dairy Sci. Assoc., Champaign, IL. p. 219-235, 1992.

- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: Forage Quality, Evaluation, and Utilization (G.C. Fahey, Jr., ed.). Am. Soc. Agron., Madison, WI, p. 450-493, 1994.
- MERTENS, D. R. Formulating dairy rations: using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: Information conference with dairy and forage industries. 1996, Wisconsin: U. S. Dairy forage and research center, p. 81-92, 1996.
- MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fibre requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80: 1463-1481, 1997.
- MERTENS, D. R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations, 11th Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, p. 142-160, 2000.
- MERTENS, D. R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras:UFLA FAEPE, 2001. p.25-36.
- MERTENS, D.R., ELY, L.O. A dynamic model of fiber digestion and passage in the ruminant for evaluating forage quality. *Journal Animal Science* 49, 1085-1095. 1979.
- MÜLLER, D. W. H.; CODRON, D.; MELORO, C.; MUNN, A.; SCHWARM, A.; HUMMEL, J.; CLAUSS, M. Assessing the Jarman-Bell Principle: Scaling of intake, digestibility, retention time and gut fill with body mass in mammalian herbivores. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A*. 164, 129-140. 2013.
- NRC - National Research Council, 1996, *Nutrients Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Ed., National Academy Press, EUA, 242pp.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Edition, National Academy Press, Washington, 2001, 381p.

- PITTROFF, W., KOTHMANN, M.M. Regulation of intake and diet selection by herbivores, In: Jung, H.J.G., Fahey Jr., G.C. (Eds.), **Nutritional ecology of herbivores**. Proceedings of the Vth international symposium on the nutrition of herbivores, American Society of Animal Science, San Antonio, TX, pp. 366-422. 1999.
- NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; LIMA, M. L. M.; “Metabolismo de Carboidratos Estruturais”. In: Berchielli, T. T. et al. (eds.). *Nutrição de Ruminantes*. Jaboticabal, SP: Funep, p. 184, 2001.
- ROBBINS, C. T.; SPALINGER D. E.; HOVEN W. V. Adaptation of ruminants to browse and grass diets: are anatomical-based browser-grazer interpretations valid? *Oecologia*. 103, p.208–213, 1995.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J.; SNIFFEN, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. *Journal of Animal Science*. v.70, n.12, p.3551-3561, 1992.
- SAUVANT, D.; DULPHY, J. P.; MICHALET-DOREAU, B. The concept of fibrosity index of ruminant feeds. *Int. Natl. Rech. Agron. Prod. Anim*. v.3, p. 309, 1990.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v., n.12, p.3562-3577, 1992.
- SUDWEEKS, E.M.; ELY, L.O.; MERTENS, D.R.; et al. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughages value index system. *Journal of Animal Science*., v.53, p.1406, 1981.

- TAMY, W. P. Modelagem da massa de fibra no rúmen: aspectos relacionados à capacidade do animal em reter a carga fibrosa da digesta. Dissertação de Mestrado. UENF. 66p. 2011.
- TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. A Review. *Agr. Syst.*, v.89, p.225-247, 2006.
- VAN SOEST, P. J. Nutritional Ecology of the Ruminant. Comstock Publ. Assoc. Ithaca, 476 p. 1994.
- VAN SOEST, P. J.; Robertson, J. B; Lewis, B. A Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber , and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*,v.74, n.10 . p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. Allometry and ecology of feeding behavior and digestive capacity in herbivores: a review. *Zoo Biology* 15, 455-479. 1996.
- VAN SOEST, P. J.; Wine, R. H. Determination of lignina and celulose in acid detergent fiber with permanganate. *Journal of Association of Agricultural Chemistry*, Washington, v.51, p.780 85, 1968.
- VIEIRA, R. A. M.; PEREIRA, J. C.; MALAFAIA, P. A. M. et al. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrintestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. *Rev. Bras. Zoot.* v.29, n.3, p.898-909, 2000c.
- VIEIRA, R. A. M.; TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A. A generalized model for describing fiber dynamics in the ruminant gastrointestinal tract. 1. The heterogeneity of the pool of fiber particles in the ruminoreticulum. The Agriculture Program - The Texas A&M University System. *Beef Cattle Research in Texas*, p. 97-102, 2007.
- VIEIRA, R. A. M.; TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. *Journal Theoretical Biology.*, v. 255, p. 357-368, 2008.

- VIEIRA, R. A. M.; CAMPOS, P. R. S. S.; SILVA, J. F. C.; TEDESCHI, L. O. TAMY, W. P. Heterogeneity of the digestible insoluble fiber of selected forages in situ. *Animal Feed Science and Technology*. 171:154-166. 2012.
- 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*. 31, 625-632. 1980.
- UNDERSANDER, D.; MERTENS, D. R.; THIEX, N. Forage analyses procedures. Omaha, National Forage Testing Association. 1993.
- WELCH, J.G. Rumination, particle size and passage from the rumen. *Journal of Animal Science* 54, 885-894. 1982.
- WEST, G. B.; The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystem: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. *The Journal of Experimental Biology*. 208, 1575-1592. 2005.

8 - APÊNDICE

Dados utilizados para a construção dos modelos no presente estudo referentes aos caprinos (3), ovinos (2) e bovinos (1), da massa corporal (W, kg), taxa de consumo de matéria seca (F, g/d), taxa de consumo de FDN (F_{NDF} , g/d), taxa de consumo de lignina (F_L , g/d), conteúdo ruminal fresco (FRC, g) e quantidade de matéria seca (Q, g), de FDN (Q_{NDF} , g) ou quantidade de lignina (Q_L , g) do conteúdo da digesta do RR

| Fonte dos Dados | 1 – Bovino 2 – Ovino 3 – Caprino | Variáveis | | | | | | | |
|----------------------|--|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| | | kg | g | | | | | | |
| | | W | FRC | Q | F_{NDF} | Q_{NDF} | F_L | Q_L | F |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 55 | 10298 | 839 | 293 | 282 | . | 35 | 996 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 55 | 12009 | 906 | 542 | 423 | . | 19 | 995 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 55 | 12297 | 1090 | 661 | 650 | . | 49 | 1014 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 53 | 9604 | 682 | 367 | 376 | . | . | 594 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 53 | 10098 | 733 | 367 | 399 | . | . | 698 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 53 | 11481 | 907 | 551 | 506 | . | . | 889 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 53 | 11768 | 938 | 548 | 522 | . | . | 1040 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 61 | 7880 | 1007 | 719 | 667 | . | . | 1608 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 61 | 8910 | 1051 | 945 | 674 | . | . | 1484 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 61 | 9255 | 1091 | 684 | 797 | . | . | 1000 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 78 | 9827 | 1210 | 881 | 850 | 181 | 145 | 1766 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 78 | 10588 | 1360 | 845 | 948 | 203 | 136 | 1679 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 78 | 12146 | 1326 | 779 | 989 | 107 | 54 | 1227 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 78 | 11948 | 1305 | 798 | 957 | 100 | 60 | 1190 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 636 | 78283 | 10443 | 7053 | 6717 | . | 750 | 17856 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 697 | 71283 | 10463 | 7017 | 6265 | . | 746 | 17765 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 737 | 60233 | 9150 | 6465 | 5022 | . | 687 | 16368 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 804 | 70850 | 9990 | 6594 | 5848 | . | 701 | 16694 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 769 | 66188 | 7997 | 5973 | 4449 | . | 635 | 15123 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 755 | 66617 | 7494 | 5698 | 4233 | . | 606 | 14424 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 763 | 61500 | 7224 | 5650 | 3908 | . | 601 | 14303 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 806 | 66383 | 8466 | 5674 | 4897 | . | 603 | 14363 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 795 | 62420 | 7642 | 4858 | 4428 | . | 517 | 12299 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 595 | 86400 | 11300 | 6582 | 7000 | 1010 | 692 | 18700 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 593 | 75700 | 10800 | 5860 | 6000 | 800 | 547 | 22800 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 34 | 4190 | 748 | 458 | 495 | 109 | 74 | 1002 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 34 | 3529 | 616 | 567 | 375 | 88 | 82 | 1316 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 71 | 11240 | 1198 | 888 | 880 | . | . | 1258 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 71 | 11135 | 1450 | 773 | 980 | . | . | 1360 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 71 | 10081 | 1117 | 654 | 780 | . | . | 965 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 44 | 4776 | 440 | 524 | 285 | 52 | 76 | 1363 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 48 | 5833 | 555 | 689 | 364 | 56 | 72 | 1392 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 38 | 4652 | 515 | 342 | 264 | 16 | 18 | 550 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 41 | 4507 | 354 | 326 | 264 | 23 | 25 | 411 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 490 | 61750 | 8238 | 5108 | 4921 | 1073 | 676 | 8974 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 455 | . | 7530 | 3682 | 4773 | 1037 | 527 | 6260 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 479 | . | 6543 | 2750 | 4150 | 933 | 388 | 4597 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 502 | . | 5717 | 2267 | 3430 | 847 | 325 | 3852 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 456 | 50200 | 4129 | 1469 | 2463 | 583 | 206 | 2481 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 521 | 63600 | 6251 | 1512 | 3420 | 893 | 212 | 2553 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 485 | 55125 | 7402 | 2518 | 3515 | 800 | 332 | 8135 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 466 | 76300 | 9746 | 4235 | 5402 | 1167 | 559 | 9908 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 439 | 67100 | 8128 | 3643 | 4483 | 1000 | 540 | 8727 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 456 | 59800 | 6638 | 3046 | 3615 | 805 | 455 | 7313 |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|---|-----|--------|-------|------|------|------|------|-------|
| Cannas et al. (2003) | 1 | 556 | 69625 | 7855 | 2584 | 4505 | 1055 | 387 | 6244 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 466 | 59233 | 4599 | 1729 | 2213 | 563 | 248 | 4026 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 525 | 81550 | 13950 | 7624 | 8706 | 1490 | 978 | 18428 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 520 | 54400 | 9600 | 6662 | 5837 | 1065 | 874 | 15603 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 510 | 60100 | 6200 | 2745 | 3807 | 843 | 360 | 6428 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 603 | 59460 | 4260 | 2270 | 1580 | . | . | 5250 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 586 | 75420 | 8120 | 5280 | 3480 | . | . | 13090 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 573 | 78650 | 9050 | 6780 | 4050 | . | . | 16960 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 555 | 83730 | 11430 | 8290 | 6020 | . | . | 20940 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 599 | 72460 | 6260 | 3790 | 2350 | . | . | 9190 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 580 | 99800 | 12275 | 7210 | 7900 | . | 660 | 17230 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 580 | 101400 | 13400 | 7530 | 8700 | . | 760 | 17280 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 580 | 100300 | 12500 | 6960 | 8100 | . | 750 | 17040 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 580 | 106900 | 13500 | 7340 | 8300 | . | 800 | 17780 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 577 | 81800 | 10010 | 4150 | 5650 | . | . | 15900 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 578 | 86000 | 10260 | 4529 | 5730 | . | . | 15300 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 580 | 84600 | 9890 | 4276 | 5580 | . | . | 16900 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 575 | 87200 | 10420 | 4712 | 5810 | . | . | 15500 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 670 | 102300 | 14700 | 7620 | 9200 | 1720 | 1100 | 22800 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 659 | 93200 | 13900 | 6380 | 8700 | 1530 | 900 | 23400 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 663 | 99700 | 15000 | 6790 | 8800 | 1020 | 560 | 23600 |
| Cannas et al. (2003) | 1 | 666 | 108000 | 15600 | 8160 | 9200 | 1150 | 720 | 23100 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 42 | 3407 | 556 | 753 | 337 | . | . | 1518 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 42 | 3135 | 587 | 225 | 245 | . | . | 910 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 43 | 2798 | 551 | 386 | 280 | . | . | 1098 |
| Cannas et al. (2003) | 2 | 42 | 3079 | 616 | 561 | 353 | . | . | 1289 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 29 | 6760 | 970 | 346 | 532 | 19 | 66 | 647 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 24 | 4849 | 339 | 153 | 176 | 8 | 22 | 278 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 21 | 4815 | 485 | 195 | 251 | 10 | 32 | 349 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 22 | 4350 | 513 | 294 | 268 | 17 | 27 | 499 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 31 | 6905 | 762 | 448 | 386 | 25 | 35 | 835 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 33 | 6185 | 639 | 514 | 346 | 29 | 36 | 953 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 6255 | 788 | 281 | 417 | 16 | 44 | 516 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 21 | 4390 | 495 | 238 | 260 | 12 | 26 | 460 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 5635 | 764 | 380 | 360 | 21 | 40 | 708 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 22 | 4120 | 478 | 233 | 257 | 13 | 32 | 432 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 6229 | 843 | 359 | 431 | 18 | 38 | 695 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 29 | 6215 | 733 | 401 | 377 | 22 | 44 | 759 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 25 | 4642 | 297 | 155 | 134 | 9 | 16 | 281 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 25 | 4222 | 349 | 232 | 173 | 13 | 16 | 429 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 31 | 6875 | 867 | 465 | 471 | 28 | 54 | 851 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 17 | 4006 | 170 | 114 | 73 | 6 | 8 | 209 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 7705 | 938 | 410 | 488 | 24 | 47 | 747 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 5675 | 633 | 459 | 299 | 26 | 28 | 859 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 15 | 2330 | 198 | 60 | 104 | 3 | 19 | 124 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 18 | 2075 | 218 | 114 | 122 | 8 | 15 | 208 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 29 | 6705 | 768 | 364 | 398 | 26 | 50 | 680 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 20 | 4160 | 310 | 136 | 144 | 10 | 19 | 265 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 6965 | 665 | 326 | 319 | 23 | 41 | 600 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 23 | 5145 | 536 | 378 | 278 | 26 | 29 | 710 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 22 | 4625 | 546 | 231 | 280 | 16 | 31 | 437 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 6545 | 781 | 380 | 376 | 25 | 41 | 733 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 23 | 3630 | 373 | 141 | 188 | 10 | 26 | 258 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 20 | 3230 | 189 | 114 | 93 | 8 | 13 | 210 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 24 | 4560 | 370 | 246 | 149 | 17 | 22 | 447 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 26 | 6790 | 803 | 353 | 440 | 25 | 49 | 659 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 24 | 6370 | 609 | 218 | 325 | 15 | 40 | 414 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 23 | 4920 | 414 | 197 | 220 | 14 | 27 | 363 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 8090 | 915 | 314 | 459 | 22 | 58 | 573 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 20 | 5355 | 435 | 255 | 228 | 18 | 31 | 467 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|---|----|-------|------|------|------|----|-----|------|
| M. T. Rodrigues | 3 | 19 | 3550 | 293 | 175 | 151 | 12 | 19 | 316 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 24 | 5370 | 539 | 250 | 282 | 17 | 36 | 460 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 26 | 4900 | 426 | 329 | 205 | 27 | 27 | 600 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 6435 | 672 | 298 | 364 | 24 | 46 | 538 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 6315 | 588 | 329 | 319 | 28 | 40 | 598 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 6695 | 780 | 446 | 418 | 37 | 45 | 821 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 7315 | 661 | 477 | 317 | 42 | 43 | 877 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 7995 | 773 | 432 | 389 | 38 | 40 | 794 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 5270 | 400 | 222 | 220 | 18 | 24 | 401 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 26 | 4695 | 331 | 169 | 148 | 14 | 19 | 304 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 6320 | 734 | 458 | 380 | 38 | 45 | 847 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 30 | 8290 | 1158 | 426 | 614 | 35 | 73 | 778 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 25 | 4885 | 490 | 396 | 207 | 37 | 27 | 729 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 17 | 4465 | 521 | 199 | 256 | 17 | 28 | 375 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 28 | 6110 | 557 | 399 | 276 | 35 | 35 | 730 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 29 | 6645 | 894 | 388 | 505 | 34 | 63 | 710 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 27 | 5870 | 594 | 364 | 336 | 31 | 44 | 670 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 21 | 5495 | 546 | 296 | 293 | 25 | 45 | 542 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 25 | 6170 | 685 | 287 | 370 | 24 | 52 | 527 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 45 | 8200 | 771 | 664 | 436 | 43 | 38 | 1604 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 54 | 9676 | 1239 | 688 | 704 | 43 | 127 | 1697 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 49 | 8720 | 798 | 700 | 480 | 43 | 104 | 1799 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 70 | 5590 | 588 | 373 | 360 | 20 | 58 | 886 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 58 | 9440 | 1039 | 647 | 659 | 41 | 67 | 1413 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 40 | 7020 | 702 | 571 | 432 | 37 | 49 | 1188 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 43 | 6540 | 707 | 378 | 445 | 24 | 79 | 807 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 61 | 14200 | 1532 | 1020 | 972 | 63 | 164 | 2185 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 72 | 6910 | 568 | 700 | 384 | 46 | 36 | 1322 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 49 | 9412 | 1132 | 652 | 757 | 42 | 118 | 1191 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 54 | 7147 | 721 | 447 | 472 | 30 | 95 | 833 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 52 | 12732 | 1371 | 839 | 880 | 53 | 143 | 1579 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 67 | 10430 | 1044 | 627 | 705 | 41 | 92 | 1054 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 39 | 8738 | 1057 | 524 | 706 | 35 | 136 | 861 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 61 | 14680 | 1718 | 977 | 1069 | 63 | 267 | 1592 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 53 | 10720 | 1314 | 755 | 842 | 49 | 185 | 1265 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 62 | 8542 | 1049 | 875 | 564 | 55 | 160 | 2242 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 50 | 8953 | 1137 | 635 | 692 | 39 | 117 | 1639 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 42 | 5686 | 637 | 425 | 327 | 27 | 61 | 1112 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 56 | 6623 | 581 | 518 | 307 | 27 | 60 | 1357 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 51 | 14020 | 1324 | 780 | 791 | 48 | 87 | 1752 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 51 | 9640 | 858 | 525 | 471 | 32 | 119 | 1190 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 78 | 11401 | 1379 | 830 | 797 | 50 | 142 | 1879 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 39 | 6339 | 819 | 531 | 472 | 33 | 98 | 1209 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 51 | 7960 | 904 | 607 | 575 | 40 | 60 | 1163 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 58 | 9060 | 1011 | 593 | 630 | 38 | 77 | 1124 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 57 | 16400 | 1830 | 915 | 1129 | 58 | 209 | 1748 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 36 | 6320 | 485 | 363 | 299 | 23 | 75 | 703 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 48 | 9260 | 810 | 506 | 545 | 33 | 59 | 849 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 36 | 8076 | 733 | 556 | 495 | 37 | 80 | 929 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 49 | 10951 | 1043 | 424 | 697 | 27 | 124 | 714 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 62 | 15264 | 1684 | 769 | 1094 | 50 | 245 | 1295 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 55 | 6778 | 749 | 681 | 408 | 40 | 80 | 1789 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 54 | 7460 | 646 | 693 | 401 | 41 | 70 | 1808 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 57 | 8194 | 1247 | 716 | 634 | 43 | 143 | 1834 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 46 | 8682 | 702 | 428 | 381 | 26 | 79 | 1133 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 53 | 11260 | 1036 | 636 | 642 | 39 | 72 | 1445 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 52 | 8056 | 808 | 612 | 517 | 37 | 89 | 1363 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 56 | 11068 | 1285 | 674 | 720 | 37 | 115 | 1556 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 48 | 8402 | 1219 | 611 | 704 | 37 | 124 | 1331 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 38 | 4737 | 279 | 335 | 186 | 22 | 31 | 666 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|---|-----|-------|------|------|------|-----|-----|------|
| M. T. Rodrigues | 3 | 50 | 9320 | 1200 | 785 | 783 | 48 | 116 | 1483 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 49 | 9586 | 1091 | 785 | 670 | 51 | 134 | 1515 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 43 | 9522 | 932 | 580 | 554 | 37 | 117 | 1124 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 54 | 12000 | 1119 | 735 | 731 | 48 | 88 | 1248 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 49 | 13279 | 1401 | 1040 | 926 | 67 | 88 | 1768 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 47 | 8060 | 562 | 401 | 369 | 25 | 71 | 688 |
| M. T. Rodrigues | 3 | 50 | 8230 | 980 | 538 | 640 | 35 | 126 | 923 |
| W. P. Tamy | 1 | 115 | 17958 | 2419 | 1286 | 1498 | 96 | 160 | 2842 |
| W. P. Tamy | 1 | 130 | 17340 | 2215 | 1645 | 1452 | 118 | 159 | 3454 |
| W. P. Tamy | 1 | 117 | 15050 | 2042 | 1369 | 1221 | 97 | 135 | 2900 |
| W. P. Tamy | 1 | 134 | 16900 | 2127 | 1606 | 1348 | 115 | 137 | 3393 |
| W. P. Tamy | 1 | 152 | 22060 | 2902 | 1742 | 1876 | 126 | 201 | 3574 |
| W. P. Tamy | 1 | 157 | 20242 | 2712 | 1718 | 1733 | 123 | 191 | 3542 |
| W. P. Tamy | 1 | 165 | 25700 | 3353 | 1948 | 2187 | 139 | 241 | 3964 |
| W. P. Tamy | 1 | 159 | 20520 | 2888 | 1772 | 1719 | 126 | 192 | 3656 |
| W. P. Tamy | 1 | 198 | 21900 | 3186 | 2180 | 2008 | 139 | 193 | 4335 |
| W. P. Tamy | 1 | 198 | 22880 | 3637 | 2380 | 2309 | 152 | 238 | 4692 |
| W. P. Tamy | 1 | 205 | 23500 | 3624 | 2234 | 2234 | 142 | 227 | 4428 |
| W. P. Tamy | 1 | 194 | 18740 | 2503 | 1760 | 1571 | 110 | 130 | 3648 |
| W. P. Tamy | 1 | 265 | 33180 | 3894 | 2170 | 2498 | 132 | 254 | 4787 |
| W. P. Tamy | 1 | 293 | 27420 | 4049 | 2369 | 2613 | 143 | 250 | 5141 |
| W. P. Tamy | 1 | 300 | 31160 | 8463 | 2647 | 6004 | 161 | 518 | 5734 |
| W. P. Tamy | 1 | 309 | 34600 | 6508 | 2629 | 4202 | 160 | 421 | 5700 |
| W. P. Tamy | 1 | 282 | 30380 | 3327 | 2576 | 2146 | 156 | 235 | 5609 |
| W. P. Tamy | 1 | 260 | 25940 | 4984 | 2785 | 3421 | 173 | 315 | 5111 |
| W. P. Tamy | 1 | 260 | 32940 | 5128 | 2996 | 3429 | 184 | 332 | 5416 |
| W. P. Tamy | 1 | 266 | 24740 | 5202 | 2849 | 3551 | 175 | 321 | 5195 |
| W. P. Tamy | 1 | 278 | 21460 | 4526 | 2892 | 2974 | 178 | 293 | 5263 |
| W. P. Tamy | 1 | 377 | 30720 | 3150 | 4083 | 2022 | 251 | 215 | 7204 |
| W. P. Tamy | 1 | 391 | 38320 | 4561 | 3791 | 3073 | 229 | 313 | 6356 |
| W. P. Tamy | 1 | 410 | 39700 | 4116 | 4045 | 2753 | 248 | 294 | 7118 |
| W. P. Tamy | 1 | 370 | 34180 | 4956 | 3147 | 3239 | 197 | 334 | 6669 |
| W. P. Tamy | 1 | 334 | 22120 | 3494 | 2209 | 2260 | 137 | 212 | 4855 |
| W. P. Tamy | 1 | 391 | 39940 | 4482 | 3147 | 3161 | 197 | 275 | 6651 |
| W. P. Tamy | 1 | 357 | 24620 | 5068 | 2559 | 3197 | 158 | 290 | 5524 |
| W. P. Tamy | 1 | 350 | 30780 | 5570 | 2340 | 3946 | 146 | 334 | 5040 |
| W. P. Tamy | 1 | 395 | 33540 | 4455 | 2794 | 2927 | 175 | 277 | 5959 |
| W. P. Tamy | 1 | 560 | 63700 | 5951 | 4404 | 3934 | 276 | 423 | 9556 |
| W. P. Tamy | 1 | 446 | 41860 | 7921 | 2974 | 5239 | 186 | 582 | 6337 |