

**CLÁUDIA BATISTA SAMPAIO**

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES E DE MÉTODOS DE PREDIÇÃO DO  
VALOR ENERGÉTICO DA DIETA EM BOVINOS EM CRESCIMENTO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

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

T

S192a  
2010

Sampaio, Cláudia Batista, 1981-

Avaliação de indicadores e de métodos de predição do  
valor energético da dieta em bovinos em crescimento /  
Cláudia Batista Sampaio. – Viçosa, MG, 2010.  
x, 88f. : il. ; 29cm.

Orientador: Edenio Detmann.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Bovino - Nutrição. 2. Digestibilidade. 3. Alimentos -  
Modelos matemáticos. 4. Bovino - Indicadores - Avaliação.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 636.2085

CLÁUDIA BATISTA SAMPAIO

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES E DE MÉTODOS DE PREDIÇÃO DO  
VALOR ENERGÉTICO DA DIETA EM BOVINOS EM CRESCIMENTO**

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

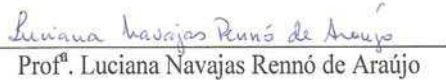
APROVADA: 05 de outubro de 2010



Prof. Mário Fonseca Paulino  
(Coorientador)



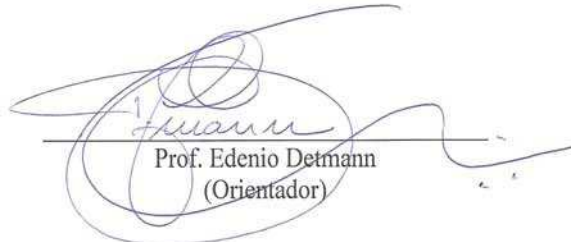
Prof. Sebastião de Campos Valadares Filho  
(Coorientador)



Prof.<sup>a</sup> Luciana Navajas Rennó de Araújo



Dr. Fernando César Ferraz Lopes



Prof. Edenio Detmann  
(Orientador)

Ofereço.....

Meu amado filho Antônio

“Não me canso de olhar pra você, nunca, jamais me cansarei.

Por isso, tenho você sempre comigo,

No peito, nos sonhos, nas orações.

E agradeço todos os dias, pela proteção divina!

Agradeço, por todos os sorrisos,

Todos os abraços que tenho oportunidade de lhe dar

Onde eu estiver, estará sempre comigo,

Nas fotos em minha carteira, em outras no meu trabalho,

Em cima de minha mesa, na tela,

Como pano de fundo, das janelas do mundo.

Não me canso, jamais me cansarei,

De expressar esse amor tão profundo,

Que em meu peito, para sempre guardo.

E quando, a idade chegar...

Quando não tiver forças para abraçar,

Se nem mesmo puder esboçar um sorriso,

Ainda que meus olhos não possam mais ver,

Não me permitirei, deixar de olhar pra você.

Estará comigo, enquanto meu coração bater,

Enquanto o cérebro teimar em viver,

E lá, num lugar especial, lindo,

Estarei abraçando, olhando,

Continuarei amando e sorrindo!“.

Antônio Fernando Gomide Neto,

Antônio Santana Gomide, e

Maria das Graças Batista Sampaio ...

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela presença constante em minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e Departamento de Zootecnia por tornar possível a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A FAPEMIG (CVZ 1403/06 e Programa Pesquisador Mineiro), ao CNPq e Ao INCT Ciência Animal, pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao Professor Edenio Detmann, pela orientação, paciência, exemplo de dedicação aos estudos e à pesquisa.

Aos demais professores do Departamento de Zootecnia, em especial, Professor Mário Fonseca Paulino e Sebastião de Campos Valadares Filho por colaborarem sempre.

Ao Professor Dilermando por disponibilizar os animais para realização do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia em especial do Laboratório de Nutrição Animal pela convivência.

Ao meu amado filho, que chegou à minha vida no momento certo, me deu forças pra continuar e terminar esta etapa, é amor mais sincero e puro, obrigada por existir e fazer parte da minha vida. Amo você!

À minha amada mãe, meu porto seguro, em que posso sempre confiar e contar em todos os momentos, com sua ajuda e presença sempre constante esta etapa foi vencida, parte desta vitória é sua!

Ao meu amado esposo, Antônio Santana Gomide, pelo apoio, amor, conselhos, dedicação e por incentivar sempre nos momentos difíceis, meu muito obrigado.

Aos meus irmãos Clayton, Gera, Pedrinho, e aos “malas” preferidos, Nice e Max pelo apoio e incentivo sempre.

Ao meu pai que mesmo distante sempre se mostrou orgulhoso.

Aos colegas e amigos, Marjorrie, Isis, Fabiana, Karina, Dayane, Márcia, Darcilene, Mônica, Janderson, Mateus, Samuel, Eric, Willian, Cíntia (Univiçosa), pela amizade e ajuda, em especial a Tiago Valente, pela especial ajuda.

A todos que torceram e acreditaram neste trabalho. Muito obrigada.

## **BIOGRAFIA**

Cláudia Batista Sampaio, filha de Maria das Graças Batista Sampaio e Euclides Sampaio dos Santos, nasceu em São Paulo, no dia 14 de maio de 1981.

Em julho de 2005, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, submetendo-se à defesa de dissertação em 14 de março de 2007.

Em abril de 2007, iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, desenvolvendo seus estudos na área de Nutrição e Produção de Ruminantes, submetendo-se à defesa de tese em 05 de outubro de 2010.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6

### **Recuperação Fecal e Vício de Tempo Longo de Indicadores Internos e Externos em Ensaio de Digestão com Bovinos**

Resumo.....	8
Abstract.....	9
Introdução.....	10
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	17
Conclusões.....	28
Referências.....	27

### **Perfil de Excreção Fecal e Vício de Tempo Curto de Indicadores Internos e Externos em Ensaio de Digestão com Bovinos**

Resumo.....	31
Abstract.....	32
Introdução.....	33
Material e Métodos.....	35
Resultados e Discussão.....	42
Conclusões.....	53
Referências.....	53

## **Avaliação de Modelos de Predição do Valor Energético de Dietas para Bovinos a Partir da Composição Química dos Alimentos**

Resumo.....	57
Abstract.....	58
Introdução.....	59
Material e Métodos.....	60
Resultados e Discussão.....	70
Conclusões.....	86
Referências.....	86



## RESUMO

SAMPAIO, Cláudia Batista, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Outubro de 2010.

**Avaliação de indicadores e de métodos de predição do valor energético da dieta em bovinos em crescimento.** Orientador: Edenio Detmann. Co-Orientadores: Mário Fonseca Paulino e Sebastião de Campos Valadares Filho

Objetivou-se estimar a recuperação total, perfil de excreção fecal, o vício de tempo longo e de tempo curto das estimativas de excreção fecal obtidas com os indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e com os indicadores internos matéria seca indigestível (MSi), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi), e, adicionalmente, estimar e avaliar os teores das frações aparentemente digestíveis de proteína bruta extrato etéreo e carboidratos não fibrosos, da fração digestível da fibra em detergente neutro e o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) a partir da composição química dos alimentos em bovinos em crescimento alimentados com diferentes dietas. Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e 287 kg. Os animais foram alimentados com silagem de capim elefante, silagem de milho ou feno de capim braquiária, suplementados ou não com 20% de mistura concentrada. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, segundo delineamento em quadrado latino 2 x 2, com agrupamento de sete quadrados. Os animais receberam diariamente 10 g de óxido crômico e 10 g de dióxido de titânio através de sonda esofágica. Foram realizadas coletas fecais totais e pontuais (*grab samples*), diretamente do reto dos animais nos horários de 1h30, 3h00, 4h30 e 6h00, 7h30, 9h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30 e 24h00. Os valores observados de frações digestíveis e do teor de NDT foram obtidos com base na coleta total de fezes. Não foram observados efeitos de forragem, nível de concentrado ou sua interação sobre as estimativas de recuperação fecal tanto dos indicadores internos, quanto dos indicadores externos. As estimativas de recuperação fecal média para o óxido crômico e para o dióxido de titânio foram de 99,50% e 101,95%, respectivamente. Para os indicadores internos observou-se recuperação fecal média de 99,02%, 98,87% e 102,07% para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente. Em todos os casos, as recuperações fecais foram iguais a 100%. Todos os indicadores avaliados foram considerados isentos de vício de tempo longo. Contudo, maior precisão foi

verificada para as estimativas de excreção fecal obtidas com indicadores internos. Não foram verificados efeitos das diferentes forragens ou níveis de concentrado sobre a dimensão do ciclo excretório. O período fundamental do ciclo excretório foi de 15,06 e 18,66 horas para o óxido crômico e dióxido de titânio, e de 9,93; 9,29 e 10,55 horas para MSi, FDNi e FDAi respectivamente. Verificou-se maior amplitude de oscilação para os indicadores externos. Considerando-se conjuntamente as características dos indicadores avaliados, recomenda-se delineamentos de amostragem fecal com o mínimo de quatro coletas, sendo estas distribuídas ao longo do dia ou somente no período diurno, para a obtenção de estimativas de excreção fecal isentas de vício de tempo curto. Diversos sub-modelos aplicados às diferentes frações digestíveis foram avaliados e discutidos. Estimativas do teor de NDT na dieta foram produzidas a partir da combinação de sub-modelos aplicados às frações digestíveis individuais. O teor de NDT foi mais eficientemente predito a partir dos sub-modelos propostos por Detmann et al. (2010) quando considerados procedimentos biológicos para estimação da fração indegradável da proteína e da fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro.

## ABSTRACT

SAMPAIO, Cláudia Batista, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October of 2010.

**Evaluation of markers and methods for diet energy prediction in growing cattle.**

Adviser: Edenio Detmann. Co-Advisers: Mário Fonseca Paulino and Sebastião de Campos Valadares Filho.

The objective of this work was to estimate the total recovering, the long term and short term bias of the estimates of fecal excretion, and evaluate the fecal excretion profile using the external markers chromic oxide and titanium dioxide and the internal markers indigestible dry matter (iDM), indigestible neutral detergent fiber (iNDF) and indigestible acid detergent fiber (iADF); and, additionally, to estimate and evaluate the apparent digestible fractions of ether extract, crude protein and non-fibrous carbohydrates, the digestible fraction of neutral detergent fibre and the diet content of total digestible nutrients (TDN) using the chemical composition of feeds in growing cattle fed different diets. Fourteen F1 Red Angus x Nelore bulls, averaging 12 months and 287 kg, were used. The animals were fed with elephant grass silage, corn silage or signal grass hay and supplemented or not with 20% of concentrate. The experiment consisted of two 13-days experimental periods according to a 2 x 2 Latin square design with seven squares. The animals received 10 g/d of chromic oxide and titanium dioxide through esophageal sound. Total fecal collection was done and fecal grab samples were too obtained at 1h30, 3h00, 4h30 e 6h00, 7h30, 9h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30 and 24h00. The observed values of digestible fractions and TDN were obtained based on total collection of feces. There was no effect of forage, concentrate or their interaction on fecal recovering of external and internal markers. The average fecal recovering of chromic oxide and titanium dioxide were 99.50% and 101 95%, respectively. iDM, iNDF and iADF presented average fecal recovering of 99.02%, 98.87% and 102.07%, respectively. For all markers the fecal recovering was found to be 100% and all of them presented no long term bias. However, higher precision was observed for fecal excretion estimates obtained with internal markers. There were no effects of forages and concentrate levels on excretory cycle of markers. The fundamental periods of excretory cycle were 15.06 and 18.66 hours for chromic oxide and titanium dioxide, and 9.93, 9.29 and 10.55 hours for iDM, iNDF and iADF, respectively. The oscillation range was higher for external markers.

Considering the characteristics of all markers, it is recommended fecal sampling designs with at least four collects, which can be distributed along day or along diurnal period. This recommendation looks for avoiding short term bias on fecal excretion estimates. Several sub-models applied to predict the different digestible fractions were evaluated and discussed. Estimates of diet content of TDN were produced from combination of sub-models applied to digestible fractions. The TDN content was better predicted using the sub-models of Detmann et al. (2010) and considering biological procedures to estimate the undegradable fraction of protein and the potentially digestible fraction of neutral detergent fiber.

## Introdução Geral

A estimação de parâmetros da digestibilidade dietética tem como ponto inicial a obtenção de seu complemento, a indigestibilidade aparente. Neste contexto, a excreção fecal constitui o parâmetro básico de indigestibilidade de um alimento ou dieta, uma vez que representa, ao menos aparentemente, a porção ingerida não aproveitada durante a passagem pelo trato gastrointestinal (Detmann et al., 2004). Contudo, devido à dificuldade de realização de coleta total de fezes em animais de grande porte, como bovinos, técnicas indiretas com o uso de indicadores são recomendadas.

Entre os indicadores denominados externos, o óxido crômico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) é o mais utilizado; entretanto, alternativas à sua utilização têm sido demandadas em função de aspectos legais associados ao seu fornecimento a animais, uma vez que este não é aprovado pelo *Food and Drug Administration* (Titgemeyer et al., 2001), e de aspectos associados à sua provável atividade cancerígenas (Myers et al., 2006).

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) tem sido empregado, com resultados satisfatórios, como alternativa ao óxido crômico em ensaios com animais não-ruminantes (Jagger et al., 1992; Short et al., 1996); verificando-se, atualmente, resultados promissores também com ruminantes (Titgemeyer et al., 2001; Myers et al., 2006; Glindemann et al., 2009). Este indicador apresenta a vantagem de não possuir limitações quanto à inclusão em rações para animais, sendo comum sua utilização em produtos destinados à alimentação humana.

Poucos resultados sobre o comportamento e a eficiência do dióxido de titânio como indicador externo são encontrados na literatura, restringindo-se a experimentos

em regiões de clima temperado (Titgemeyer et al., 2001; Myers et al., 2004; 2006; Glindemann et al., 2009), com poucos resultados produzidos em condições tropicais (Marcondes et al., 2006; 2008; Ferreira et al., 2009a; 2009b).

Por outro lado, os indicadores internos comumente utilizados em ensaio com ruminantes compreendem os resíduos indigestíveis dos alimentos, sendo comumente representados pela fração física matéria seca indigestível (MSi) ou pelas frações químicas fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) (Detmann et al., 2004).

As estimativas de produção fecal são obtidas por intermédio de relação de causa e efeito entre alimento/dieta e os eventos digestivos do trato gastrintestinal (Detmann et al., 2007). A base para utilização destes reside sobre o fato de que, à medida que o alimento transita pelo trato gastrintestinal, a concentração do indicador aumenta progressivamente pela remoção de outros componentes por digestão e absorção.

A verificação das características ideais de indicadores deve centrar-se sobre questões relacionadas à recuperação desses após submissão aos eventos do trato gastrintestinal (Detmann et al., 2007).

A estimação da concentração fecal diária de indicadores nas fezes de ruminantes é freqüentemente obtida por análises de pequenas amostras obtidas manualmente no reto, em um ou dois horários fixos do dia (Detmann et al., 2001; Ítavo et al., 2002). Entretanto, a possibilidade de ocorrerem vícios nas estimativas de concentração fecal por erros amostrais deve ser considerada.

O vício de uma estimativa de excreção fecal obtida por intermédio de indicadores pode ser subdividido em dois diferentes componentes, vício de tempo longo e vício de tempo curto (Langlands et al., 1963).

O vício de tempo longo, também denominado vício de recuperação, se refere à incapacidade de um indicador em ser recuperado totalmente nas fezes (Langlands et al., 1963; Detmann et al., 2007), constituindo característica inerente ao próprio indicador. Assim, um indicador somente pode ser utilizado de forma segura em estudos de digestão, caso o mesmo possa ser considerado isento de vício de tempo longo (Detmann et al., 2007).

Por sua vez, o vício de tempo curto se refere à porção do vício de uma estimativa de produção fecal relacionada a falhas ou inconsistências por obtenção de amostras fecais não representativas do total de fezes excretadas (Langlands et al., 1963). Sua eliminação depende diretamente da eficiência do delineamento de amostragem fecal adotado.

Resultados controversos têm sido apontados no tocante às estimativas dos parâmetros de digestão obtidas por diferentes indicadores (Detmann et al., 2001; Ítavo et al., 2002). Estes podem refletir interferências dietéticas, de precisão analítica e das características inerentes à dinâmica de fluxo de cada indicador.

Da mesma forma, em alguns estudos conduzidos no Brasil foram obtidas estimativas confiáveis do vício total de recuperação de indicadores (Berchielli et al., 2000; Zeoula et al 2002; Cabral et al., 2008). Contudo, a avaliação deste parâmetro pode não contribuir efetivamente para a diferenciação das limitações do indicador empregado no tocante a falhas em sua recuperação fecal ou a deficiências no delineamento de amostragem de fezes adotado.

Adicionalmente, a importância de se obter estimativas de coeficientes de digestibilidade de forma eficiente reside no fato de que estas estimativas constituem aspecto básico para se quantificar o valor energético dos alimentos ou dietas,

notadamente via nutrientes digestíveis totais, permitindo o balanceamento adequado de dietas que propiciem o atendimento das demandas de manutenção e produção dos animais (Detmann et al., 2010).

As estimativas de coeficiente de digestibilidade obtidas *in vivo* devem ser consideradas mais exatas; contudo, a necessidade de utilização de animais experimentais, além de grande quantidade de alimentos e maior tempo, torna o procedimento oneroso e laborioso.

Como alternativa a estas limitações, métodos de predição das frações digestíveis dos alimentos para ruminantes utilizando a composição química dos alimentos foram desenvolvidos por Conrad et al. (1984) e Weiss et al. (1992), cujos fundamentos passaram a constituir a base dos sistemas de predição da energia de dietas propostos pelo NRC (2001), para condições temperadas, e mais recentemente para condições tropicais por Detmann et al. (2008; 2010).

Os sistemas de predição do conteúdo energético dos alimentos ofertados a bovinos adotado pelo NRC (2001) e proposto por Detmann et al. (2008; 2010) se baseiam em sistemas de equações aditivas, nos quais para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética (proteína bruta, extrato etéreo, carboidratos não fibrosos e fibra em detergente neutro) destina-se uma equação responsável pela obtenção de estimativas das frações verdadeiramente digestíveis, com posteriores correções no tocante a perdas metabólicas e nível de consumo. Contudo, estudos comparativos entre os sistemas de predição ressaltados acima são ainda escassos.

Diante do exposto, objetivou-se estimar a recuperação fecal, o vício de tempo longo e de tempo curto das estimativas de excreção fecal e avaliar o perfil excretório



diário dos indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e dos indicadores internos MSi, FDNi e FDAi; adicionalmente, objetivou-se comparar as estimativas de frações digestíveis e do teor de nutrientes digestíveis totais na dieta obtidas com base na composição química dos alimentos a partir dos modelos propostos pelo NRC (2001) e por Detmann et al. (2010), em bovinos alimentados com diferentes dietas.

## Referências Bibliográficas

- BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.830-833, 2000.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Avaliação de indicadores na estimação da excreção fecal e da digestibilidade em ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, p.29-34, 2008.
- CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O. et al. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.427-436, 1984.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1600-1609, 2001.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. et al. Avaliação da técnica dos indicadores na estimação do consumo por ruminantes em pastejo. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, v.46, p.40-57, 2004.
- DETMANN, E.; SOUZA, A.L.; GARCIA, R. et al. Avaliação do vício de tempo longo de indicadores internos em ensaio de digestão com ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.182-188, 2007.
- DETMANN E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008.
- DETMANN, E. VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L. et al. (Eds.) **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE**. 2 ed. Viçosa: DZO-UFV, 2010, p. 47-64.
- FERREIRA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I. et al. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1568-1573, 2009a.
- FERREIRA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, L.F.C. et al. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: estimativa de consumos de concentrado e de silagem de milho por vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1574-1580, 2009b.

- GLINDEMANN, T.; TAS, B.M.; WANG, C. et al. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.152, p.186-197, 2009.
- ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. Comparação de indicadores e metodologia de coleta para estimativas de produção fecal e fluxo da digesta em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1833-1839, 2002.
- JAGGER, S.; WISEMAN, J.; COLE, D.J.A. et al. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and fecal apparent digestibility values in the pig. **British Journal of Nutrition**, v.68, p.729-739, 1992.
- LANGLANDS, J.P.; CORBETT, J.L.; McDONALD, I. et al. Estimation of the faeces output of grazing animals from the concentration of chromium sesquioxide in a sample of faeces. I. Comparison of estimates from samples taken at fixed times of day with faeces outputs measured directly. **British Journal of Nutrition**, v.17, p.211-218, 1963.
- MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; BRITO, A.F. et al. Uso de diferentes indicadores para estimar a produção fecal e avaliar o consumo individual de concentrado e volumoso em novilhas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006 (CD-ROM).
- MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R. et al. Consumo e desempenho de animais alimentados individualmente ou em grupo e características de carcaça de animais Nelore de três classes sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.2243-2250, 2008.
- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Technical note: a procedure for preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, v.82, p.179-193, 2004.
- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Excretion patterns of titanium dioxide and chromic oxide in duodenal digesta and feces of ewes. **Small Ruminant Research**, v.63, p.135-141, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7 ed. Washington, D.C.: Academic Press, 2001. 381p.
- SHORT, F.J.; GORTON, P.; WISEMAN, J. et al. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. **Animal Feed Science and Technology**, v.59, p.215-221, 1996.
- TITGEMEYER, E.C.; ARMENDARIZ, C.K.; BINDEL, D.J. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1059-1063, 2001.
- ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N.; DIAN, P.H.M. et al. Recuperação fecal dos indicadores internos avaliados em ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1865-1874, 2002.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; St.PIERRE, N.R. A theoretically based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.

## **Recuperação fecal e vício de tempo longo de indicadores internos e externos em ensaio de digestão com bovinos<sup>1</sup>**

**RESUMO** – Objetivou-se estimar a recuperação total e o vício de tempo longo das estimativas de excreção fecal obtidas com os indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e com os indicadores internos matéria seca indigestível (MSi), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) em ensaio de digestão com bovinos alimentados com diferentes dietas. Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e 287 kg. Os animais foram alimentados com silagem de capim elefante, silagem de milho ou feno de capim braquiária, suplementados ou não com 20% de mistura concentrada. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, segundo delineamento em quadrado latino 2 x 2, com agrupamento de sete quadrados. Os animais receberam diariamente 10 g de óxido crômico e 10 g de dióxido de titânio através de sonda esofágica. Não foram observados efeitos de forragem, nível de concentrado ou sua interação sobre as estimativas de recuperação fecal tanto dos indicadores internos, quanto dos indicadores externos. As estimativas de recuperação fecal média para o óxido crômico e para o dióxido de titânio foram de 99,50% e 101,95%, respectivamente. Para os indicadores internos observou-se recuperação fecal média de 99,02%, 98,87% e 102,07% para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente. Em todos os casos, as recuperações fecais foram iguais a 100%. Todos os indicadores avaliados foram considerados isentos de vício de tempo longo. Contudo, maior precisão foi verificada para as estimativas de excreção fecal obtidas com indicadores internos.

**Palavras chave:** dióxido de titânio, fibra em detergente ácido indigestível, fibra em detergente neutro indigestível, matéria seca indigestível, óxido crômico

---

<sup>1</sup> Artigo aprovado para publicação junto à Revista Brasileira de Zootecnia sob o protocolo 00266-09.

## **Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle**

**ABSTRACT** – The objective of this work was to estimate the total recovering and the long term bias of the estimates of fecal excretion using the external markers chromic oxide and titanium dioxide and the internal markers indigestible dry matter (iDM), indigestible neutral detergent fiber (iNDF) and indigestible acid detergent fiber (iADF) in a digestion assay with cattle fed different diets. Fourteen F1 Red Angus x Nellore bulls, averaging 12 months and 287 kg, were used. The animals were fed with elephant grass silage, corn silage or signal grass hay and supplemented or not with 20% of concentrate. The experiment consisted of two 13-days experimental periods according to a 2 x 2 Latin square design with seven squares. The animals received 10 g/d of chromic oxide and titanium dioxide through esophageal sound. There was no effect of forage, concentrate or their interaction on fecal recovering of external and internal markers. The average fecal recovering of chromic oxide and titanium dioxide were 99.50% and 101.95%, respectively. iDM, iNDF and iADF presented average fecal recovering of 99.02%, 98.87% and 102.07%, respectively. For all markers the fecal recovering was found to be 100% and all of them presented no long term bias. However, higher precision was observed for fecal excretion estimates obtained with internal markers.

**Keywords:** chromic oxide, indigestible acid detergent fiber, indigestible dry matter, indigestible neutral detergent fiber, titanium dioxide

## Introdução

A estimação de parâmetros da digestibilidade tem como ponto inicial a obtenção de seu complemento, a indigestibilidade aparente. Neste contexto, a excreção fecal constitui o parâmetro básico de indigestibilidade de um alimento ou dieta, uma vez que representa, ao menos aparentemente, a porção ingerida não aproveitada durante a passagem pelo trato gastrintestinal (Detmann et al., 2004). Contudo, devido à dificuldade de realização de coleta total de fezes em animais de grande porte, como bovinos, técnicas indiretas com o uso de indicadores são recomendadas.

Entre os indicadores externos, o óxido crômico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) é o mais utilizado; entretanto, alternativas à sua utilização têm sido demandadas em função de aspectos legais associados ao seu fornecimento a animais, uma vez que este não é aprovado pelo *Food and Drug Administration* (Titgemeyer et al., 2001).

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) tem sido empregado, com resultados satisfatórios, como alternativa ao óxido crômico em ensaios com animais não-ruminantes (Jagger et al., 1992; Short et al., 1996) verificando-se, atualmente, resultados promissores também com ruminantes (Titgemeyer et al., 2001; Myers et al., 2006; Glindemann et al., 2009). Este indicador apresenta a vantagem de não possuir limitações quanto à inclusão em rações para animais, sendo comum sua utilização em produtos destinados à alimentação humana.

Contudo, poucos resultados sobre a eficiência do dióxido de titânio são encontrados na literatura, restringindo-se a experimentos em condições temperadas (Titgemeyer et al., 2001; Myers et al., 2004; 2006; Glindemann et al., 2009), com poucos resultados produzidos em condições tropicais (Marcondes et al., 2006; 2008; Ferreira et al., 2009a; 2009b).

Por outro lado, os indicadores internos empregados em estudo de digestão com ruminantes englobam basicamente os resíduos indigestíveis dos alimentos, representados pela fração física matéria seca indigestível (MSi) ou pelas frações químicas fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) (Detmann et al., 2004).

As estimativas de produção fecal são obtidas por intermédio de relação de causa e efeito entre alimento/dieta e os eventos digestivos do trato gastrointestinal (Detmann et al., 2007); relação esta estabelecida pelo fato de que, à medida que o alimento transita pelo trato gastrointestinal, a concentração do indicador aumenta progressivamente pela remoção de outros componentes por digestão e absorção (Astigarraga, 1997).

A verificação das características ideais de indicadores deve centrar-se sobre questões relacionadas à recuperação desses após submissão aos eventos do trato gastrointestinal (Detmann et al., 2007). A incapacidade de um indicador em ser recuperado totalmente nas fezes é denominada vício de “tempo longo” ou vício de recuperação (Langlands et al., 1963; Detmann et al., 2007), constituindo característica inerente ao próprio indicador. Assim, um indicador somente pode ser utilizado de forma segura em estudos de digestão caso o mesmo possa ser considerado isento de vício de tempo longo (Detmann et al., 2007).

Resultados controversos têm sido apontados no tocante às estimativas dos parâmetros de digestão obtidas por diferentes indicadores (Detmann et al., 2001; Ítavo et al., 2002). Estes podem refletir interferências dietéticas, de precisão analítica e das características inerentes à dinâmica de fluxo de cada indicador.

Diante do exposto, objetivou-se estimar a recuperação total dos indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e dos indicadores internos MSi, FDNi e FDAi; e o vício de tempo longo das estimativas de excreção fecal obtidas com uso

destes indicadores em ensaio de digestão com bovinos alimentados com diferentes dietas.

### **Material e Métodos**

O experimento foi realizado nas dependências dos Laboratórios de Animais e de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e  $287\pm 36$  kg mantidos em baias individuais. A alimentação volumosa foi constituída por silagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) para seis animais, silagem de milho (*Zea mays*) para seis animais e feno de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) para dois animais. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, sendo os primeiros cinco dias destinados à adaptação dos animais. Previamente ao início do experimento os animais foram adaptados às instalações e condições experimentais por 14 dias.

No primeiro período experimental, metade dos animais em cada forragem foi suplementada com 20% de concentrado, com base na matéria seca (MS) total da dieta. No segundo período, realizou-se a inversão da suplementação concentrada entre os animais. O concentrado era composto por fubá de milho, farelo de soja e mistura mineral, balanceado para apresentar, aproximadamente, 30% de proteína bruta (PB), com base na MS.

As amostras de alimentos foram analisadas quanto aos teores de MS, matéria orgânica e fibra em detergente ácido, segundo métodos descritos por Silva & Queiroz (2002). Os teores de extrato etéreo foram obtidos por extração por éter de petróleo em extrator de gordura de alta eficiência (Ankom® XT15). Os teores de fibra em detergente



neutro foram obtidos segundo Mertens (2002), utilizando-se  $\alpha$ -amilase-termoestável e omitindo-se a utilização de sulfito de sódio. As correções da FDN no tocante às cinzas e proteína foram realizadas segundo Mertens (2002) e Licitra et al. (1996), respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química dos alimentos

Item	Alimento			
	Silagem de Milho	Silagem de Capim-Elefante	Feno de Braquiária	Concentrado
Matéria seca <sup>1</sup>	28,4	31,2	92,8	88,1
Matéria orgânica <sup>2</sup>	95,8	92,5	95,8	94,9
Proteína bruta <sup>2</sup>	6,1	4,4	4,4	29,5
Extrato etéreo <sup>2</sup>	3,6	1,5	1,3	1,1
FDNcp <sup>2 3</sup>	49,9	71,9	79,2	7,9
Fibra em detergente ácido <sup>2</sup>	29,9	56,8	55,2	13,2
Carboidratos não fibrosos <sup>2 4</sup>	36,2	14,7	10,9	56,4
MSi <sup>2 5</sup>	17,4	44,8	32,0	3,8
FDNi <sup>2 6</sup>	14,2	39,1	28,1	2,7
FDAi <sup>2 7</sup>	8,1	26,4	18,3	1,6

<sup>1</sup> % da matéria natural. <sup>2</sup> % da matéria seca. <sup>3</sup> FDNcp = fibra em detergente corrigida para cinzas e proteína. <sup>4</sup> CNF = MO – (PB + EE + FDNcp). <sup>5</sup> MSi = matéria seca indigestível. <sup>6</sup> FDNi = fibra em detergente neutro indigestível. <sup>7</sup> FDAi = fibra em detergente ácido indigestível.

Cada período de coletas teve duração de oito dias. No primeiro, quarto e sétimo dias realizou-se coleta total de fezes, iniciando-se às 7h00 e prolongando-se pelo período de 24 horas. As fezes foram coletadas durante defecação espontânea dos animais e acondicionadas em recipientes plásticos mantidos à sombra. Posteriormente, foram homogeneizadas e quantificadas, retirando-se alíquota de 10% do total (amostra representativa) a qual foi congelada (-20°C) para análises posteriores.

Durante todo o período experimental os animais receberam diariamente, às 12h00, doses de 10 g de óxido crômico e 10 g de dióxido de titânio por intermédio de sonda esofágica.

Para efeito de quantificação do consumo voluntário foram consideradas as amostras de alimentos obtidas entre o sexto e décimo segundo dias, e de sobras entre o sétimo e décimo terceiro dias de cada período experimental. As amostras de alimentos e sobras foram compostas por animal e período e congeladas (-20°C).

Posteriormente, as amostras de fezes, alimentos e sobras foram descongeladas em temperatura ambiente, secas em estufa com ventilação forçada (60°C) e processadas em moinho de facas (2 mm). Após este procedimento, as amostras fecais representativas obtidas via coleta total foram compostas com base no peso seco ao ar por animal e período. Posteriormente, todas as amostras foram quantificadas quanto aos teores de MS (Silva & Queiroz, 2002).

As amostras fecais foram avaliadas quanto aos teores de cromo e dióxido de titânio empregando-se técnicas de espectrofotometria de absorção atômica (Willians et al., 1962) e colorimetria (Myers et al., 2004), respectivamente.

Para quantificação da concentração de indicadores internos, as amostras de alimentos, sobras e fezes foram acondicionadas em triplicata em sacos de tecido não-tecido (TNT, 100g/m<sup>2</sup>; dimensão 4 x 5 cm), mantendo-se a relação de 25 mg/cm<sup>2</sup> de superfície, os quais foram, em seguida, selados por calor.

Os sacos foram incubados durante 264 horas (Casali et al., 2008) no rúmen de um bovino adulto alimentado com dieta baseada em silagem de capim-elefante e concentrados (80:20).

Após este período os sacos foram retirados, lavados em água corrente até o completo clareamento desta, secos seqüencialmente em estufa ventilada (60°C/72 horas) e não-ventilada (105°C/1 hora), acondicionados em dessecador e pesados, sendo o resíduo obtido considerado matéria seca indigestível (MSi). Ressalta-se que nos procedimentos de pesagem limitou-se o manejo de sacos no dessecador a 20 unidades, a

fim de se evitar problemas de acúmulo de umidade em função da higroscopicidade da fibra.

Posteriormente, os sacos foram submetidos à extração com detergente neutro, produzido conforme formulação sugerida por Mertens (2002), em aparelho analisador de fibras (Ankom<sup>200</sup>®) (100°C/1 hora). Após a extração, os sacos foram lavados seqüencialmente com água quente e acetona, sendo secos e pesados conforme o procedimento descrito anteriormente. O resíduo obtido foi considerado como fibra em detergente neutro indigestível (FDNi). Posteriormente, o mesmo procedimento foi realizado substituindo-se, contudo, o detergente neutro por detergente ácido (Goering & Van Soest, 1975), obtendo-se, assim, a fibra em detergente ácido indigestível (FDAi).

As excreções fecais de cromo, dióxido de titânio, MSi, FDNi e FDAi foram estimadas pelo produto entre a MS fecal total excretada por cada animal, em cada período, e a concentração dos indicadores nas amostras representativas de fezes, segundo a equação:

$$EFI = MF \times [I]_{AR} \quad (1);$$

em que: EFI = excreção fecal do indicador (kg/dia); MF = massa fecal quantificada por coleta total (kg/dia); e  $[I]_{AR}$  = concentração do indicador na amostra fecal representativa (kg/kg).

Logo, a recuperação fecal dos indicadores (%) foi calculada pela razão entre a estimativa de excreção fecal e a ingestão de cada indicador, dada por:

$$RF = \frac{EFI}{D} \times 100 \quad (2);$$

em que: RF = recuperação fecal indicador (%); EFI = excreção fecal do indicador (kg/dia); e D = dose ou consumo do indicador, considerando-se indicadores externos e internos, respectivamente (kg/dia).

Os valores de excreção fecal obtidos pela concentração fecal de indicadores foram estimados por:

$$EF_{AR} = \frac{D}{[I]_{AR}} \quad (3);$$

em que:  $EF_{AR}$  = excreção fecal estimada por intermédio da concentração do indicador na amostra fecal representativa (kg/dia);  $D$  = dose ou consumo do indicador, considerando-se indicadores externos e internos, respectivamente (kg/dia); e  $[I]_{AR}$  = concentração do indicador na amostra fecal representativa (kg/kg).

O experimento foi implementado e interpretado segundo delineamento em quadrado latino 2 x 2 (Cochran & Cox, 1957), com dois períodos experimentais e agrupamento de sete quadrados latinos, sendo três para as silagens de milho e capim-elefante e um para feno de capim-braquiária. Dentro de cada quadrado incluiu-se o nível de concentrado (0 ou 20%), aplicado de forma alternada aos animais de cada quadrado em cada período experimental. Desta forma, utilizou-se esquema fatorial 3 x 2 (três forragens e dois níveis de concentrado), de acordo com o modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + F_i + N_j + FN_{ij} + P_k + A_{(i)l} + \varepsilon_{ijkl} \quad (4);$$

em que:  $Y_{ijkl}$  = recuperação fecal do indicador mensurada no animal  $l$ , durante o período  $k$ , alimentado com a forragem  $i$  e com o nível de concentrado  $j$ ;  $\mu$  = constante geral;  $F_i$  = efeito da forragem  $i$  (fixo);  $N_j$  = efeito do nível de concentrado  $j$  (fixo);  $FN_{ij}$  = interação entre a forragem  $i$  e o nível de concentrado  $j$  (fixo);  $P_k$  = efeito do período experimental  $k$  (fixo);  $A_{(i)l}$  = efeito do animal  $l$  aninhado à forragem  $i$  (aleatório); e  $\varepsilon_{ijkl}$  = erro experimental não-observável, pressuposto NID (0;  $\sigma^2$ ).

As estimativas de recuperação fecal foram avaliadas por intermédio de análise de variância segundo o modelo descrito em (4) de forma independente para cada

indicador. Devido ao desbalanço quanto ao número de observações para cada forragem, foram empregadas somas de quadrados do tipo III (Littell et al., 1991).

A partir da estimativa de variância residual gerada pela análise de variância foram construídos intervalos de confiança para a recuperação média ( $1 - \alpha = 0,95$ ), admitindo-se haver recuperação fecal completa quando o valor paramétrico 100 estivesse contido nos intervalos gerados.

A verificação da ocorrência de vício de tempo longo nas estimativas de excreção fecal foi realizada utilizando-se ajustamento de equação de regressão linear retilínea, sendo o valor de excreção fecal obtido por coleta total considerado como variável dependente (Y) e a estimativa de excreção fecal obtida via concentração dos indicadores na amostra fecal representativa (Equação 3) considerada como variável independente (X).

A reta ajustada foi avaliada segundo as hipóteses estatísticas (Mayer et al., 1994):

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ e } \beta_1 = 1; H_a: \text{não } H_0$$

Para o caso de não rejeição da hipótese de nulidade concluiu-se ausência de vício de tempo longo.

Todos os procedimentos estatísticos foram realizados por intermédio do programa SAS (*Statistical Analysis System*), adotando-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I.

## **Resultados e Discussão**

Não foram observados efeitos de forragem, nível de concentrado ou sua interação ( $P > 0,05$ ) sobre as estimativas de recuperação fecal tanto dos indicadores internos,

quanto dos indicadores externos, indicando que a recuperação destes independe das características dietéticas.

As estimativas de recuperação fecal média para o óxido crômico e para o dióxido de titânio foram de 99,50% e 101,95%, respectivamente (Tabela 2). Para os indicadores internos observou-se recuperação fecal média de 99,02%, 98,87% e 102,07% para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente (Tabela 3). Em todos os casos, as recuperações fecais foram iguais a 100% ( $P>0,05$ ), indicando que todos os indicadores podem propiciar estimativas igualmente exatas da produção fecal considerando-se o aspecto de recuperação completa.

Tabela 2 - Estimativas de recuperação fecal e limites do intervalo de confiança ( $1-\alpha = 0,95$ ) para a recuperação fecal média do óxido crômico e do dióxido de titânio em função dos fatores analisados

Item	RF (%) <sup>1</sup>	Intervalo de confiança	
		Limite inferior	Limite superior
Óxido Crômico			
Silagem de capim- elefante	94,11	85,19	103,04
Silagem de milho	103,79	96,22	111,36
Feno de capim- braquiária	100,18	87,05	113,30
Concentrado 0%	97,51	89,17	105,84
Concentrado 20%	101,20	92,87	109,54
Média Geral	99,50	94,35	104,65
Dióxido de titânio			
Silagem de capim- elefante	103,76	96,25	111,27
Silagem de milho	100,43	92,92	107,93
Feno de capim- braquiária	101,08	88,07	114,09
Concentrado 0%	99,51	91,60	107,43
Concentrado 20%	104,00	96,08	111,91
Média Geral	101,95	97,04	106,87

<sup>1</sup> RF = recuperação fecal.

Independente do indicador, para todos os níveis de cada fator avaliado (forragem ou nível de concentrado) observou-se a inclusão do valor paramétrico 100% nos intervalos de confiança gerados, indicando recuperação fecal completa ( $P>0,05$ ) (Tabelas 2 e 3). O intervalo de confiança relativamente mais amplo observado para o feno de capim braquiária pode ser atribuído ao menor número de observações desta em relação às outras forragens ( $n = 4$ ).

Tabela 3 - Estimativas de recuperação fecal e limites do intervalo de confiança ( $1-\alpha = 0,95$ ) para a recuperação fecal média da MSi, FDNi e FDAi em função dos fatores analisados

Item	RF (%) <sup>1</sup>	Intervalo de confiança	
		Limite inferior	Limite superior
MSi			
Silagem de capim- elefante	97,49	92,06	102,92
Silagem de milho	103,50	98,06	108,93
Feno de capim braquiária	95,43	86,91	103,94
Concentrado 0%	97,45	92,25	102,62
Concentrado 20%	100,17	94,59	105,75
Média geral	99,02	95,68	102,36
FDNi			
Silagem de capim- elefante	97,56	91,73	103,39
Silagem de milho	103,46	99,84	107,08
Feno de capim- braquiária	93,73	85,02	102,44
Concentrado 0%	98,32	94,90	101,73
Concentrado 20%	98,17	92,58	103,76
Média Geral	98,87	96,52	101,20
FDAi			
Silagem de capim- elefante	98,76	90,25	107,26
Silagem de milho	110,47	99,48	121,46
Feno de capim- braquiária	92,48	70,17	114,09
Concentrado 0%	98,84	84,74	112,91
Concentrado 20%	102,08	92,06	112,16
Média Geral	102,07	96,18	107,96

<sup>1</sup> RF = recuperação fecal.

Os resultados aqui obtidos para o dióxido de titânio agregam àqueles verificados por Marcondes et al. (2006) e Ferreira et al. (2009b), que relataram estimativas de excreção fecal obtidas por dióxido de titânio similares às obtidas por coleta total de fezes em novilhas e vacas em lactação, respectivamente. De forma similar, Marcondes et al. (2008) e Ferreira et al. (2009a) observaram que o dióxido de titânio utilizado como indicador para estimar o consumo de concentrado individual de bovinos contribuiu para a obtenção de estimativas exatas do consumo total quando associado a outros indicadores. Semelhantemente ao aqui encontrado foi relatado por Titgemeyer et al. (2001), que verificaram em experimentos com bovinos, que as características dietéticas não afetaram a recuperação do dióxido de titânio.

Indicadores com recuperação dependente de características dietéticas podem representar fator de comprometimento das estimativas de coeficiente de digestibilidade em situações experimentais nas quais existam discrepâncias consideráveis das dietas avaliadas. Nestas situações, parte das diferenças entre os coeficientes de digestibilidade das dietas poderiam ser causadas por influências dietéticas sobre a recuperação do indicador, confundindo, de forma não contornável, as estimativas obtidas. Desta forma, uma das características desejáveis em um indicador ideal reside sobre a capacidade deste não afetar ou ser afetado pelo trato digestório ou sua população microbiana (Kotb & Luckey, 1972; Schneider & Flatt, 1975; Owens & Hanson, 1992), ou seja, não interagir com a dieta e seu aproveitamento no trato gastrintestinal.

A ausência de efeitos de diferentes situações alimentares sobre a recuperação fecal tanto para o óxido crômico, como para o dióxido de titânio, os qualificam frente a este quesito demandado por um indicador ideal. Logo, considerando-se sua recuperação fecal completa e a ausência de interações dietéticas, o dióxido de titânio poderia ser



recomendado em substituição ao óxido crômico, uma vez que apresentaram comportamento similar.

Por outro lado, a recuperação completa dos indicadores internos aqui avaliados os habilita a serem utilizados conjuntamente em experimentos nos quais se deseja mensurar o consumo individual de animais manejados em grupo, nos quais a técnica indireta requer o uso de ao menos dois indicadores externos, como destacado por Valadares Filho et al. (2006). Isto seria aplicável a animais confinados em baias coletivas ou animais manejados a pasto com fornecimento de suplementos em comedouros coletivos.

Por serem componentes naturais dos alimentos, os indicadores internos apresentam a vantagem de não introduzir influências negativas exóticas aos sistemas digestórios animal e microbiano (Detmann et al., 2007); ou seja, as possíveis limitações digestivas associadas às frações alimentares indigestíveis que constituem os indicadores são limitações naturais da dieta. Assim, seria plausível admitir que não haveria interferências dietéticas sobre a recuperação destes indicadores, como verificado neste estudo (Tabela 3). Contudo, embora similares em exatidão, verificou-se por intermédio dos coeficientes de variação da recuperação fecal menor variabilidade ou maior precisão para a FDNi em comparação à MSi e à FDAi (Figura 1).

Embora a utilização da MSi como indicador possa produzir resultados exatos, a presença de contaminantes pode vir a comprometer os resultados obtidos (Huhtanen et al., 1994), uma vez que não se utilizam detergentes para a limpeza do resíduo pós-incubação, o que limita assim a retirada de resíduos microbianos por ação aniônica (Van Soest, 1994; Clipes et al., 2006). A presença de resíduos aderidos aos sacos utilizados em incubação ruminal para estimação do teor de indicadores internos em alimentos foi relatada por Casali et al. (2009). A contaminação por resíduos microbianos parece não

ser constante entre materiais incubados (Casali et al., 2008) e, possivelmente, não ocorre de forma homogênea entre replicatas, o que incorreria em maior variabilidade dos resíduos e, conseqüentemente, em menor precisão para as estimativas de recuperação fecal da MSi em comparação à FDNi (Figura 1).

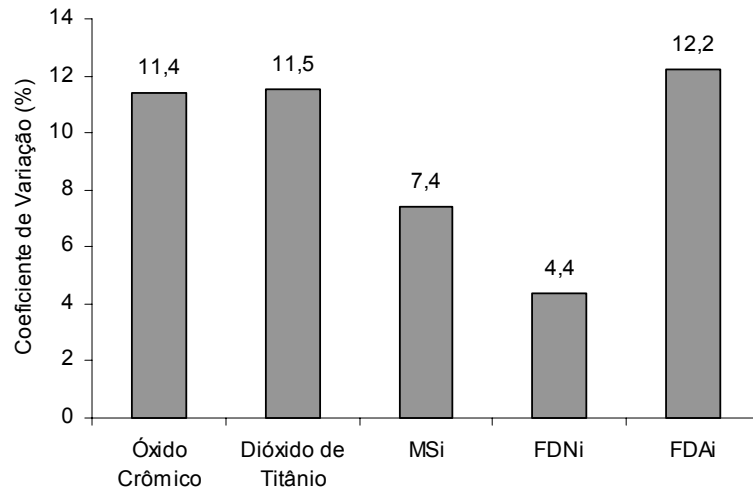


Figura 1 - Coeficientes de variação para a recuperação fecal dos diferentes indicadores.

A maior amplitude dos intervalos de confiança e a menor precisão da FDAi em comparação à FDNi pode ser atribuída à menor concentração de FDAi nas amostras de alimentos, sobras e fezes, em relação à FDNi, o que reduz a massa residual a ser quantificada em laboratório, tornando mais representativos os erros inerentes à quantificação de massa (e.g. pesagem). (Detmann et al., 2007). Sendo igualmente exatos, a aplicação da FDAi exigirá, portanto, maior rigor laboratorial, visando à ampliação da precisão dos resultados.

A avaliação do vício de tempo longo nas estimativas de excreção fecal foi realizada considerando-se todo o conjunto de dados em virtude da ausência de efeitos dietéticos sobre a recuperação fecal dos indicadores ( $P > 0,05$ ). Todos os indicadores

avaliados foram considerados isentos de vício de tempo longo ( $P>0,05$ ) (Tabela 4; Figuras 2 e 3).

Tabela 4 - Estimativas de parâmetros de regressão para a relação entre valores preditos (variável independente) e observados (variável dependente) de excreção fecal (kg/dia) em função dos diferentes indicadores

Indicador	Parâmetros da Regressão			r <sup>2</sup>	Média	VTL <sup>2 3</sup>
	Intercepto	Coef. de Inclinação	Valor-P <sup>1</sup>			
Óxido Crômico	0,0914	0,9296	0,1841	0,9432	1,740	-0,040 <sup>ns</sup>
Dióxido de Titânio	-0,0478	1,0494	0,3842	0,9184	1,742	-0,038 <sup>ns</sup>
MSi	0,0786	0,9378	0,1305	0,9612	1,798	+0,018 <sup>ns</sup>
FDNi	0,0708	0,9373	0,1147	0,9646	1,721	-0,059 <sup>ns</sup>
FDAi	0,0898	0,9562	0,5748	0,9500	1,760	-0,020 <sup>ns</sup>
Coleta Total	-	-	-	-	1,780	-

<sup>1</sup> H<sub>0</sub>:  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ ; H<sub>a</sub>: não H<sub>0</sub>. <sup>2</sup> VTL = vício de tempo longo (kg MS fecal/dia). <sup>3</sup> (ns) = não-significativo ( $P>0,05$ ).

O vício total no processo de estimação da excreção fecal (e posteriormente do coeficiente de digestibilidade) por intermédio de indicadores é compreendido pela diferença entre a estimativa obtida e o valor real de excreção fecal (Langlands et al., 1963), expresso pela equação:

$$VT = EFgs - EFR \quad (5);$$

em que: VT = vício total; EFgs = excreção fecal estimada por *grab samples* ou amostras pontuais tomadas diretamente no reto dos animais; e EFR = excreção fecal real obtida por coleta total de fezes.

Por modificações na equação descrita em (5), pode-se fracionar o vício total do processo de estimação da excreção fecal em dois diferentes componentes, conforme a equação:

$$VT = (EFgs - EFar) + (EFar - EFR) = VTC + VTL \quad (6);$$

em que: EFar = excreção fecal estimada por intermédio de amostra representativa do total de fezes excretadas; VTL = vício de tempo longo; e VTC = vício de tempo curto.

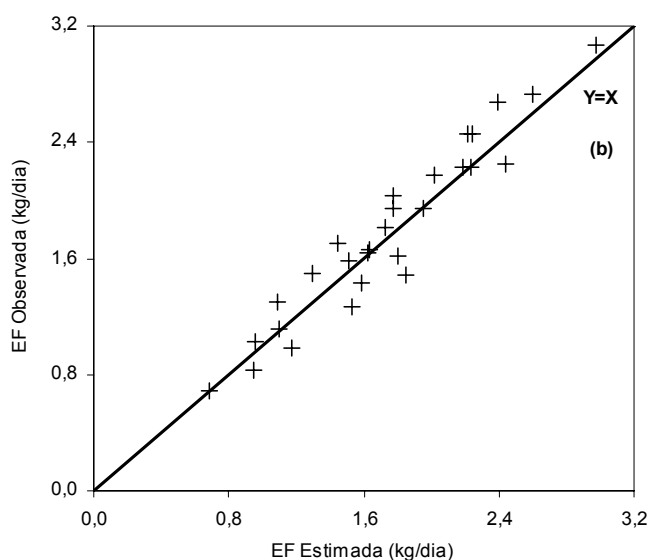
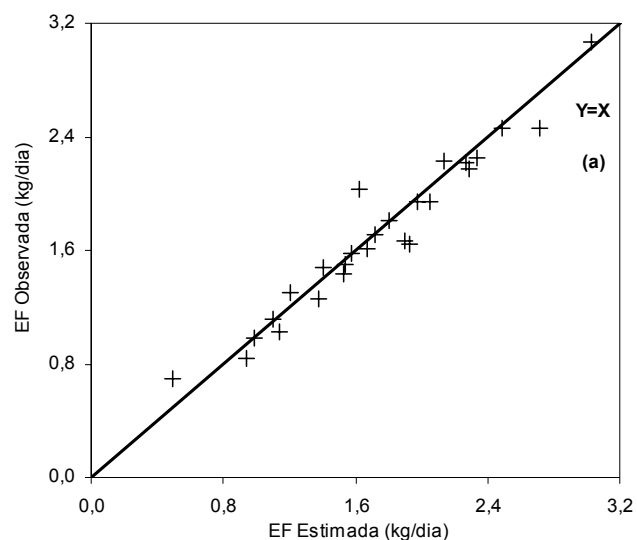


Figura 2 - Relação entre excreção de matéria seca fecal (EF) obtida por coleta total de fezes (observada) e estimada via amostra fecal representativa utilizando-se os indicadores óxido crômico (a) e dióxido de titânio (b).

De acordo com a equação (6), define-se como vício de tempo curto a porção do vício total da estimativa de excreção fecal (ou da recuperação do indicador) relativa à obtenção de amostras fecais pontuais (*grab samples*) não representativas do total de fezes excretadas (Langlands et al., 1963), principalmente no tocante à concentração

média do indicador. Neste contexto, sua dimensão é dependente diretamente da eficiência do delineamento ou esquema de amostragem fecal adotado.

Por outro lado, o vício de tempo longo, segundo a equação (6), é definido como a capacidade do indicador em ser excretado em quantidade similar à consumida (Langlands et al., 1963), sendo esta característica inerente ao próprio indicador.

Quando um indicador apresenta vício de tempo longo nulo, sua aplicação é segura em estudos com ruminantes, uma vez que as limitações no tocante ao vício total (Equação 6) poderão ser sanadas por adequações no procedimento de amostragem fecal, responsáveis pelo vício de tempo curto (Detmann et al., 2007). Contudo, nos casos em que um indicador apresente vício de tempo longo significativo, sua aplicação pode ser comprometedoras em estudos de digestão (Detmann et al., 2007), uma vez que não apresentará a característica de recuperação total demandada para um indicador ideal (Kotb & Luckey, 1972; Owens & Hanson, 1992).

De outra forma, o vício de tempo longo indica a influência dos desvios na recuperação fecal do indicador sobre as estimativas de produção fecal, os quais são estatisticamente avaliados, segundo Detmann et al. (2007), pela presença de desvio da reta de mínimos quadrados entre valores observados e preditos de excreção fecal em relação à reta representativa da relação de igualdade ( $Y = X$ ) (Figuras 2 e 3).

Tanto para os indicadores externos quanto para os internos avaliados, verificou-se que a reta de mínimos quadrados ajustada para a relação descrita acima se mostrou similar ( $P > 0,05$ ) à condição de igualdade ( $Y = X$ ), indicando ausência de vício de tempo longo ( $P > 0,05$ ) e corroborando os resultados relativos à recuperação fecal (Tabelas 2 e 3).

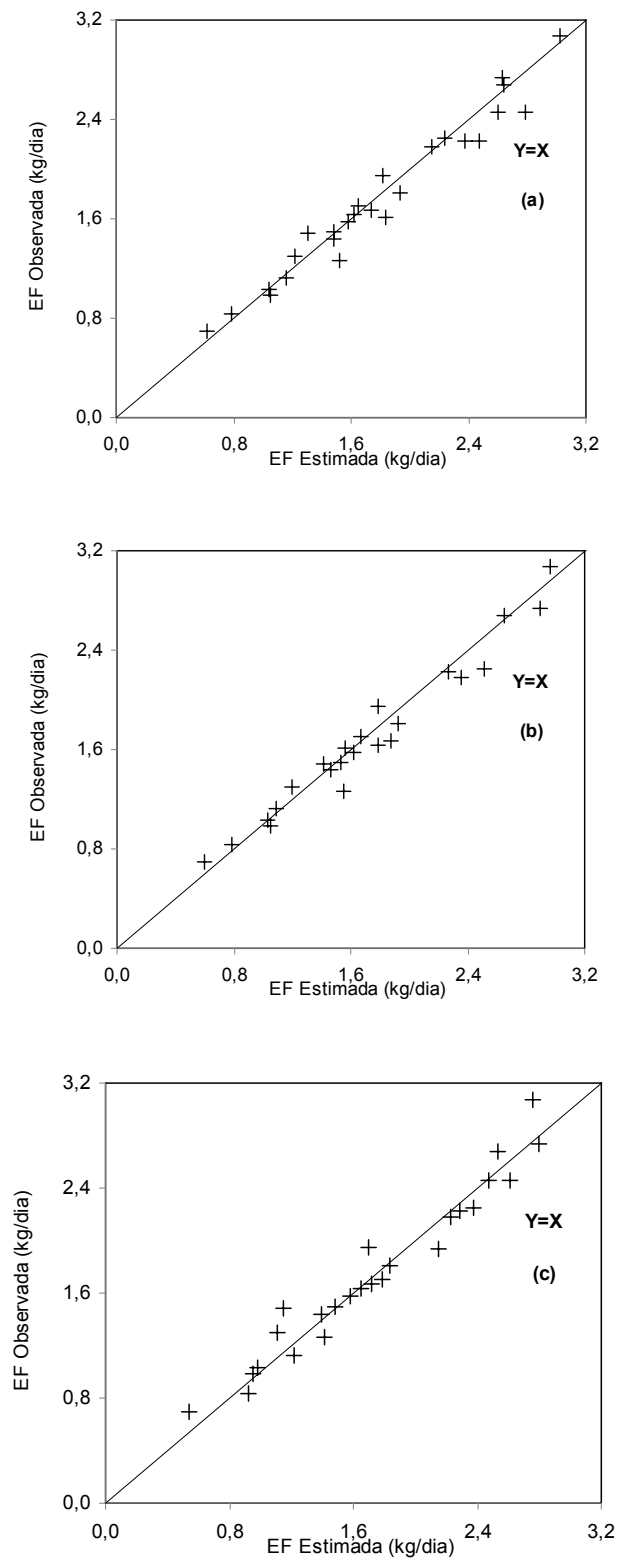


Figura 3 - Relação entre excreção de matéria seca fecal (EF) obtida por coleta total de fezes (observada) e estimada via amostra fecal representativa utilizando-se os indicadores MSi (a), FDNi (b) e FDAi (c).

Os maiores coeficientes de determinação para a relação entre valores preditos e observados para os indicadores internos (Tabela 4), indica que, em sendo todos os indicadores igualmente exatos, assume-se que maior precisão é observada com indicadores internos.

A capacidade de fluir paralelamente ou ser fisicamente similar ou se associar intimamente com o material a ser avaliado tem sido descrita como uma das características ideais para indicadores (Owens & Hanson, 1992). Por serem componentes naturais dos alimentos, espera-se que o fluxo de indicadores internos seja naturalmente similar ao da dieta. Contudo, problemas com diferenças entre o fluxo da dieta e de indicadores externos são comumente relatados, notoriamente para o óxido crômico, os quais envolvem mixagem incompleta no rúmen (Corbett et al., 1959), fluxo superior ao do material fibroso (Van Soest, 1994) e acúmulo em algum segmento do trato digestivo (Schneider & Flatt, 1975). Desta forma, as peculiaridades do fluxo dos indicadores externos parecem estar associadas à sua menor precisão em relação aos internos (Tabela 4).

Considerando-se apenas os indicadores externos, a avaliação da dispersão dos pares ordenados referentes à relação entre valores preditos e observados de excreção fecal (Figura 2), indica que o dióxido de titânio incorreu em estimativas de excreção fecal menos precisas em relação ao óxido crômico, fato confirmado pelas estimativas dos coeficientes de determinação (Tabela 4). Esta maior variabilidade pode advir de características do método de análise laboratorial do dióxido de titânio, o qual envolve a pesagem direta de amostras do indicador para o estabelecimento de padrões colorimétricos em quantidades extremamente pequenas (e portanto, com alta susceptibilidade a erros de pesagem).

## Conclusões

Os indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e os indicadores internos matéria seca indigestível, fibra em detergente neutro indigestível e fibra em detergente ácido indigestível produzem estimativas de excreção fecal isentas de vícios atribuídos à recuperação fecal do indicador frente a diferentes situações dietéticas. Contudo, os indicadores internos apresentam maior precisão em comparação aos externos.

## Referências

- ASTIGARRAGA, L. Técnicas para la medición del consumo de rumiantes en pastoreo. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 1997. p.1-23.
- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.
- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.130-138, 2009.
- CLIPES, R.C.; DETMANN, E.; COELHO DA SILVA, J.F. et al. Evaluation of acid detergent insoluble protein as an estimator of rumen non-degradable protein in tropical grass forages. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.694-697, 2006.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental designs**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1957. 611p.
- CORBETT, J.L.; GREENHALGH, J.F.D.; FLORENCE, E. Distribution of chromium sesquioxide and polyethyleneglycol in the reticulum-rumen of cattle. **British Journal of Nutrition**, v.13, p.337-345, 1959.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1600-1609, 2001.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. et al. Avaliação da técnica dos indicadores na estimação do consumo por ruminantes em pastejo. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, v.46, p.40-57, 2004.
- DETMANN, E.; SOUZA, A.L.; GARCIA, R. et al. Avaliação do vício de tempo longo de indicadores internos em ensaio de digestão com ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.182-188, 2007.
- FERREIRA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I. et al. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1568-1573, 2009a.



- FERREIRA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, L.F.C. et al. Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: estimativa de consumos de concentrado e de silagem de milho por vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1574-1580, 2009b.
- GLINDEMANN, T., TAS, B.M.; WANG, C. et al. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.152, p.186-197, 2009.
- GOERING, H.K.; Van SOEST, P.J. **Forage fiber analyses** (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Washington, D.C.: USDA, 1975. 20p. (Agricultural Handbook 379)
- HUHTANEN, P.; KAUSTELL, K.; JAAKKOLA, S. The use of internal markers to predict digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.211-227, 1994.
- ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. Comparação de indicadores e metodologia de coleta para estimativas de produção fecal e fluxo da digesta em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1833-1839, 2002.
- JAGGER, S.; WISEMAN, J.; COLE, D.J.A. et al. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and fecal apparent digestibility values in the pig. **British Journal of Nutrition**, v.68, p.729-739, 1992.
- KOTB, A.R.; LUCKEY, T.D. Markers in nutrition. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.42, p.813-845, 1972.
- LANGLANDS, J.P.; CORBETT, J.L.; McDONALD, I. et al. Estimation of the faeces output of grazing animals from the concentration of chromium sesquioxide in a sample of faeces. I. Comparison of estimates from samples taken at fixed times of day with faeces outputs measured directly. **British Journal of Nutrition**, v.17, p.211-218, 1963.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LITTELL, R.C.; FREUND, R.J.; SPECTOR, P.C. **SAS system for linear models**. Cary: SAS Institute, 1991. 329p.
- MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; BRITO, A.F. et al. Uso de diferentes indicadores para estimar a produção fecal e avaliar o consumo individual de concentrado e volumoso em novilhas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006 (CD-ROM).
- MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R. et al. Consumo e desempenho de animais alimentados individualmente ou em grupo e características de carcaça de animais Nelore de três classes sexuais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.2243-2250, 2008.
- MAYER, D.G.; STUART, M.A.; SWAIN, A.J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, v.45, p.93-104, 1994.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.
- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Technical note: a procedure for preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, v.82, p.179-193, 2004.

- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Excretion patterns of titanium dioxide and chromic oxide in duodenal digesta and feces of ewes. **Small Ruminant Research**, v.63, p.135-141, 2006.
- OWENS, F.N.; HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2605-2617, 1992.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SCHNEIDER, B.H.; FLATT, W.P. **The evaluation of feeds through digestibility experiments**. Athens: The University of Georgia Press, 1975. 423p.
- SHORT, F.J.; GORTON, P.; WISEMAN, J. et al. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. **Animal Feed Science and Technology**, v.59, p.215-221, 1996.
- TITGEMEYER, E.C.; ARMENDARIZ, C.K.; BINDEL, D.J. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1059-1063, 2001.
- VALADARES FILHO, S.C; MORAES, E.H.B.K.; DETMANN, E. et al. Perspectivas do uso de indicadores para estimar o consumo individual de bovinos alimentados em grupo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.291-322, 2006 (Suplemento Especial).
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J; IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agricultural Science**, v.59, p.381-385, 1962.

## **Perfil de excreção fecal e vício de tempo curto de indicadores internos e externos em ensaio de digestão com bovinos<sup>2</sup>**

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar o perfil de excreção fecal e o vício de tempo curto dos indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e dos indicadores internos matéria seca indigestível (MSi), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) em ensaio de digestão com bovinos alimentados com diferentes dietas. Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e 287 kg, mantidos em baias individuais. Os animais foram alimentados com silagem de capim elefante, silagem de milho ou feno de capim braquiária, suplementados ou não com 20% de concentrado. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, segundo delineamento em quadrado latino 2 x 2, com agrupamento de sete quadrados. Os animais receberam diariamente 10 g de óxido crômico e 10 g de dióxido de titânio através de sonda esofágica. Foram realizadas coletas fecais pontuais (*grab samples*), diretamente do reto dos animais nos horários de 1h30, 3h00, 4h30 e 6h00, 7h30, 9h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30 e 24h00. Não foram verificados efeitos das diferentes forragens ou níveis de concentrado sobre a dimensão do ciclo excretório. O período fundamental do ciclo excretório foi de 15,06 e 18,66 horas para o óxido crômico e dióxido de titânio, e de 9,93; 9,29 e 10,55 horas para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente. Verificou-se maior amplitude de oscilação para os indicadores externos. Considerando-se conjuntamente as características dos indicadores avaliados, recomenda-se delineamentos de amostragem fecal com o mínimo de quatro coletas, sendo estas distribuídas ao longo do dia ou somente no período diurno, para a obtenção de estimativas de excreção fecal isentas de vício de tempo curto.

**Palavras chave:** dióxido de titânio, fibra em detergente ácido indigestível, fibra em detergente neutro indigestível, matéria seca indigestível, óxido crômico

---

<sup>2</sup> Artigo em tramitação junto à Revista Brasileira de Zootecnia sob o protocolo 00359-09.

## **Fecal excretion profile and short term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle**

**ABSTRACT** – The objective of this work was to evaluate the fecal excretion profile and the short term bias of the estimates of fecal excretion using the external markers chromic oxide and titanium dioxide and the internal markers indigestible dry matter (iDM), indigestible neutral detergent fiber (iNDF) and indigestible acid detergent fiber (iADF) in a digestion assay with cattle fed different diets. Fourteen F1 Red Angus x Nelore bulls, averaging 12 months and 287 kg and kept in individual stalls, were used. The animals were fed with elephant grass silage, corn silage or signal grass hay and supplemented or not with 20% of concentrate. The experiment consisted of two 13-days experimental periods according to a 2 x 2 Latin square design with seven squares. The animals received 10 g/d of chromic oxide and titanium dioxide through esophageal sound. Fecal grab samples were obtained at 1h30, 3h00, 4h30 e 6h00, 7h30, 9h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30 and 24h00. There were no effects of forages and concentrate levels on excretory cycle of markers. The fundamental periods of excretory cycle were 15.06 and 18.66 hours for chromic oxide and titanium dioxide, and 9.93, 9.29 and 10.55 hours for iDM, iNDF and iADF, respectively. The oscillation range was higher for external markers. Considering the characteristics of all markers, it is recommended fecal sampling designs with at least four collects, which can be distributed along day or along diurnal period. This recommendation looks for avoiding short term bias on fecal excretion estimates.

**Keywords:** chromic oxide, indigestible acid detergent fiber, indigestible dry matter, indigestible neutral detergent fiber, titanium dioxide

## Introdução

A estimação dos coeficientes de digestibilidade aparente de alimentos ou dietas tem como ponto inicial a obtenção de seu complemento, a indigestibilidade aparente. Neste contexto, a excreção fecal constitui o parâmetro básico de indigestibilidade, uma vez que representa, ao menos aparentemente, a porção ingerida não aproveitada durante a passagem pelo trato gastrintestinal (Detmann et al., 2004).

Como a mensuração direta da excreção fecal de um animal por coleta total de fezes é laboriosa e pouco prática, a utilização de indicadores é recomendada em estudos com bovinos.

Dos indicadores externos, o óxido crômico ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) é o mais utilizado; contudo alternativas ao seu uso têm sido estudadas principalmente por aspectos associados à sua provável atividade cancerígena (Myers et al., 2006) e à sua não aprovação para inclusão em dietas de animais pelo *Food and Drug Administration* (Titgemeyer et al., 2001).

O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) tem sido sugerido como alternativa ao óxido crômico em estudos de digestão com ruminantes (Titgemeyer et al., 2001; Myers et al., 2006; Glindemann et al., 2009; Sampaio et al., 2010). Este indicador apresenta a vantagem de não possuir limitações quanto à inclusão em rações para animais, sendo comum sua inclusão em produtos destinados à alimentação humana (Sampaio et al., 2010).

Quanto aos indicadores internos, os resíduos indigestíveis dos alimentos são os mais utilizados em estudos com ruminantes, sendo comumente representados pela fração física matéria seca indigestível (MSi) ou pelas frações químicas fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e fibra em detergente ácido indigestível (FDAi) (Detmann et al., 2004). A base para utilização destes reside sobre o fato de que, à medida que o alimento transita pelo trato gastrintestinal, a concentração do indicador

aumenta progressivamente pela remoção de outros componentes por digestão e absorção.

A estimação da concentração fecal diária de indicadores nas fezes de ruminantes é freqüentemente obtida por análises de pequenas amostras obtidas manualmente no reto, em um ou dois horários fixos do dia (Detmann et al., 2001; Ítavo et al., 2002). Entretanto, a possibilidade de ocorrerem vícios nas estimativas de concentração fecal por erros amostrais deve ser considerada.

O vício de uma estimativa de excreção fecal obtida por intermédio de indicadores pode ser subdividido em dois diferentes componentes: vício de tempo longo e vício de tempo curto (Langlands et al., 1963).

O vício de tempo longo, também denominado vício de recuperação, se refere à incapacidade de um indicador em ser recuperado totalmente nas fezes (Langlands et al., 1963, Detmann et al., 2007a), constituindo característica inerente ao próprio indicador. Assim, um indicador somente pode ser utilizado de forma segura em estudos de digestão, caso o mesmo possa ser considerado isento de vício de tempo longo (Detmann et al., 2007a).

Por sua vez, o vício de tempo curto se refere à porção do vício de uma estimativa de produção fecal relacionada a falhas ou inconsistências no procedimento de obtenção de amostras fecais representativas do total de fezes excretadas (Langlands et al., 1963). Sua eliminação depende diretamente da eficiência do delineamento de amostragem fecal adotado.

Em alguns estudos conduzidos no Brasil foram obtidas estimativas confiáveis do vício total de recuperação de indicadores (Berchielli et al., 2000; Zeoula et al 2002; Cabral et al., 2008). Contudo, a avaliação deste parâmetro pode não contribuir efetivamente para a diferenciação das limitações do indicador empregado no tocante a

falhas em sua recuperação fecal ou a deficiências no delineamento de amostragem de fezes adotado.

Informações que possam subsidiar efetivamente a utilização de delineamentos de amostragem fecal que minimizem a ocorrência de vício de tempo curto ainda são restritas a trabalhos nos quais apenas a dinâmica de excreção do óxido crômico foi estudada (Smith & Reid, 1955; Brisson et al., 1957; Hopper et al., 1978; Prigge et al., 1981).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o perfil excretório diário e estimar o vício de tempo curto a partir de diferentes delineamentos de amostragem fecal dos indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e dos indicadores internos MSI, FDNi e FDAi em bovinos alimentados com diferentes dietas.

### **Material e Métodos**

O experimento foi realizado nas dependências dos Laboratórios de Animais e de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e  $287\pm 36$  kg, mantidos em baias individuais com piso de concreto emborrachado e bebedouro. A alimentação volumosa foi constituída por silagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) para seis animais, silagem de milho (*Zea mays*) para seis animais e feno de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) para dois animais. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, sendo os cinco primeiros dias destinados à adaptação dos animais. Previamente ao início do experimento os animais foram adaptados às instalações e condições experimentais por 14 dias.

No primeiro período experimental, metade dos animais em cada forragem foi suplementada com 20% de concentrado, com base na matéria seca (MS) total da dieta. No segundo período, realizou-se a inversão da suplementação concentrada entre os animais. O concentrado era composto por fubá de milho, farelo de soja e mistura mineral, balanceado para apresentar, aproximadamente, 30% de proteína bruta (PB), com base na MS.

As amostras de alimentos foram analisadas quanto aos teores de MS, matéria orgânica e fibra em detergente ácido, segundo métodos descritos por Silva & Queiroz (2002). Os teores de extrato etéreo foram obtidos por extração por éter de petróleo em extrator de gordura de alta eficiência (Ankom® XT15). Os teores de fibra em detergente neutro foram obtidos segundo Mertens (2002), utilizando-se  $\alpha$ -amilase-termoestável e omitindo-se a utilização de sulfito de sódio. As correções da FDN no tocante às cinzas e proteína foram realizadas segundo Mertens (2002) e Licitra et al. (1996), respectivamente. A composição química das forragens e do concentrado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química dos alimentos

Item <sup>1</sup>	Alimento			
	Silagem de Milho	Silagem de Capim-Elefante	Feno de Braquiária	Concentrado
MS (%)	28,4	31,2	92,8	88,1
MO (% da MS)	95,8	92,5	95,8	94,9
PB (% da MS)	6,1	4,4	4,4	29,5
EE (% da MS)	3,6	1,5	1,3	1,1
FDNcp (% da MS)	49,9	71,9	79,2	7,9
FDA (% da MS)	29,9	56,8	55,2	13,2
CNF <sup>2</sup> (% da MS)	36,2	14,7	10,9	56,4
MSi <sup>3</sup> (% da MS)	17,4	44,8	32,0	3,8
FDNi <sup>4</sup> (% da MS)	14,2	39,1	28,1	2,7
FDAi <sup>5</sup> (% da MS)	8,1	26,4	18,3	1,6

<sup>1</sup> MS = matéria seca; MO = matéria orgânica. PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDNcp = fibra em detergente corrigida para cinzas e proteína; FDA = fibra em detergente ácido; CNF = carboidratos não-fibrosos. <sup>2</sup> CNF = MO - (PB + EE + FDNcp). <sup>3</sup> MSi = matéria seca indigestível. <sup>4</sup> FDNi = fibra em detergente neutro indigestível. <sup>5</sup> FDAi = fibra em detergente ácido indigestível.



Durante todo o período experimental os animais receberam diariamente, às 12h00, doses de 10 g de óxido crômico e 10 g de dióxido de titânio por intermédio de sonda esofágica.

Cada período de coletas teve duração de oito dias. No primeiro, quarto e sétimo dias, realizou-se coleta total de fezes, iniciando-se às 7h00 e prolongando-se pelo período de 24 horas. As fezes foram coletadas durante defecação espontânea dos animais e acondicionadas em recipientes plásticos mantidos à sombra. Posteriormente, foram homogeneizadas e quantificadas, retirando-se alíquota de 10% do total (amostra representativa) a qual foi congelada (-20°C) para análises posteriores.

No segundo, quinto e oitavo dias realizaram coletas fecais pontuais (*grab samples*), nos horários de 7h30, 9h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30, 24h00, 1h30, 3h00, 4h30 e 6h00. As amostras foram tomadas diretamente no reto dos animais, acondicionadas em sacos plásticos e congeladas (-20°C).

Para efeito de quantificação do consumo voluntário foram consideradas as amostras de alimentos obtidas entre o sexto e décimo segundo dias, e de sobras entre o sétimo e décimo terceiro dias de cada período experimental. As amostras de alimentos e sobras foram compostas por animal e período e congeladas (-20°C).

Posteriormente, as amostras de fezes, alimentos e sobras foram descongeladas em temperatura ambiente, secas em estufa com ventilação forçada (60°C) e processadas em moinho de facas (2 mm). Após este procedimento, as amostras fecais representativas obtidas via coleta total foram compostas com base no peso seco ao ar por animal e período. Posteriormente, todas as amostras foram quantificadas quanto aos teores de MS (Silva & Queiroz, 2002).

As compostas de amostras fecais representativas e as amostras fecais pontuais foram avaliadas quanto aos teores de cromo e dióxido de titânio empregando-se técnicas de espectrofotometria de absorção atômica (Willians et al., 1962) e colorimetria (Myers et al., 2004), respectivamente.

Para quantificação da concentração de indicadores internos, as amostras de alimentos, sobras e fezes foram acondicionadas em triplicata em sacos de tecido não-tecido (TNT, 100g/m<sup>2</sup>; dimensão 4 x 5 cm), mantendo-se a relação de 25 mg/cm<sup>2</sup> de superfície, os quais foram, em seguida, selados por calor.

Os sacos foram incubados durante 264 horas (Casali et al., 2008) no rúmen de um bovino adulto alimentado com dieta baseada em silagem de capim-elefante e concentrados (80:20).

Após este período os sacos foram retirados, lavados em água corrente até o completo clareamento desta, secos seqüencialmente em estufa ventilada (60°C/72 horas) e não-ventilada (105°C/1 hora), acondicionados em dessecador e pesados, sendo o resíduo obtido considerado matéria seca indigestível (MSi). Ressalta-se que nos procedimentos de pesagem limitou-se o manejo de sacos no dessecador a 20 unidades, a fim de se evitar problemas de acúmulo de umidade em função da higroscopicidade da fibra.

Posteriormente, os sacos foram submetidos à extração com detergente neutro, produzido conforme formulação sugerida por Mertens (2002), em aparelho analisador de fibras (Ankom<sup>200</sup>®) (100°C/1 hora). Após a extração, os sacos foram lavados seqüencialmente com água quente e acetona, sendo secos e pesados conforme o procedimento descrito anteriormente. O resíduo obtido foi considerado como fibra em detergente neutro indigestível (FDNi). Posteriormente, o mesmo procedimento foi

realizado substituindo-se, contudo, o detergente neutro por detergente ácido (Goering & Van Soest, 1975), obtendo-se, assim, a fibra em detergente ácido indigestível (FDAi).

Para avaliação do perfil nictemeral de excreção fecal dos indicadores, os valores de concentração fecal obtidos nas amostras pontuais foram submetidos ao ajustamento da função não-linear em série de Fourier em esquema de polinômio trigonométrico em função do momento de amostragem (Detmann et al., 2007b), descrita por:

$$Y_t = A_0 + \sum_{k=1}^K [A_k \times \text{sen}(k \times c \times t) + B_k \times \text{cos}(k \times c \times t)] \quad (1);$$

em que:  $Y_t$  = concentração estimada do indicador no momento de amostragem “t” (% da MS);  $A_0$  = concentração fecal média do indicador (% da MS);  $A_k$  e  $B_k$  = parâmetros sem interpretação biológica direta;  $c$  = dimensão fundamental do ciclo excretório (rad/h);  $k$  = indexador referente à série de Fourier, sendo inteiro e positivo, variando de 1 a  $k$ ; e  $t$  = momento de amostragem (horário).

Antecipa-se que para todas as seqüências avaliadas, os ajustamentos foram considerados adequados adotando-se  $k = 2$ . Assim, o modelo descrito em (1) assumiu a forma:

$$Y_t = A_0 + A_1 \times \text{sen}(c \times t) + B_1 \times \text{cos}(c \times t) + A_2 \times \text{sen}(2 \times c \times t) + B_2 \times \text{cos}(2 \times c \times t) \quad (2).$$

Sendo  $k = 2$ , estimou-se o período fundamental do ciclo excretório como (Detmann et al., 2007b):

$$P = \frac{2\pi}{kc} = \frac{\pi}{c} \quad (3);$$

em que:  $P$  = período fundamental do ciclo excretório (h); sendo os demais termos definidos anteriormente.

Para os ajustamentos não-lineares relativos à equação (2) utilizou-se o algoritmo iterativo de Gauss-Newton implementado no PROC NLIN do SAS. A comparação entre diferentes situações de alimentação (volumosos e nível de concentrado) foi realizada

por intermédio da distribuição de  $\chi^2$ , segundo o teste de identidade de modelos não-lineares proposto por Regazzi (2003) de forma independente para cada indicador ( $n = 1344$ ). Neste caso, duas hipóteses foram avaliadas: diferença entre forragens e diferença entre níveis de concentrado.

Ressalta-se que o teste supracitado foi aplicado somente ao parâmetro “c”, uma vez que este representa a influência da situação de alimentação sobre a dinâmica excretória do indicador. Os parâmetros  $A_k$  e  $B_k$  não foram avaliados por não apresentarem sentido biológico (Equação 1). De outra forma, as concentrações médias do indicador ( $A_0$ ) não foram comparadas, pois essas dependem diretamente da concentração dietética. Logo, diferenças de concentração entre situações de alimentação seriam naturalmente observadas.

Os valores de excreção fecal obtidos pela concentração fecal de indicadores nas amostras representativas foram estimados por:

$$EF_{AR} = \frac{D}{[I]_{AR}} \quad (4);$$

em que:  $EF_{AR}$  = excreção fecal estimada por intermédio da concentração do indicador na amostra fecal representativa (g/dia);  $D$  = dose ou consumo do indicador, considerando-se indicadores externos e internos, respectivamente (g/dia); e  $[I]_{AR}$  = concentração do indicador na amostra fecal representativa (g/g).

A partir das amostras pontuais de fezes, foram definidos diferentes delineamentos de amostragem fecal combinando-se as concentrações fecais dos indicadores em diferentes momentos de amostragem (Tabela 2). Desta forma, as estimativas de excreção fecal por amostras pontuais (*grab samples*) para cada delineamento foram obtidas por:

$$EF_{GS} = \frac{D}{[I]_{GS}} \quad (5);$$

em que:  $EF_{GS}$  = excreção fecal estimada por intermédio da concentração do indicador nas amostras pontuais (*grab samples*) em função do delineamento de amostragem fecal (g/dia);  $D$  = dose ou consumo do indicador, considerando-se indicadores externos e internos, respectivamente (g/dia); e  $[I]_{GS}$  = concentração do indicador nas amostras pontuais (*grab samples*) em função do delineamento de amostragem fecal (g/g).

O experimento foi implementado e interpretado segundo delineamento em quadrado latino 2 x 2 (Cochran & Cox, 1957), com dois períodos experimentais e agrupamento de sete quadrados latinos, sendo três para as silagens de milho e capim-elefante e um para feno de capim-braquiária. Dentro de cada quadrado incluiu-se o nível de concentrado (0 ou 20%), aplicado de forma alternada aos animais de cada quadrado em cada período experimental. Desta forma, utilizou-se esquema fatorial 3 x 2 (três forragens e dois níveis de concentrado), de acordo com o modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + F_i + N_j + FN_{ij} + P_k + A_{(i)l} + \varepsilon_{ijkl} \quad (6);$$

em que:  $Y_{ijkl}$  = excreção fecal estimada no animal  $l$ , durante o período  $k$ , alimentado com a forragem  $i$  e com o nível de concentrado  $j$ ;  $\mu$  = constante geral;  $F_i$  = efeito da forragem  $i$  (fixo);  $N_j$  = efeito do nível de concentrado  $j$  (fixo);  $FN_{ij}$  = interação entre a forragem  $i$  e o nível de concentrado  $j$  (fixo);  $P_k$  = efeito do período experimental  $k$  (fixo);  $A_{(i)l}$  = efeito do animal  $l$  aninhado à forragem  $i$  (aleatório); e  $\varepsilon_{ijkl}$  = erro experimental não-observável, pressuposto NID (0;  $\sigma^2$ ).

A verificação da ocorrência de vício de tempo curto nas estimativas de excreção fecal foi realizada subdividindo-se as parcelas experimentais em função das estimativas de excreção fecal obtidas pela concentração dos indicadores na amostra representativa e pelos diferentes delineamentos de amostragem fecal (Tabela 2). As estimativas de excreção fecal obtidas pelos delineamentos de amostragem foram consideradas isentas

de vício de tempo curto quando estas não diferiram das estimativas obtidas por amostra representativa. Para tal, utilizou-se o teste de Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ).

Tabela 2 - Delineamentos de amostragem fecal avaliados a partir das combinações das concentrações dos indicadores nas amostras pontuais (*grab samples*)

Delineamento	Característica	Horários
A	Completo	01h30, 03h00, 04h30, 06h00, 07h30, 09h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30, 18h00, 19h30, 21h00, 22h30 e 24h00
B	Diurno	07h30, 09h00, 10h30, 12h00, 13h30, 15h00, 16h30 e 18h00
C	Noturno	01h30, 03h00, 04h30, 06h00, 19h30, 21h00, 22h30 e 24h00
D	Reduzido	01h30, 06h00, 07h30, 12h00, 16h30 e 21h00
E	Diurno reduzido	07h30, 10h30, 13h30 e 16h30
F	Noturno reduzido	19h30, 22h30, 01h30 e 04h30
G	Super reduzido	01h30, 07h30, 13h30 e 19h30
H	Diurno super reduzido	07h30 e 18h00
I	Noturno super reduzido	19h30 e 06h00

Essas avaliações foram conduzidas de forma independente para cada indicador segundo o modelo descrito em (6) por intermédio do PROC GLM, implementado no programa SAS. Devido ao desbalanço quanto ao número de observações para cada forragem, foram empregadas somas de quadrados do tipo III (Littell et al., 1991).

### Resultados e Discussão

Independentemente do indicador avaliado, os diagnósticos estatísticos para os valores de excreção fecal foram similares, o que é evidenciado pela proximidade dos níveis descritivos de probabilidade para o erro tipo I para todos os efeitos dietéticos avaliados neste estudo (Tabela 3). Por conseqüência, considerando-se que o consumo é mensurado diretamente (por pesagem de fornecido e sobras), inferências estatísticas

similares para os valores de excreção fecal acarretariam inferências similares para os coeficientes de digestibilidade independentemente do indicador adotado no estudo.

Este resultado indica que a escolha do indicador a ser utilizado pode ser realizada levando-se em consideração características secundárias, como acesso a métodos analíticos, custo do indicador e de sua análise, etc.

Não foram verificados efeitos ( $P > 0,05$ ) das diferentes forragens ou níveis de concentrado sobre a dimensão do ciclo excretório (c) (Tabela 4), o que indica que independentemente do tipo de forragem ou do nível de concentrado, a forma como cada indicador transitou pelo trato gastrintestinal não foi afetada pela dieta.

Tabela 3 - Níveis descritivos de probabilidade para o erro tipo I associados aos efeitos principais e sua interação para a excreção diária de matéria seca fecal utilizando diferentes indicadores

Indicador	Efeito <sup>1</sup>		
	Forragem	Nível de Concentrado	Forragem X Nível de Concentrado
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0001	0,0099	0,4935
TiO <sub>2</sub>	<0,0001	<0,0001	0,4398
MSi	0,0002	0,0012	0,6398
FDNi	0,0001	0,0010	0,3794
FDAi	0,0001	0,0011	0,4827

<sup>1</sup> Para a avaliação dos níveis descritivos de probabilidade foram consideradas as informações oriundas de todos os delineamentos de amostragem fecal avaliados.

Este comportamento, considerando-se cada indicador independentemente, apresenta implicação experimental direta, pois, dentro de um mesmo experimento, não haveria a possibilidade de se introduzir efeitos de confundimento por comportamento de fluxo diferenciado do indicador entre dietas distintas. Logo, considerando-se o mesmo indicador, independente da situação alimentar, o mesmo delineamento para amostragem fecal poderia ser utilizado, não havendo necessidade de ajustamento por possível fluxo diferenciado entre dietas.

Esse comportamento corrobora uma das características de indicador ideal sugeridas por Owens & Hanson (1992), na qual o fluxo do indicador pelo trato gastrointestinal não deve ser afetado pelas características dietéticas.

Não havendo influências dietéticas sobre as estimativas do parâmetro “c”, um único modelo foi ajustado para cada indicador objetivando-se descrever as demais características excretórias (Tabela 4; Figuras 1 e 2).

Tabela 4 - Níveis descritivos de probabilidade assintótica para o erro tipo I associados à avaliação dos efeitos de forragem e nível de concentrado sobre a dimensão fundamental do ciclo excretório (c)

Item	Indicador				
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MSi	FDNi	FDAi
Valor P					
Forragem	>0,9999	>0,9999	0,9706	0,5402	0,5996
Concentrado	0,3214	0,7344	0,8907	>0,9999	0,9028
Parâmetro					
c (rad/h)	0,2086	0,1684	0,3163	0,3383	0,2979
PF (h) <sup>1</sup>	15,06	18,66	9,93	9,29	10,55
Cmax(%) <sup>2</sup>	0,36	0,67	68,89	56,39	38,11
Cmín(%) <sup>2</sup>	0,28	0,54	64,54	53,25	35,01
A <sub>0</sub> (%) <sup>2</sup>	0,32	0,59	66,28	54,54	36,38
AO (%) <sup>3</sup>	23,96	21,22	6,56	5,76	8,52

<sup>1</sup> Período fundamental (PF =  $\pi/c$ ). <sup>2</sup> Cmax, Cmin e A<sub>0</sub> = concentrações fecais máxima, mínima e média estimadas. <sup>3</sup> Amplitude de oscilação estimada [AO = (Cmax – Cmin)/A<sub>0</sub>].

Para os indicadores externos o período fundamental do ciclo excretório foi de 15,06 horas para o cromo e 18,66 horas para o dióxido de titânio. Para os indicadores internos observou-se período fundamental de 9,93; 9,29 e 10,55 horas para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente.

O óxido crômico constitui o indicador mais amplamente estudado no tocante ao comportamento do perfil nictemeral de excreção fecal. Têm-se pressuposto que sua curva de excreção diária possui comportamento cíclico simétrico, com um ponto de máximo e outro de mínimo valor de concentração fecal, cujo comprimento para total ciclização ou período fundamental seria de aproximadamente 24 horas (Smith & Reid,



1955; Hopper et al., 1978), com estimativa do parâmetro “c” próxima a 0,13 rad/h (Hopper et al., 1978).

Contudo, estas pressuposições não têm sido suportadas em diversos estudos, sendo que períodos fundamentais do óxido crômico de cerca de 3, 4 e 12 horas foram relatados por Barros et al. (2007), Dias (2009) e Linnerud & Donker (1961), respectivamente.

No presente trabalho, os períodos fundamentais observados para cada um dos indicadores avaliados não constituem divisores naturais ou aproximados de 24 horas (Tabela 4). Assim, considerando-se que o domínio das funções ajustadas foi de 24 horas, a multiplicação dos períodos fundamentais por números naturais não contemplaria totalmente ou extrapolaria o período de 24 horas. Neste contexto, os valores de “c” devem ser vistos mais como parâmetros escalares de descrição do perfil diário, gerando informações que possam contribuir para a definição ou para o entendimento de delineamentos de amostragem fecal.

A amplitude de oscilação do indicador indica a dimensão da variabilidade máxima de sua concentração em torno da média. Os valores encontrados para os indicadores externos (23,96 e 21,22% para óxido crômico e dióxido de titânio respectivamente) indicam que estes apresentaram maior variação em comparação aos indicadores internos (6,65; 5,76 e 8,52% para MSi, FDNi e FDAi, respectivamente). Este comportamento é ilustrado graficamente nas Figuras 1 e 2, nas quais percebe-se maior proximidade da média diária para os indicadores internos.

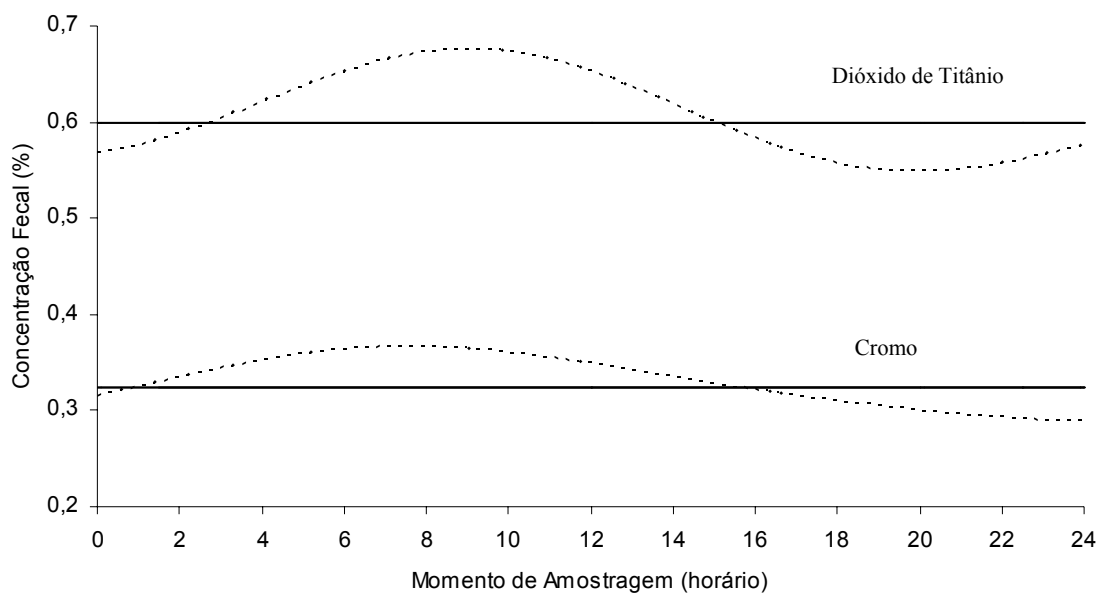


Figura 1 - Concentração fecal estimada de cromo e de dióxido de titânio em função do momento de amostragem (a linha tracejada representa a função ajustada; a linha contínua corresponde à concentração média estimada).

Barros et al. (2007), ao analisarem o perfil nictemeral de indicadores na excreção fecal de bovinos, também observaram melhor estabilidade para os indicadores internos (FDNi e FDAi) em relação ao cromo, obtendo amplitudes de oscilação próximas a 5%, concordando com os resultados aqui obtidos.

A capacidade de fluir paralelamente ou ser fisicamente similar ou se associar intimamente com o material a ser avaliado tem sido descrita como uma das características ideais para indicadores (Owens & Hanson, 1992). Por serem componentes naturais dos alimentos, espera-se que o fluxo de indicadores internos seja naturalmente similar ao da dieta (Sampaio et al., 2010), o que parece justificar a maior estabilidade dos indicadores internos (Tabela 4; Figura 2).

Contudo, problemas com diferenças entre o fluxo da dieta e de indicadores externos são comumente relatados, notoriamente para o óxido crômico, os quais envolvem mixagem incompleta no rúmen (Corbett et al., 1959) e fluxo superior ao do material fibroso (Van Soest, 1994). Desta forma, as peculiaridades do fluxo dos indicadores externos parecem estar associadas à sua maior variabilidade em relação aos internos (Tabela 4; Figura 1). Contudo, há de ressaltar que em função de sua menor concentração média em comparação aos indicadores internos, pequenas variações nas concentrações fecais dos indicadores externos incorrerão em maiores amplitudes de oscilação. Observa-se que a diferença absoluta entre as concentrações máximas e mínimas estimadas para os indicadores externos são pequenas (Tabela 4), o que refletiu em perfil relativamente harmônico da concentração fecal (Figura 1). Assim, a amplitude de oscilação em termos relativos não parece constituir critério de refutação ao uso dos indicadores externos aqui avaliados.

Para todos os indicadores avaliados, observou-se elevação da concentração fecal para valores acima da média no período matutino. Para os indicadores externos

verificou-se queda para valores abaixo da média nos períodos vespertino e noturno. Comportamento similar a este foi relatado para o óxido crômico por Smith & Reid (1955), Brisson et al., (1957) e Hooper (1978); e para o dióxido de titânio por Myers et al. (2006) e Glindemann et al. (2009). Por outro lado, os indicadores internos, embora tenham apresentado queda no período vespertino, mantiveram concentração aproximadamente constante e próxima à média no período noturno (Figuras 1 e 2).

Este comportamento, especificamente para indicadores internos, parece estar interligado aos eventos naturais das dinâmicas de degradação e passagem do alimento pelo trato gastrintestinal. A retirada de resíduos indigestíveis do ambiente ruminal, dos quais fazem parte os indicadores internos, só acontece por passagem; a qual, contudo, está intimamente associada à degradação da fração digestível do alimento (Paulino et al., 2008). Embora os processos de degradação e trânsito ocorram de forma contínua no rúmen, o *input* de material a ser degradado e removido é inconstante, pois é ampliado nos horários de fornecimento de alimentos. Assim, maior massa será submetida aos processos de degradação em momentos específicos do dia, o que pode causar inconstância na concentração fecal, como observado neste estudo.

Embora não haja influência direta do processo de degradação ruminal sobre os indicadores externos, estes estão sujeitos aos eventos de trânsito que ocorrem no ambiente ruminal. Logo, estes tenderiam a apresentar deslocamento influenciado pelo movimento da digesta, o que implicaria em comportamento aproximadamente similar ao dos indicadores internos, como verificado neste estudo (Figuras 1 e 2).

Na Tabela 5 estão apresentadas as estimativas de excreção de matéria seca fecal (g/dia) obtidas por intermédio de amostra representativa ou pelos diferentes delineamentos de amostragem em função dos diferentes indicadores.

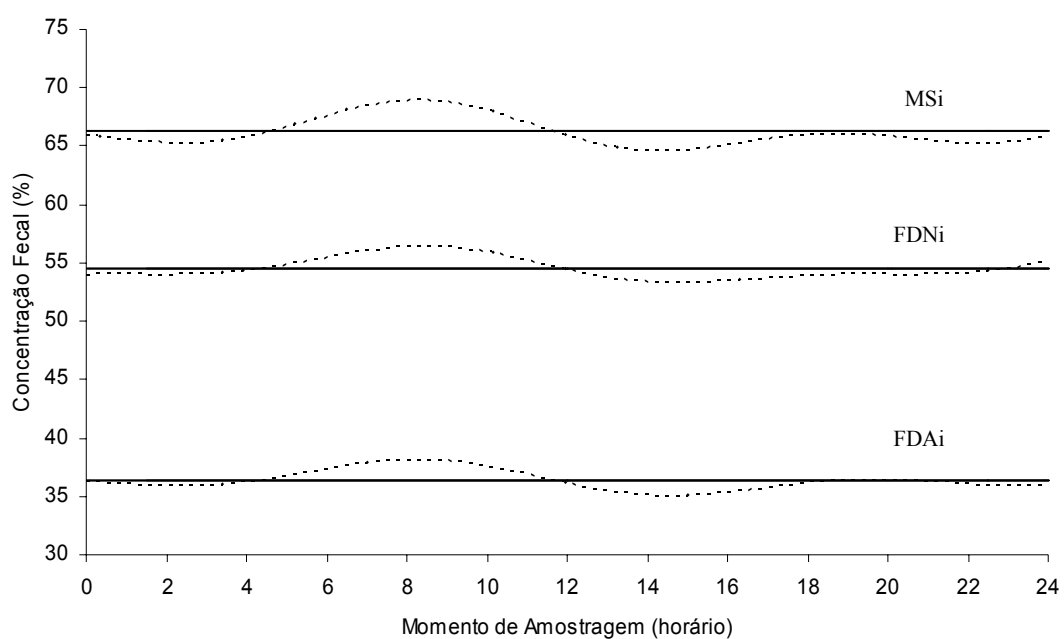


Figura 2 - Concentração fecal estimada de MSi, FDNi e FDAi em função do momento de amostragem (a linha tracejada representa a função ajustada; a linha contínua corresponde à concentração média estimada).

Por definição, a diferença entre as estimativas de excreção fecal obtidas pela quantificação da concentração de indicadores em amostras fecais pontuais e o valor real de excreção fecal é denominada de vício total de recuperação (Langlands et al., 1963). Este pode ser fracionado em duas porções, sendo a primeira, denominada de vício de tempo longo ou vício de recuperação, representada pela capacidade do indicador em ser excretado em quantidade similar à consumida, o que constitui característica inerente ao próprio indicador (Detmann et al., 2007a). A segunda porção, denominada de vício de tempo curto, corresponde ao viés da estimativa de excreção fecal relativa à obtenção de amostras fecais pontuais não representativas (Langlands et al., 1963).

Ressalta-se que todos os indicadores aqui avaliados apresentaram-se isentos de vício de tempo longo (Sampaio et al., 2010), ou seja, com recuperação fecal completa. Logo, sua aplicação em estudos de digestão com ruminantes apresenta-se segura, uma vez que as limitações no tocante ao vício total poderão ser sanadas por adequações no procedimento de amostragem fecal, responsável pelo vício de tempo curto (Detmann et al., 2007a).

Para o óxido crômico, verificou-se ocorrência de vício de tempo curto ( $P < 0,05$ ) com o uso dos delineamentos de amostragem C, F e I (Tabela 2), os quais estão relacionados a amostras do período noturno (Tabela 5). Neste caso, verificou-se que os valores de excreção fecal foram superestimados ( $P < 0,05$ ), reflexo da queda nas concentrações fecais observadas no período noturno (Figura 1). Segundo os resultados expressos na Tabela 5, embora haja elevação da concentração deste indicador no período matutino (Figura 1), esta não é suficiente para causar distorções significativas na representatividade das amostras fecais.

Tabela 5 - Estimativas de excreção de matéria seca fecal (g/dia) obtidas por intermédio de amostra representativa ou pelos diferentes delineamentos de amostragem em função dos diferentes indicadores

Delineamento <sup>2</sup>	Indicador				
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MSi	FDNi	FDAi
Amostra Representativa	1849,1	1773,5	1808,1	1853,1	1760,0
A	1986,1	1743,2	1771,0	1822,2	1730,3
B	1990,7	1696,3	1785,3	1813,1	1719,0
C	2114,9*	1800,1	1784,4	1833,0	1744,3
D	1979,1	1770,0	1771,0	1826,6	1715,5
E	1959,6	1700,1	1749,7*	1817,9	1722,1
F	2122,3*	1824,2	1780,8	1834,0	1741,0
G	1913,2	1733,9	1746,5*	1815,1	1725,8
H	1928,1	1781,7	1726,1*	1803,0*	1697,7*
I	2114,1*	1765,5	1752,0*	1819,5	1709,1*
CV (%)	10,8	7,5	3,3	3,2	3,8

<sup>1</sup> Médias na coluna, seguidas por \*, são diferentes da média obtida com amostra representativa pelo teste de Dunnett (P<0,05). <sup>2</sup> Para detalhes sobre os delineamentos, consultar a Tabela 2.

Nenhum delineamento de amostragem para o dióxido de titânio implicou vício de tempo curto sobre as estimativas de excreção fecal (P>0,05; Tabela 5), a despeito de sua variabilidade ao longo do dia (Figura 1), indicando que a substituição do óxido crômico por este indicador pode conduzir a resultados similares ou mais exatos de excreção fecal.

Entre os indicadores internos, a MSi apresentou maior número de delineamentos de amostragem com a presença de vício de tempo curto (P<0,05), sem contudo, apresentar padrão específico para a ocorrência deste (Tabela 5). Embora a utilização da MSi como indicador possa produzir resultados exatos, a presença de contaminantes, como resíduos microbianos, pode comprometer os resultados obtidos (Huhtanen et al., 1994), uma vez que não se utilizam detergentes para a limpeza do resíduo pós-incubação, o que limita a retirada de resíduos microbianos por ação aniônica (Van Soest, 1994). A contaminação por resíduos promoveria superestimação da concentração

fecal de MSi, acarretando subestimação do valor de excreção fecal, como verificado nas condições em que observou-se vício de tempo curto significativo (Tabela 5).

Como a contaminação por resíduos microbianos parece não ser constante entre os materiais incubados (Sampaio et al., 2010), maior variabilidade seria encontrada, implicando menor exatidão para as estimativas de recuperação fecal da MSi. Este comportamento desqualifica a MSi como indicador em estudos com ruminantes, como ressaltado por outros autores (Casali et al., 2009; Sampaio et al., 2010; Valente et al., 2010).

Os indicadores internos FDNi e FDAi se mostraram isentos de vício de tempo curto ( $P > 0,05$ ) para a maioria dos delineamentos de amostragem fecal avaliados. Distorções somente foram observadas ( $P < 0,05$ ) quando apenas dois pontos do perfil diário foram considerados (Tabela 5).

Considerando-se situações experimentais em que mais de um indicador seja utilizado simultaneamente, a proposição de um delineamento de amostragem fecal padrão comum a todos os indicadores (excetuando-se a MSi, com destacado anteriormente) constitui meta relevante, principalmente para estudos de consumo a pasto ou para estudos de avaliação de consumo individual com animais alimentados em grupo. Neste contexto, seria recomendado o mínimo de quatro pontos de amostragem do perfil nictemeral, considerando-se a limitação observada com número menor de pontos para a FDNi e FDAi (Tabela 5). Estes pontos podem ser distribuídos ao longo do período total do dia ou somente durante o período diurno, considerando-se a limitação imposta ao período noturno pelo óxido crômico (Tabela 5).

Independentemente dos aspectos de exatidão dos resultados, percebe-se pouca variação quanto à precisão das estimativas de excreção fecal obtidas pelos diferentes delineamentos de amostragem e indicadores (Tabela 6). Este comportamento indica que



avaliações de indicadores com base única e exclusiva em aspectos de precisão podem conduzir a inferências incorretas, uma vez que estimativas precisas podem ser não-exatas, conferindo viés aos coeficientes de digestibilidade.

Tabela 6 - Índices de variação das estimativas de excreção de matéria seca fecal obtidas por intermédio de amostra representativa ou pelos diferentes delineamentos de amostragem em função dos diferentes indicadores

Delineamento <sup>2</sup>	Indicador <sup>1</sup>				
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MSi	FDNi	FDAi
Amostra Representativa	7,09	5,79	6,60	6,90	6,80
A	7,02	4,87	6,75	6,99	7,15
B	7,25	4,16	6,73	6,88	7,07
C	6,37	5,03	6,75	7,13	7,23
D	6,97	5,18	6,73	6,94	7,19
E	7,44	5,27	6,79	6,99	7,05
F	6,35	5,18	6,78	7,08	6,93
G	5,91	5,07	6,84	6,92	6,99
H	7,08	5,13	6,78	6,79	6,67
I	7,12	5,22	6,82	7,13	7,00

<sup>1</sup> Índice de variação = (erro-padrão da média/média) x 100. <sup>2</sup> Para detalhes sobre os delineamentos, consultar a Tabela 2.

### Conclusão

Considerando-se em conjunto as características individuais de excreção fecal dos indicadores externos óxido crômico e dióxido de titânio e dos indicadores internos fibra em detergente neutro indigestível e fibra em detergente ácido indigestível, sugere-se a adoção de delineamentos de amostragem fecal que incluam o mínimo de quatro pontos representativos do perfil excretório, os quais podem ser distribuídos ao longo do dia ou somente no período diurno.

## Referências

- BARROS, E.E.L.; FONTES, C.A.A.; DETMANN, E. et al. Avaliação do perfil nictemeral de excreção de indicadores internos e de óxido crômico em ensaios de digestão com ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.2102-2108, 2007.
- BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.830-833, 2000.
- BRISSON, G.J.; PIGDES, W.J.; SYLVESTRE, P.E. Effect of frequency of administration of chromic oxide on its fecal excretion pattern by grazing cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v.37, p.90-94, 1957.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Avaliação de indicadores na estimação da excreção fecal e da digestibilidade em ruminantes. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.9, p.29-34, 2008.
- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.
- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al., Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.38, p.130-138, 2009.
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental designs**. 2 ed. New York: John Willey & Sons, 1957. 611p.
- CORBETT, J.L.; GREENHALGH, J.F.D.; FLORENCE, E. Distribution of chromium sesquioxide and polyethyleneglycol in the reticulum-rumen of cattle. **British Journal of Nutrition**, v.13, p.337-345, 1959.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1600-1609, 2001.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. et al. Avaliação da técnica dos indicadores na estimação do consumo por ruminantes em pastejo. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, v.46, p.40-57, 2004.
- DETMANN, E.; SOUZA, A.L.; GARCIA, R. et al. Avaliação do vício de tempo longo de indicadores internos em ensaio de digestão com ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.182-188, 2007a.
- DETMANN, E.; CECON, P.R.; PAULINO, M.F. et al. Variáveis ruminais avaliadas por meio de funções matemáticas contínuas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1651-1657, 2007b.
- DIAS, M. **Indicadores na coleta de digesta omasal e na cinética de trânsito do trato gastrointestinal de bovinos**. 2009. 109f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GLINDEMANN, T.; TAS, B.M.; WANG, C. et al. Evaluation of titanium dioxide as an inert marker for estimating faecal excretion in grazing sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.152, p.186-197, 2009.

- GOERING, H.K.; Van SOEST, P.J. **Forage fiber analyses** (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Washington, D.C.: USDA, 1975. 20p. (Agricultural Handbook 379)
- HOPPER, J.T.; HOLLOWAY, J.W.; BUTTS JR., W.T. Animal variation in chromium sesquioxide excretion patterns of grazing cows. **Journal of Animal Science**, v.46, p.1098-1102, 1978.
- HUHTANEN, P.; KAUSTELL, K.; JAAKKOLA, S. The use of internal markers to predict digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.211-227, 1994.
- ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, F.F. et al. Comparação de indicadores e metodologia de coleta para estimativas de produção fecal e fluxo da digesta em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1833-1839, 2002.
- LANGLANDS, J.P.; CORBETT, J.L.; McDONALD, I. et al. Estimation of the faeces output of grazing animals from the concentration of chromium sesquioxide in a sample of faeces. I. Comparison of estimates from samples taken at fixed times of day with faeces outputs measured directly. **British Journal of Nutrition**, v.17, p.211-218, 1963.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LINERUD, A.C.; DONKER, J.D. Factors affecting the excretion pattern of chromic oxide in feces of dairy cows on pasture. **Journal of Dairy Science**, v.44, p.1176-1177, 1961.
- LITTELL, R.C.; FREUND, R.J.; SPECTOR, P.C. **SAS system for linear models**. Cary: SAS Institute, 1991. 329p.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.
- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Technical note: a procedure for preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. **Journal of Animal Science**, v.82, p.179-193, 2004.
- MYERS, W.D.; LUDDEN, P.A.; NAYIGIHUGU, V. et al. Excretion patterns of titanium dioxide and chromic oxide in duodenal digesta and feces of ewes. **Small Ruminant Research**, v.63, p.135-141, 2006.
- OWENS, F.N.; HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2605-2617, 1992.
- PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALENTE, E.E.L. et al. Nutrição de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 4, 2008, Viçosa. **Anais... Viçosa: DZO-UFV**, 2008. p.131-169.
- PRIGGE, E.C.; VARGA, G.A.; VICINI, J.L. et al. Comparison of ytterbium chloride and chromium sesquioxide as fecal indicators. **Journal of Animal Science**, v.53, p.1629-1633, 1981.

- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não-linear. **Ceres**, v.50, p.9-26, 2003.
- SAMPAIO, C.B.; DETMANN, E.; VALENTE, T.N.P. et al. Recuperação fecal e vício de tempo longo de indicadores internos e externos em ensaio de digestão com bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2010 (no prelo)
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SMITH, A.M.; REID, J.T. Use of chromic oxide as an indicator of fecal output for the purpose of determining the intake of pasture herbage by grazing cows. **Journal of Dairy Science**, v.38, p.515-524, 1955.
- TITGEMEYER, E.C.; ARMENDARIZ, C.K.; BINDEL, D.J. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, p.1059-1063, 2001.
- VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação *in situ* dos teores de componentes indigestíveis em alimentos e fezes de bovinos com sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2010 (no prelo).
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N.; DIAN, P.H.M. et al. Recuperação fecal dos indicadores internos avaliados em ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1865-1874, 2002.
- WILLIAMS, C.H.; DAVID, D.J.; IISMAA, O. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry. **Journal of Agricultural Science**, v.59, p.381-385, 1962.

## **Avaliação de modelos de predição do valor energético de dietas para bovinos em crescimento a partir da composição química dos alimentos**

**RESUMO** – Objetivou-se estimar e avaliar os teores das frações aparentemente digestíveis de proteína bruta, extrato etéreo e carboidratos não fibrosos, da fração digestível da fibra em detergente neutro e o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) a partir da composição química dos alimentos em bovinos em crescimento alimentados com diferentes dietas. Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e 287 kg. Os animais foram alimentados com silagem de capim elefante, silagem de milho ou feno de capim braquiária, suplementados ou não com 20% de concentrado. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, nos quais se alternou entre animais a suplementação concentrada. Os valores observados de frações digestíveis e do teor de NDT foram obtidos com base em coleta total de fezes. Diversos sub-modelos aplicados às diferentes frações digestíveis foram avaliados e discutidos. Estimativas do teor de NDT na dieta foram produzidas a partir da combinação de sub-modelos aplicados às frações digestíveis individuais. O teor de NDT foi mais eficientemente predito a partir dos sub-modelos propostos por Detmann et al. (2010) quando considerados procedimentos biológicos para estimação da fração indegradável da proteína e da fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro.

**Palavras chave:** análise de alimentos, frações aparentemente digestíveis, nutrientes digestíveis totais

## **Evaluation of models to predict the energy value of diets using the chemical composition of feeds in growing cattle**

**ABSTRACT** – The objective of this work was to estimate and to evaluate the diet contents of apparent digestible ether extract, crude protein and non-fibrous carbohydrate, the diet content of digestible neutral detergent fiber, and the diet content of total digestible nutrients (TDN) using the chemical composition of feeds in growing cattle fed different diets. Fourteen F1 Red Angus x Nellore bulls, averaging 12 months and 287 kg, were used. The animals were fed with elephant grass silage, corn silage or signal grass hay and supplemented or not with 20% of concentrate. The experiment consisted of two 13-days experimental periods. After first period, concentrate supplementation was changed over among animals. The observed values of digestible fractions and TDN were obtained based on total collection of feces. Several sub-models applied to predict the different digestible fractions were evaluated and discussed. Estimates of diet content of TDN were produced from combination of sub-models applied to digestible fractions. The TDN content was better predicted using the sub-models of Detmann et al. (2010) and considering biological procedures to estimate the undegradable fraction of protein and the potentially digestible fraction of neutral detergent fiber.

**Keywords:** apparent digestible fractions, feed analysis, total digestible nutrients

## Introdução

A obtenção de estimativas dos coeficientes de digestibilidade constitui aspecto básico para se quantificar o valor energético dos alimentos ou dietas, notadamente via nutrientes digestíveis totais (NDT), permitindo o balanceamento adequado de dietas que propiciem o atendimento das demandas de manutenção e produção dos animais (Detmann et al., 2010a).

Em estudos de digestibilidade com bovinos, estimativas de coeficientes de digestibilidade obtidas *in vivo* devem ser consideradas mais exatas; contudo, a necessidade de utilização de animais experimentais, além de grande quantidade de alimentos e maior tempo, torna o procedimento oneroso e laborioso.

Como alternativa a estas limitações, métodos de predição das frações digestíveis dos alimentos para ruminantes utilizando a composição química dos alimentos foram desenvolvidos por Conrad et al. (1984) e Weiss et al. (1992), cujos fundamentos passaram a constituir a base dos sistemas de predição da energia de dietas propostos pelo NRC (2001), para condições temperadas, e mais recentemente para condições tropicais por Detmann et al. (2008a; 2010a).

Os sistemas de predição do conteúdo energético dos alimentos ofertados a bovinos adotado pelo NRC (2001) e proposto por Detmann et al. (2008a; 2010a) se baseiam em sistemas de equações aditivas, nos quais para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética (proteína bruta, PB; extrato etéreo, EE; carboidratos não fibrosos, CNF; e fibra em detergente neutro, FDN) destina-se uma equação responsável pela obtenção de estimativas das frações verdadeiramente digestíveis, com posteriores correções no tocante a perdas metabólicas e nível de consumo.

Contudo, estudos comparativos entre os sistemas de predição ressaltados anteriormente são ainda escassos na literatura. Desta forma, objetivou-se comparar as estimativas de frações digestíveis e do teor de nutrientes digestíveis totais obtidas a com base na composição química dos alimentos a partir dos modelos propostos pelo NRC (2001) e por Detmann et al. (2010a) em bovinos em crescimento alimentados com diferentes dietas.

### **Material e Métodos**

O experimento foi realizado nas dependências dos Laboratórios de Animais e de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

Foram utilizados 14 novilhos F1 Red Angus x Nelore, não-castrados, com idade e peso médios de 12 meses e  $287\pm 36$  kg. A alimentação volumosa foi constituída por silagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) para seis animais, silagem de milho (*Zea mays*) para seis animais e feno de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) para dois animais. O experimento foi constituído de dois períodos de 13 dias cada, sendo primeiros cinco dias destinados à adaptação dos animais. Previamente ao início do experimento os animais foram adaptados às instalações e condições experimentais por 14 dias.

No primeiro período experimental, metade dos animais em cada forragem foi suplementada com 20% de concentrado, com base na matéria seca (MS) total da dieta. No segundo período, realizou-se a inversão da suplementação concentrada entre os animais. O concentrado era composto por fubá de milho, farelo de soja e mistura mineral, balanceado para apresentar, aproximadamente, 30% de PB, com base na MS



Cada período de coletas teve duração de oito dias. No primeiro, quarto e sétimo dias realizou-se coleta total de fezes, iniciando-se às 7h00 e prolongando-se pelo período de 24 horas. As fezes foram coletadas durante defecação espontânea dos animais e acondicionadas em recipientes plásticos mantidos à sombra. Posteriormente, foram homogeneizadas e quantificadas, retirando-se alíquota de 10% do total a qual foi congelada (-20°C) para análises posteriores.

Para efeito de quantificação do consumo voluntário considerou-se a oferta de alimentos entre o sexto e décimo segundo dias, e de sobras entre o sétimo e décimo terceiro dias de cada período experimental. As amostras de alimentos e sobras foram compostas por animal e período e congeladas (-20°C).

Posteriormente, as amostras de fezes, alimentos e sobras foram descongeladas em temperatura ambiente, secas em estufa com ventilação forçada (60°C) e processadas em moinho de facas (1 e 2 mm).

As amostras de alimentos sobras e fezes processadas em 1 mm foram analisadas quanto aos teores de MS, EE, matéria orgânica (MO), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 72% p/p), segundo métodos descritos por Silva & Queiroz (2002). Os teores de FDN foram obtidos segundo Mertens (2002), utilizando-se  $\alpha$ -amilase-termoestável e omitindo-se a utilização de sulfito de sódio. As correções da FDN no tocante às cinzas e proteína, foram realizadas segundo Mertens (2002) e Licitra et al. (1996), respectivamente. Os teores de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) foram estimados pelo método Kjeldahl após a extração com os respectivos detergentes segundo Licitra et al. (1996). A composição química das forragens e do concentrado é apresentada na Tabela 1 e os valores observados de frações digestíveis são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Teores médios de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), carboidratos não-fibrosos (CNF), lignina, proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (PIIDN) dos alimentos

Item	Forragem			Concentrado
	Silagem de milho	Silagem de capim elefante	Feno de braquiária	
MS	28,6	31,2	92,7	88,1
MO <sup>1</sup>	95,8	96,6	95,8	94,9
PB <sup>1</sup>	6,0	3,8	4,4	29,4
EE <sup>1</sup>	3,2	1,1	1,1	1,4
FDNcp <sup>1</sup>	50,1	74,0	75,5	24,1
CNF <sup>1</sup>	36,4	17,6	14,7	39,9
Lignina <sup>1</sup>	4,1	9,6	9,2	2,2
FDNi <sup>1</sup>	14,2	39,1	28,1	2,7
PIDN <sup>1</sup>	1,1	1,3	1,8	6,7
PIDA <sup>1</sup>	0,8	0,9	1,2	1,2
PIIDN <sup>1</sup>	0,9	0,8	1,1	1,0
PIDN <sup>2</sup>	17,7	35,9	40,9	23,0
PIDA <sup>2</sup>	12,8	26,2	27,9	0,8
PIIDN <sup>2</sup>	14,6	19,6	24,3	3,4

<sup>1</sup> % da matéria seca, <sup>2</sup> % da proteína bruta.

Os teores de CNF foram obtidos segundo Detmann & Valadares Filho (2010):

$$CNF = MO - (EE + FDNcp + PB) \quad (1);$$

em que: CNF, teor de carboidratos não-fibrosos (% da MS); MO, teor de matéria orgânica (% da MS); EE, teor de extrato etéreo (% da MS); FDNcp, teor de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (% da MS); e PB, teor de proteína bruta (% da MS).

Para quantificação da concentração de FDN indigestível (FDNi) as amostras processadas a 2 mm foram acondicionadas em triplicata em sacos de tecido não-tecido (100g/m<sup>2</sup>; dimensão 4 x 5 cm), mantendo-se a relação de 25 mg MS/cm<sup>2</sup> de superfície, os quais foram, em seguida, selados por calor. Os sacos foram incubados durante 264 horas (Casali et al., 2008) no rúmen de um bovino adulto alimentado com dieta baseada em silagem de capim-elefante e concentrados (80:20).

Tabela 2 - Concentrações dietéticas (% da matéria seca) de proteína bruta aparentemente digestível (PBad), extrato etéreo aparentemente digestível (EEad), carboidratos não fibrosos aparentemente digestíveis (CNFad), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína digestível (FDN<sub>d</sub>) e de nutrientes digestíveis totais (NDT) em função da forragem e do nível de concentrado

Item	Forragem <sup>1</sup>					
	Silagem de milho		Silagem de capim elefante		Feno de braquiária	
	0%	20%	0%	20%	0%	20%
PBad	2,3±0,55	8,4±0,24	0,2±0,32	6,9±0,15	1,0±0,07	6,3±0,40
EEad	3,2±0,08	2,5±0,14	0,7±0,16	0,8±0,05	0,8±0,12	0,9±0,04
CNFad	22,0±0,59	24,4±0,19	4,5±1,36	11,4±1,10	6,9±1,04	12,1±0,71
FDN <sub>cpd</sub>	29,5±2,19	26,5±1,18	37,1±1,94	31,9±1,66	51,4±2,70	43,8±1,33
NDT	61,1±2,70	65,3±2,06	43,5±2,55	52,3±2,18	61,3±1,33	64,5±0,95

<sup>1</sup> média ± erro padrão

Após este período os sacos foram retirados, lavados em água corrente até o completo clareamento desta e secos em estufa ventilada (60°C). Posteriormente, os sacos foram submetidos à extração com detergente neutro, em aparelho analisador de fibras (Ankom<sup>200</sup>®) (100°C/1 hora). Após a extração, os sacos foram lavados com água quente e acetona, secos sequencialmente em estufa ventilada (60°C/72 horas) e não-ventilada (105°C/1 hora), acondicionados em dessecador e pesados. O resíduo obtido foi considerado como FDN<sub>i</sub>. Os teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (PIIDN) foram estimados a partir da proteína residual da FDN<sub>i</sub> (Clipes et al., 2010).

A estimativa dos conteúdos dietéticos das frações digestíveis dos diferentes componentes segundo o NRC (2001) baseou-se nos sub-modelos:

$$CNFvd = 0,98 \times CNF \quad (2);$$

$$EEvd = EE - 1 \quad (3);$$

$$PBvd = PB \times \exp \left[ -1,2 \times \left( \frac{PIDA}{PB} \right) \right] \quad (\text{forragens}) \quad (4);$$

$$PBvd = PB \times \left[ 1 - 0,4 \times \left( \frac{PIDA}{PB} \right) \right] \quad (\text{concentrados}) \quad (5);$$

$$FDNd = 0,75 \times [(FDN_{cp} - L) \times [1 - \left(\frac{L}{FDN_{cp}}\right)^{0,667}]] \quad (6);$$

em que: CNFvd, CNF verdadeiramente digestíveis (% da MS); CNF, conteúdo dietético de CNF (% da MS); EEvd, EE verdadeiramente digestível (% da MS); EE, conteúdo dietético de EE (% da MS); PBvd, PB verdadeiramente digestível (% da MS); PB, conteúdo dietético de PB (% da MS); PIDA, conteúdo dietético de PIDA (% da MS); FDNd, FDN digestível (% da MS); FDN<sub>cp</sub>, conteúdo dietético de FDN corrigida para cinzas e proteínas (% da MS); L, conteúdo dietético de lignina (% da MS); 0,667, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN; 0,75, coeficiente de digestibilidade da fração potencialmente degradável da FDN.

Os teores de FDN utilizados na equação (6) não contemplam originalmente correções para cinzas (NRC, 2001). Contudo, esta modificação foi incorporada em função de o conteúdo mineral da FDN apresentar contribuição energética nula, o que propicia melhor agregação à finalidade de estimação do teor energético (Detmann et al., 2007; Detmann & Valadares Filho, 2010).

As frações verdadeiramente digestíveis dos componentes não fibrosos providos pelos sub-modelos adotados pelo NRC (2001) foram convertidas em frações aparentemente digestíveis com base nas contribuições metabólicas fecais descritas por Weiss et al. (1992) (0,62; 2,7 e 3,1% para EE, CNF e PB, respectivamente). O objetivo desta conversão foi possibilitar a comparação direta com os valores observados de cada fração.

Os sub-modelos para estimação das frações verdadeiramente digestíveis de EE e CNF propostos por Detmann et al. (2010a) são dados por:

$$EEvd = 0,86 \times EE \quad (7);$$

$$CNFvd = 0,95 \times CNF \quad (8);$$

sendo todos os termos definidos anteriormente.

As frações aparentemente digestíveis foram estimadas a partir da subtração das frações metabólicas fecais considerando-se bovinos em crescimento e terminação alimentados de forma irrestrita (produção), as quais assumem os valores de 0,18 e 5,11% da MS para EE e CNF, respectivamente (Detmann et al., 2010a).

O sub-modelo proposto por Detmann et al. (2007; 2008a; 2010a) para estimação da fração digestível da FDN se baseou no fracionamento deste componente em suas frações potencialmente digestível e indigestível como demonstrado abaixo:

$$FDNd = D \times FDNpd \quad (9);$$

$$FDNd = D \times (FDNcp - FDNi) \quad (10);$$

em que: FDNd, FDN digestível (% da MS); FDNpd, FDN potencialmente digestível (% da MS); FDNcp, FDN corrigida para cinzas e proteína (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDNpd; e FDNi, FDN indigestível (% da MS).

Neste trabalho, a fração FDNi (e, conseqüentemente, a fração FDNpd) foi estimada por procedimento biológico de incubação ruminal *in situ*, como descrito anteriormente, sendo as estimativas obtidas inseridas diretamente no modelo descrito em (10).

As frações FDNpd e FDNi constituem conceitos biológicos assintóticos complementares (Detmann, 2010), cuja avaliação pontual acurada somente é obtida por intermédio de ensaios biológicos de longa duração (incubações ruminais) em tempos iguais ou superiores a 240 horas (Casali et al., 2008; Valente, 2010). Neste contexto, estimativas da fração FDNpd podem ser obtidas por aproximação química para tornar o processo de avaliação mais rápido e independente da disponibilidade de animais fistulados (Detmann et al., 2007).

Adicionalmente, a fração FDNpd foi estimada por aproximação química, o que converte o modelo descrito em (10) na equação (Detmann et al., 2007; 2010a):

$$FDNd = D \times \{(FDNcp - L) \times [1 - \left(\frac{L}{FDNcp}\right)^{0,85}]\} \quad (11).$$

em que: 0,85, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN; sendo os demais termos definidos anteriormente.

Tanto para aproximação biológica, como para a aproximação química, três estimativas de coeficiente de digestibilidade da FDNpd foram utilizados: 0,67; 0,84 e 0,76; os quais representam, respectivamente, as estimativas propostas para bovinos em crescimento/terminação, vacas em lactação (Detmann et al., 2007) e a média destes, respectivamente. Isto se justifica com base nos argumentos apresentados por Detmann et al. (2010a), que apontaram que refinamentos ainda precisam ser realizados sobre as estimativas propostas. Assim, a utilização de vários coeficientes visa avaliar a influência deste parâmetro sobre a exatidão das estimativas de FDNd.

O primeiro sub-modelo utilizado para a avaliação da fração digestível da PB foi baseado nos mesmos pressupostos adotados para EE e CNF (Detmann et al., 2010a), conforme equação apresentada abaixo:

$$PBvd = 0,78 \times PB \quad (12).$$

Neste sub-modelo, de natureza uni-compartimental, avalia-se a PB como entidade nutricional homogênea (Detmann et al., 2010a). Contudo, em condições tropicais existe associação intensa e complexa dos compostos nitrogenados à fração fibrosa insolúvel, o que pode comprometer a pressuposição de homogeneidade do processo digestivo da PB (Detmann et al., 2008b).

Desta forma, sub-modelo bi-compartimental no qual se assume como heterogênea a utilização da PB no trato gastrintestinal de animais ruminantes foi construído com base nas aproximações (Detmann et al., 2008b):

$$PBCC \cong PB - PIDN \quad (13);$$

$$PBPC \cong PIDN \quad (14);$$

em que: PBCC, PB de conteúdo celular; PBPC, PB da parede celular; e PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; todos expressos como % da MS.

Segundo derivações de Detmann et al. (2008b; 2010a), a PBCC apresenta comportamento digestivo similar aos demais componentes não-fibrosos (EE e CNF), ao passo que, por pressuposição, a utilização da PBPC seria similar àquela observada para a FDN. Desta forma a fração aparentemente digestível da PB seria expressa, considerando-se as aproximações representadas abaixo:

$$PBvd = D_{vPBCC} \times (PBCC) + D_{PBPCpd} \times (PBPCpd) \quad (15);$$

$$PBvd = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times (PIDN - PIIDN) \quad (16);$$

em que: PBvd, PB verdadeiramente digestível (% da MS);  $D_{vPBCC}$ , coeficiente de digestibilidade verdadeira da PBCC; PBPCpd, PB da parede celular potencialmente digestível (% da MS);  $D_{PBPCpd}$ , coeficiente de digestibilidade da PBPCpd; e PIIDN, proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (% da MS).

Neste caso, assume-se como estimativa para o coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC (g/g) o valor 0,98 g/g (Van Soest, 1994; Detmann et al., 2006a; 2008b) e como coeficiente de digestibilidade da PBPCpd estimativas similares àquelas utilizadas para a porção fibrosa do alimento/dieta. Assim, as três estimativas de coeficiente de digestibilidade da FDNpd anteriormente listadas foram também avaliadas para a estimação da PBvd na aproximação bi-compartimental.

A PIIDN é analiticamente definida como aproximação ao valor paramétrico da proteína indegradável da parede celular, consistindo da avaliação da PB residual do alimento sobre a FDNi (Detmann et al., 2010a). Assim, os valores de PIIDN foram diretamente estimados e inseridos na equação (16).

No entanto, esta aproximação analítica pode constituir empecilho em algumas situações, em virtude da não disponibilidade de animais fistulados. Desta forma, os

valores de PIIDN podem ser obtidos por aproximação química a partir da concentração de PIDA (Detmann et al., 2010b), convertendo-se a equação (16) em:

$$PBvd = 0,98 \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,676 \times PIDA)}]\} \quad (17).$$

As estimativas de PBvd foram convertidas em frações aparentemente digestíveis subtraindo-se a contribuição metabólica fecal da PB relativa a bovinos de corte em crescimento/terminação sob alimentação irrestrita (1,61% da MS; Detmann et al., 2010a).

Os conteúdos dietéticos de NDT foram obtidos pela soma das estimativas produzidas por cada sub-modelo para cada fração digestível a partir da equação:

$$NDT = PBad + CNFad + FDNd + 2,25 \times EEad \quad (18);$$

em que: NDT, teor dietético de NDT (% da MS); PBad, CNFad, EEad; frações aparente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FDNd, fração digestível da FDN (% da MS); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lipídeos e carboidratos.

Ressalta-se que nenhuma correção no tocante ao nível de consumo foi realizada para os teores de NDT preditos por intermédio dos sub-modelos adotados pelo NRC (2001), uma vez que os valores estimados situaram-se abaixo do limite mínimo definido para a utilização de correção (60% da MS).

A eficiência de predição dos sub-modelos para frações aparentemente digestíveis e teores de NDT foi avaliada em relação aos valores observados *in vivo* por intermédio da estimativa do quadrado médio do erro de predição e seus componentes (Kobayashi & Salam, 2000):

$$QMEP = QV + MaF + MoF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (19);$$

$$QV = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (20);$$



$$MaF = (s_x - s_y)^2 \quad (21);$$

$$MoF = 2s_x s_y (1 - r) \quad (22);$$

em que: x, valores preditos; y, valores observados; QMEP, quadrado médio do erro de predição; QV, quadrado do vício; MaF, componente relativo à magnitude de flutuação aleatória; MoF, componente relativo ao modelo de flutuação aleatória;  $s_x$  e  $s_y$ , desvios-padrão para valores preditos e observados, respectivamente; e r, correlação linear de Pearson entre valores preditos e observados.

Ressalta-se que por se tratar de avaliação de erro de predição, para todos os cálculos de variâncias e covariâncias empregou-se como divisor o total de observações (n) (Kobayashi & Salam, 2000).

A eficiência de predição foi também avaliada por intermédio da estimativa do coeficiente de correlação e concordância (CCC) ou índice de reprodutibilidade, estimado segundo Tedeschi (2006).

Em virtude do grande número de sub-modelos avaliados para PBad e FDND, o que é devido às combinações de métodos (biológico ou aproximação química) e de diferentes estimativas de coeficientes de digestibilidade, procedeu-se à análise de agrupamento hierárquico (Cruz & Regazzi, 2002) para avaliação da similaridade entre sub-modelos e teores de NDT. Foram utilizadas as estimativas de QMEP, QV, MaF, MoF e CCC, empregando-se a distância euclidiana como medida de dissimilaridade.

## **Resultados e Discussão**

Os valores de EEad preditos pelo sub-modelo proposto por Detmann et al. (2010a) foram mais exatos em comparação ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001). Este comportamento é evidenciado pelo menor erro médio de predição e, conseqüentemente, pela menor estimativa do componente QV (Tabela 3). Por outro

lado, os sub-modelos foram igualmente precisos, pois nenhuma diferença marcante pôde ser verificada sobre os componentes MaF e MoF, os quais permitem avaliar como os sub-modelos são capazes de simular a intensidade e a direção da flutuação dos dados observados em relação à média aritmética da amostra avaliada, respectivamente. Desta forma, a melhor estimativa de CCC apresentada pelo sub-modelo adotado por Detmann et al. (2010a) se deve exclusivamente à sua melhor exatidão (Tabela 3), uma vez que esta estatística descritiva aborda, simultaneamente, aspectos de exatidão e precisão do modelo avaliado (Tedeschi, 2006). Esta maior adequação é reforçada pelo comportamento dos pares ordenados expressos na Figura 1.

Tabela 3 - Médias (% da matéria seca) e estatísticas descritivas da relação entre valores observados e preditos da concentração dietética de extrato etéreo aparentemente digestível (EEad) e de carboidratos não fibrosos aparentemente digestíveis (CNFad)

Modelo	Média	s	EMP <sup>1</sup>	QMEP <sup>1</sup>	QV <sup>1</sup>	MaF <sup>1</sup>	MoF <sup>1</sup>	r <sup>1</sup>	CCC <sup>1</sup>
EEad									
Observado	1,72	1,09	-	-	-	-	-	-	-
NRC(2001)	0,35	0,94	-1,37	1,952	1,877	0,021	0,053	0,972	0,505
Detmann et al. (2010a)	1,51	0,81	-0,20	0,164	0,043	0,074	0,047	0,973	0,911
CNFad									
Observado	14,75	8,17	-	-	-	-	-	-	-
NRC(2001)	23,12	8,97	8,38	78,326	70,302	0,614	7,410	0,947	0,638
Detmann et al. (2010a)	20,31	8,70	5,57	38,409	31,036	0,266	7,187	0,947	0,776

<sup>1</sup> EMP, erro médio de predição; QMEP, quadrado médio do erro de predição; QV, quadrado do vício; MaF, magnitude de flutuação aleatória; MoF, modelo de flutuação aleatória; r, correlação linear de Pearson; CCC, coeficiente de correlação e concordância.

A principal diferença entre o sub-modelo aplicado à predição do EEad proposto por Detmann et al. (2010a) e aquele adotado pelo NRC (2001) reside sobre a forma de obtenção da fração verdadeiramente digestível do EE.

Para o sub-modelo adotado pelo NRC (2001), os teores médios de EE não-graxo verificados em dietas para ruminantes seriam de aproximadamente 1% da MS (Weiss et al., 1992). Esta estimativa permitiria a estimação do teor de ácidos graxos na dieta por

uma simples subtração de constante, pressupondo-se, em adição, digestibilidade verdadeira de 1,0 g/g para os ácidos graxos dietéticos (Weiss et al., 1992).

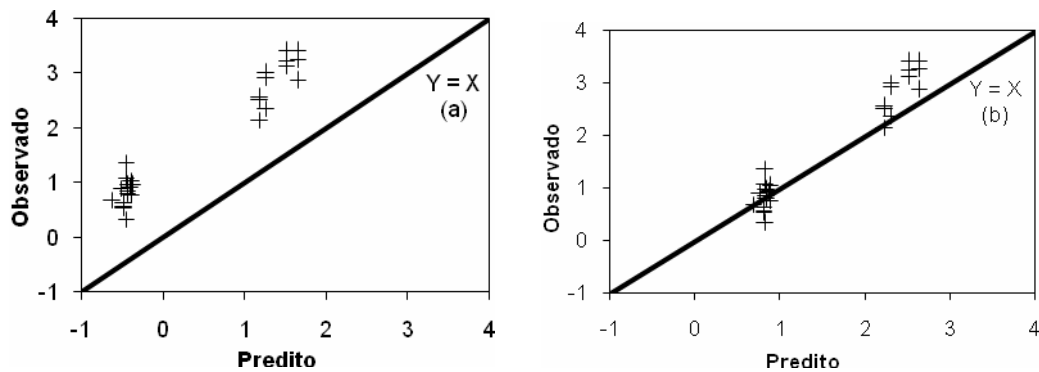


Figura 1 - Relação entre valores preditos e observados da concentração dietética (% da matéria seca) de extrato etéreo aparentemente digestível [NRC (2001), a; Detmann et al. (2010a), b].

Alternativamente, no sub-modelo proposto por Detmann et al. (2010a) o processo de estimação do teor de EE verdadeiramente digestível se dá por intermédio de coeficiente multiplicativo que representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro do EE (Equação 7), o qual é estimado sob o pressuposto de o EE atender às premissas do conceito de entidade nutricional (Lucas & Smart, 1959; Detmann et al., 2006b).

A adoção de desconto por subtração de constante para estimação do teor de EE verdadeiramente digestível implica que toda e qualquer fonte de EE, à exceção de óleos e gorduras, apresenta fração absoluta comum de compostos não inseríveis no metabolismo animal, a qual representaria o complemento da quantidade de ácidos graxos presentes no alimento, normalmente composto por ceras, carotenóides e outros compostos indigestíveis (Detmann et al., 2006b). Contudo, a alta variabilidade na relação entre os conteúdos de ácidos graxos e de EE não-graxo entre alimentos pode causar distorções sobre as estimativas de EE verdadeiramente digestível a partir de subtração de constante (Detmann et al., 2006b; 2008a). Desta forma, a pressuposição de proporcionalidade entre o material verdadeiramente digerido e não-digerido levaria à

certa compensação entre fontes com diferentes teores de EE, suportando maior exatidão ao sub-modelo adotado por Detmann et al. (2010a), o qual se baseia em fator multiplicativo (Tabela 3; Figura 1).

Semelhante aos resultados encontrados para o EEad, o sub-modelo destinado à predição dos CNFad proposto por Detmann et al. (2010a) também apresentou menor QMEP, cuja redução foi atribuída quase exclusivamente ao menor vício das estimativas. Assim, ambos os modelos foram igualmente precisos, mas menor exatidão foi verificada com o sub-modelo adotado pelo NRC (2001) (Tabela 3; Figura 2).

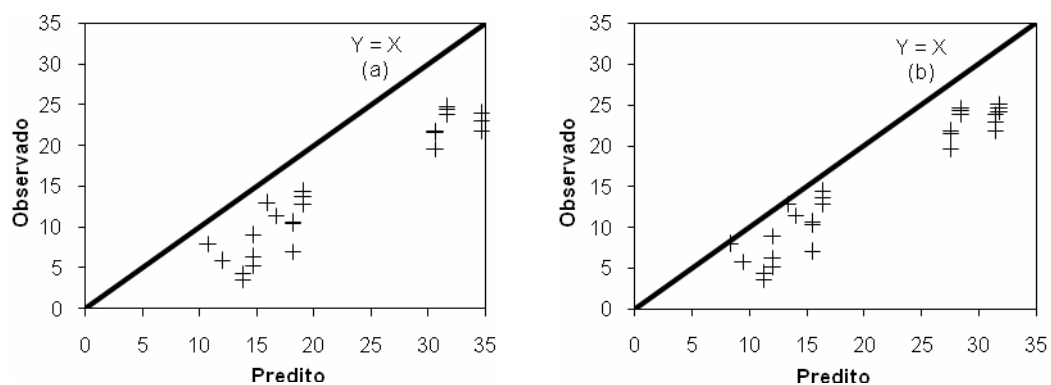


Figura 2 - Relação entre valores preditos e observados da concentração dietética (% da matéria seca) de carboidratos não fibrosos aparentemente digestíveis [NRC (2001), a; Detmann et al. (2010a), b].

Ambos os sub-modelos destinados à predição dos CNFad são baseados no conceito de entidade nutricional (Weiss et al., 1992; Detmann et al., 2006a), apresentando coeficientes de digestibilidade verdadeiros similares (Detmann et al., 2006a). Isto indica que os sub-modelos produzem estimativas similares dos CNF verdadeiramente digestíveis (Detmann et al., 2006a; 2008a). Dessa forma, a discrepância entre os sub-modelos deve ser atribuída exclusivamente sobre diferenças nas estimativas da fração metabólica fecal (Detmann et al., 2008a).

A fração metabólica fecal dos CNF implicitamente utilizada no sub-modelo adotado pelo NRC (2001), baseou-se em dados médios de composição fecal avaliados

em bovinos e ovinos em condições não-tropicais (Weiss et al., 1992). Contudo, a dimensão da fração metabólica fecal é diretamente influenciada pelo fluxo de nutrientes ao intestino grosso terminal, que implica alterações na atividade microbiana cecal, e pelo nível de componentes fibrosos na dieta; condições estas divergentes entre animais alimentados em condições tropicais e não-tropicais (Detmann et al., 2008a).

Assim, a maior eficiência de predição do sub-modelo proposto por Detmann et al. (2010a) para predição dos CNFad resulta de maior exatidão da estimativa da fração metabólica fecal. As estimativas mais exatas de frações metabólicas fecais podem, de forma complementar, contribuir para a exatidão das demais frações aparentemente digestíveis (EEad e PBad).

Devido ao grande número de sub-modelos avaliados para estimação da PBad, o que foi resultante da combinação de diferentes abordagens e métodos a partir dos fundamentos relatados por Detmann et al. (2010a), as estatísticas descritivas da relação entre valores preditos e observados (Tabela 4) foram interpretadas de forma multivariada por agrupamento hierárquico (Figura 3).

A análise multivariada evidenciou a formação de quatro grupos distintos: (1) sub-modelo uni-compartimental relatado por Detmann et al. (2010a); (2) sub-modelos bi-compartimentais, considerando-se todos os coeficientes de digestibilidade da PBPCpd e com estimação da PIIDN por aproximação química; (3) sub-modelos bi-compartimentais, considerando-se todos os coeficientes de digestibilidade da PBPCpd e com estimação da PIIDN por procedimento *in situ*; e (4) sub-modelo adotado pelo NRC (2001) (Figura 3).

De todos os grupos formados, maior discrepância foi observada para o sub-modelo uni-compartimental (Figura 3). Embora tenha produzido resultados exatos, com baixo erro médio de predição e, conseqüentemente, baixo QV, este sub-modelo

diferenciou-se dos demais principalmente por deficiência na simulação da magnitude das diferenças dos valores observados em torno da média amostral (alto valor do componente MaF; Tabela 3).

Tabela 4 - Médias (% da matéria seca) e estatísticas descritivas da relação entre valores observados e preditos da concentração dietética de proteína bruta aparentemente digestível

Modelo	Média	s	EMP <sup>1</sup>	QMEP <sup>1</sup>	QV <sup>1</sup>	MaF <sup>1</sup>	MoF <sup>1</sup>	r <sup>1</sup>	CCC <sup>1</sup>
Observado	4,38	3,39	-	-	-	-	-	-	-
NRC (2001)	3,74	2,81	-0,64	1,255	0,412	0,319	0,523	0,971	0,935
Detmann et al. (2010a) <sup>2</sup>									
U	4,12	2,10	-0,26	2,052	0,072	1,597	0,383	0,972	0,867
B/L/Q	4,81	2,44	0,42	1,611	0,182	0,876	0,552	0,965	0,905
B/C/Q	5,07	2,49	0,68	1,766	0,475	0,777	0,513	0,968	0,900
B/M/Q	4,95	2,47	0,56	1,676	0,320	0,825	0,529	0,967	0,903
B/L/S	4,43	2,49	0,04	1,303	0,002	0,782	0,518	0,968	0,923
B/C/S	4,59	2,56	0,20	1,188	0,043	0,666	0,477	0,971	0,932
B/M/S	4,52	2,52	0,13	1,237	0,017	0,724	0,494	0,970	0,928

<sup>1</sup> EMP, erro médio de predição; QMEP, quadrado médio do erro de predição; QV, quadrado do vício; MaF, magnitude de flutuação aleatória; MoF, modelo de flutuação aleatória; r, correlação linear de Pearson; CCC, coeficiente de correlação e concordância. <sup>2</sup> U e B, modelos unicompartimental e bicompartimental; L, C e M, coeficientes de digestibilidade da PBPCpd para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da PIIDN obtidas por aproximação química ou por procedimento *in situ*.

Os pressupostos teóricos que suportam a utilização do conceito unicompartimental apresentado na equação (12) assumem a PB do alimento/dieta como entidade nutricional (Detmann et al., 2008a). Isto implica que toda e qualquer fração da PB tenha utilização similar e homogênea no trato gastrointestinal. Contudo, sob condições tropicais, observa-se ampla influência sobre a utilização dos compostos nitrogenados oriunda de sua associação ou não com a parede celular vegetal. Isto implica diferenciação quanto à velocidade e extensão da ação microbiana (Henriques et

al., 2007; Detmann et al., 2008b) e atribui características bi-compartimentais ao processo de utilização da PB no trato gastrintestinal.

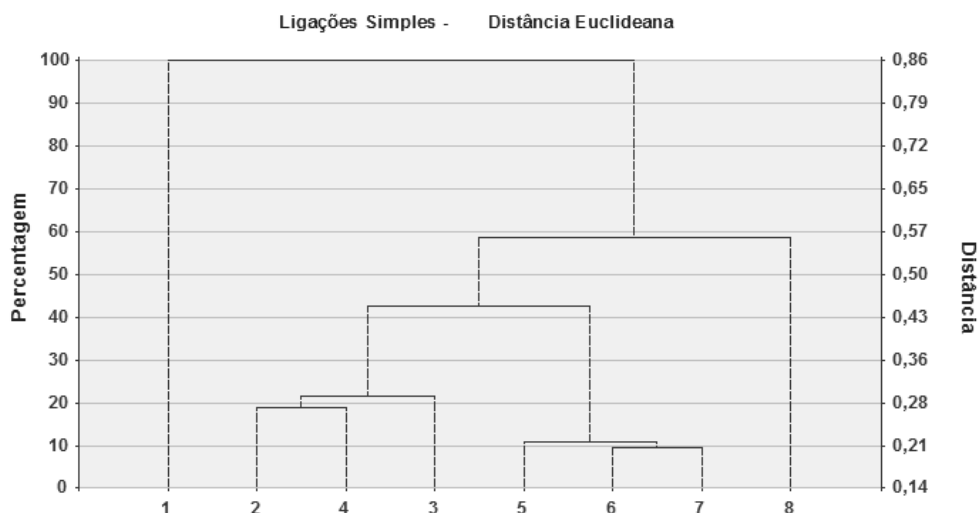


Figura 3 - Agrupamento hierárquico para as estimativas do teor dietético de proteína bruta aparentemente digestível [Detmann et al. (2010a): 1, U; 2, B/L/Q; 3, B/C/Q; 4, B/M/Q; 5, B/L/S; 6, B/C/S; 7, B/M/S; NRC (2001), 8] (U e B, modelos unicompartmental e bicompartimental; L, C e M, coeficientes de digestibilidade da PBPCpd para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da PIIDN obtidas por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

Este comportamento corrobora aos resultados obtidos por Detmann et al. (2008b) e Magalhães et al. (2010), que observaram que o sub-modelo unicompartmental estimou de forma menos eficiente a PBad em condições tropicais em comparação à interpretação do processo digestivo da PB de forma bi-compartimental.

A utilização das diferentes estimativas de coeficiente de digestibilidade da PBPCpd não resultou em dissimilaridade na aplicação do conceito bi-compartimental proposto por Detmann et al. (2008b; 2010a) (Tabela 4; Figura 3). Isto se deve ao fato de a PBPCpd representar pequena fração da PB total (Tabela 1), fazendo com que alterações no coeficiente de digestibilidade desta sejam de pouca magnitude frente ao teor total de PBad.

Por outro lado, dissimilaridade na utilização do conceito bi-compartimental proposto por Detmann et al. (2008b; 2010a) foi observada quando as estimativas de PIIDN foram obtidas por aproximação química ou por procedimento *in situ* (Figura 3). Neste caso, a utilização de procedimento *in situ* propiciou estimativas mais exatas de PBad, apresentado os menores vícios entre todos os sub-modelos avaliados (Tabela 3).

A aproximação química da PIIDN via PIDA apresenta algumas limitações em virtude da PIIDN constituir conceito biológico de alta variabilidade (Detmann et al., 2010a; 2010b). Assim, esta solução deve ser utilizada com cautela; sendo preferível, quando viável, a estimação da PIIDN por método de natureza biológica, ou seja, pela avaliação da PB residual da FDNi estimada por procedimentos de incubação ruminal *in situ* de longa duração, seguida pelo tratamento da amostra com detergente neutro para remoção de debris microbianos (Clipes et al., 2010; Detmann et al., 2010b).

O sub-modelo utilizado pelo NRC (2001) forneceu resultados com exatidão similar àquela observada para os sub-modelos bi-compartimentais considerando-se aproximação química para a PIIDN (Tabela 4; Figura 4). Este comportamento pode ser atribuído ao fato de ambas as aproximações calcarem-se na utilização da PIDA como elemento preditor da degradação protéica (Equações 4, 5 e 17). Contudo, o principal elemento de dissimilaridade para o sub-modelo proposto pelo NRC (2001) foi sua menor estimativa do componente MaF, o que lhe atribui maior precisão (Tabela 4). Este comportamento pode refletir o fato de a ação da PIDA ser considerada diferente sobre a utilização da PB de volumosos e concentrados pela abordagem dada pelo NRC (2001), ao passo que Detmann et al. (2010a; 2010b) não consideraram tal diferenciação em sua aproximação.

A análise de agrupamento com base nas estatísticas descritivas para a relação entre valores preditos e observados para FDNd (Tabela 5) permitiu evidenciar



similaridade para a maioria dos sub-modelos avaliados, com exceção das variantes baseadas na proposição de Detmann et al. (2010a) nas quais de utilizou processo de estimação *in situ* para a FDNpd associada aos coeficientes de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação e médio para as duas categorias animais (Figura 5). Para estes dois casos, verificaram-se os maiores vícios entre todos os sub-modelos avaliados, com subestimação da FDNd (Tabela 5, Figura 6).

Tabela 5 - Médias (% da matéria seca) e estatísticas descritivas da relação entre valores observados e preditos da concentração dietética de fibra em detergente neutro digestível

Modelo	Média	s	EMP <sup>1</sup>	QMEP <sup>1</sup>	QV <sup>1</sup>	MaF <sup>1</sup>	MoF <sup>1</sup>	r <sup>1</sup>	CCC <sup>1</sup>
Observado	33,59	8,01	-	-	-	-	-	-	-
NRC(2001)	30,72	4,47	-2,87	36,551	8,253	12,026	16,271	0,764	0,593
Detmann et al. (2010a)									
L/Q	30,16	4,62	-3,43	39,994	11,777	11,085	17,131	0,760	0,578
C/Q	37,81	5,79	4,22	44,039	17,808	4,731	21,500	0,759	0,610
M/Q	34,21	5,24	0,61	27,204	0,380	7,393	19,431	0,760	0,691
L/S	23,84	3,11	-9,75	129,058	95,090	23,134	10,834	0,774	0,228
C/S	29,89	3,90	-3,70	43,542	13,690	16,270	13,582	0,774	0,520
M/S	27,05	3,53	-6,54	74,512	42,879	19,349	12,282	0,774	0,366

<sup>1</sup> EMP, erro médio de predição; QMEP, quadrado médio do erro de predição; QV, quadrado do vício; MaF, magnitude de flutuação aleatória; MoF, modelo de flutuação aleatória; r, correlação linear de Pearson; CCC, coeficiente de correlação e concordância. <sup>2</sup> L, C e M, coeficientes de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da FDNpd obtidos por aproximação química ou por procedimento *in situ*.

A derivação meta-analítica dos coeficientes de digestibilidade da FDNpd utilizados no sub-modelo proposto por Detmann et al. (2010a) baseou-se na estimação da fração FDNpd por procedimentos de incubação *in situ* (Detmann et al., 2007). Neste trabalho foram utilizados bovinos em crescimento, o que parece justificar a melhor eficiência de predição com a estimação *in situ* utilizando-se o coeficiente de digestibilidade estimado para esta categoria animal (Tabela 5; Figura 6). A substituição pelo coeficiente de digestibilidade aplicado para vacas em lactação (0,67) e pela média

de ambas as categorias (0,76) subestimou a FDNd, uma vez que são menores que o coeficiente de digestibilidade aplicado a bovinos em crescimento (0,84).

Desta forma, o sub-modelo baseado na estimação biológica da FDNpd e na utilização do coeficiente de digestibilidade sugerido para bovinos em crescimento deve ser assumido como referência para comparação dos demais sub-modelos com base em sua fundamentação teórica e experimental.

Independentemente do coeficiente de digestibilidade adotado, a utilização de aproximação química para estimação da FDNpd conferiu resultados similares ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001) e à utilização de procedimento *in situ* com o coeficiente de digestibilidade para bovinos em crescimento proposto por Detmann et al. (2010a) (Figura 6).

Tanto no sub-modelo adotado pelo NRC (2001) (Equação 6), como nos sub-modelo com aproximação química sugerido por Detmann et al. (2010a) (Equação 11), os processos de estimação da fração FDNpd e de seu coeficiente de digestibilidade foram conduzidos de forma independente (Weiss et al., 1992; Detmann et al., 2004; 2007). Desta forma, vícios opostos poderiam ser verificados em cada um dos processos, fazendo com que o sub-modelo final, dado pela junção destas duas características, apresente vício similar ao sub-modelo assumido como referência descrito anteriormente.

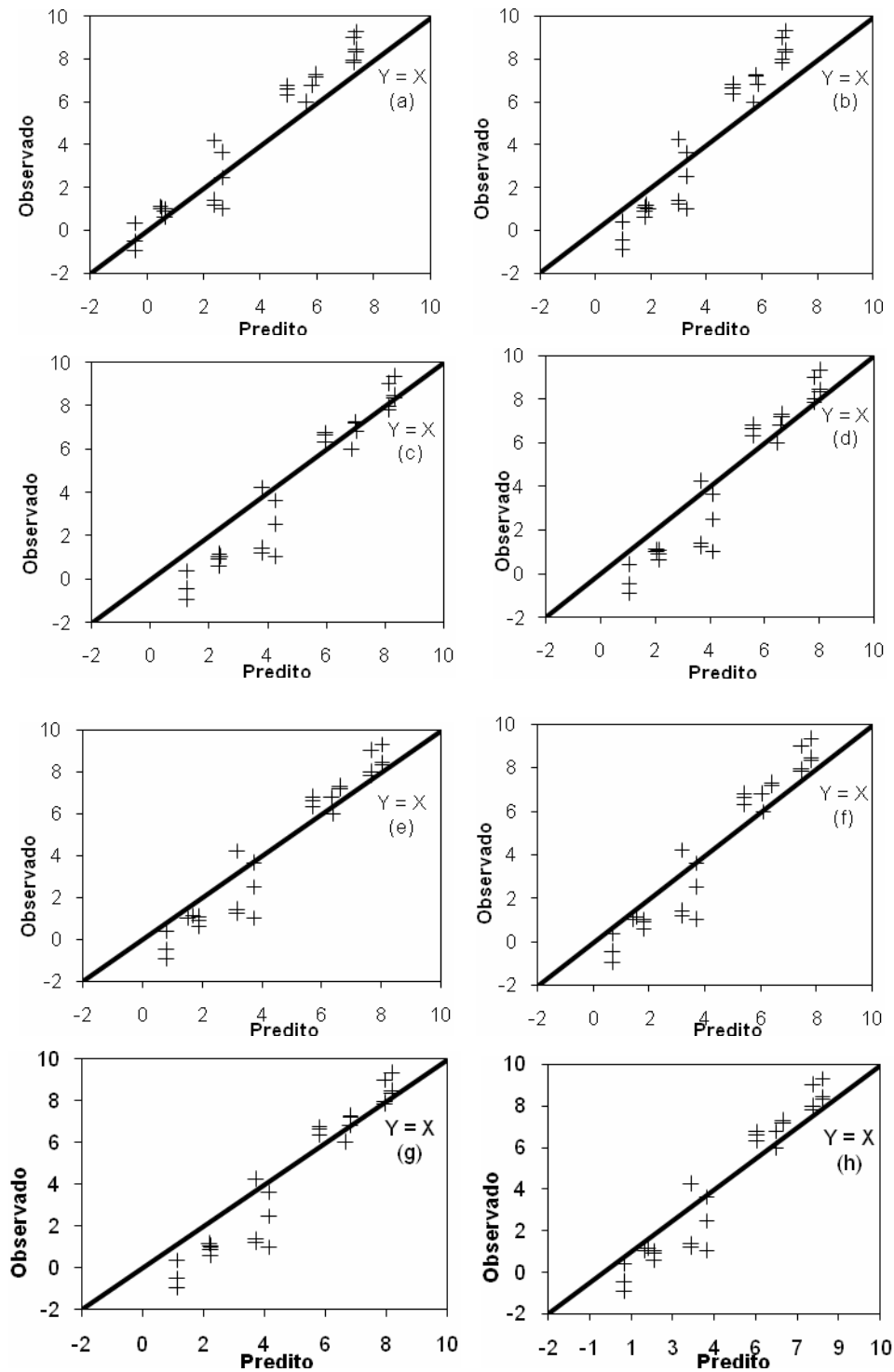


Figura 4 - Relação entre valores preditos e observados da concentração dietética (% da matéria seca) de proteína bruta aparentemente digestível [NRC (2001), a; Detmann et al. (2010a): b, U; c, B/C/Q; d, B/L/Q; e, B/C/S; f, B/L/S; g, B/M/Q; h, B/M/S] (U e B, modelos unicompartimental e bicompartimental; L, C e M, coeficientes de digestibilidade da PBPCpd para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da PIIDN obtidas por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

Segundo Detmann et al. (2007), a utilização de estimativas gravimétricas do teor de lignina, como utilizado nos sub-modelos com aproximação química, podem não conferir estimativas exatas das frações FDN<sub>pd</sub> e FDN<sub>i</sub>, uma vez que efeitos ambientais diversos exercem influências marcantes na estrutura química e no arranjo espacial do complexo lignina na parede celular vegetal. Desta forma, uma simples estimativa gravimétrica não permitiria estimar com acurácia a verdadeira ação inibitória da lignina sobre os carboidratos fibrosos dos alimentos.

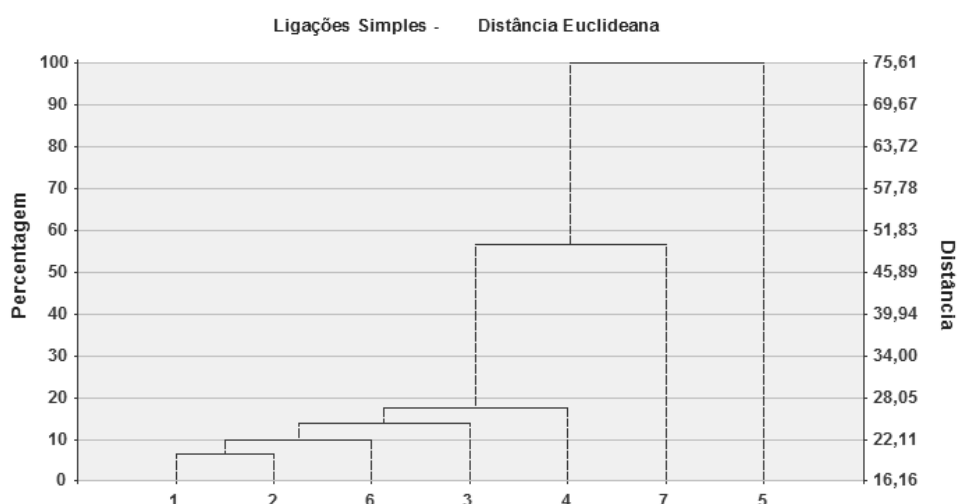


Figura 5 - Agrupamento hierárquico para as estimativas do teor dietético de fibra em detergente neutro digestível [NRC(2001), 1; Detmann et al. (2010a): 2, L/Q; 3, C/Q; 4, M/Q; 5, L/S; 6, C/S; 7, M/S] (L, C e M, coeficientes de digestibilidade da FDN<sub>pd</sub> para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da FDN<sub>pd</sub> obtidos por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

A partir dos resultados apresentados, os teores de NDT (Tabela 6) foram estimados de acordo com os fundamentos expostos por Detmann et al. (2010a) utilizando-se abordagens para as frações PBad e FDN<sub>d</sub> nas quais se consideraram ambas as aproximações (química e *in situ*) para estimação da PIIDN e da FDN<sub>pd</sub>. Devido à ausência da influência dos diferentes coeficientes de digestibilidade da PBPC<sub>pd</sub> sobre a PBad (Tabela 4; Figura 4), somente o coeficiente aplicado a bovinos

em crescimento foi avaliado, pois propiciou a melhor estimativa de FDNd considerando-se a avaliação *in situ* da FDNpd (Tabela 5) e agrega à categoria animal avaliada neste estudo.

Adicionalmente, a predição da fração FDNi por intermédio de métodos químicos torna-se dependente da associação entre a estimativa do conteúdo de lignina e a extensão do processo de degradação da fração fibrosa insolúvel. Segundo Gomes (2010), nenhum dos diferentes métodos empregados na avaliação de lignina atende plenamente à expectativa nutricional, havendo divergências significativas nos resultados obtidos em laboratórios para todos os métodos aplicados. Correlações mais fortes entre teores de lignina e extensão da degradação ruminal da FDN tem sido obtidas com métodos distintos daquele adotado pelo NRC (2001) e sugerido por Detmann et al. (2010a) (Traxler et al., 1998; Gomes, 2010). Isto parece indicar que limitações intrínsecas do teor de lignina estimado por intermédio do método da hidrólise ácida podem reduzir a exatidão das estimativas das frações FDNpd e FDNi por vias químicas.

Assim, a obtenção de estimativas da FDNi e FDNpd por intermédio de método biológico (procedimento *in situ*) deve ser considerada, em essência, método de estimação mais exato para se acessar os teores de FDNd.

Considerando-se simultaneamente exatidão e precisão, o que é ponderado pela estimativa de CCC, as melhores estimativas do teor de NDT foram obtidas utilizando-se o procedimento de estimação *in situ* da FDNpd, independentemente da aproximação adotada para a PBad. Por outro lado, a utilização de aproximação química para a FDNpd reduziu a exatidão e precisão das estimativas, apresentando, adicionalmente, pouca influência do método de estimação da PIIDN (Tabela 6; Figuras 7 e 8).

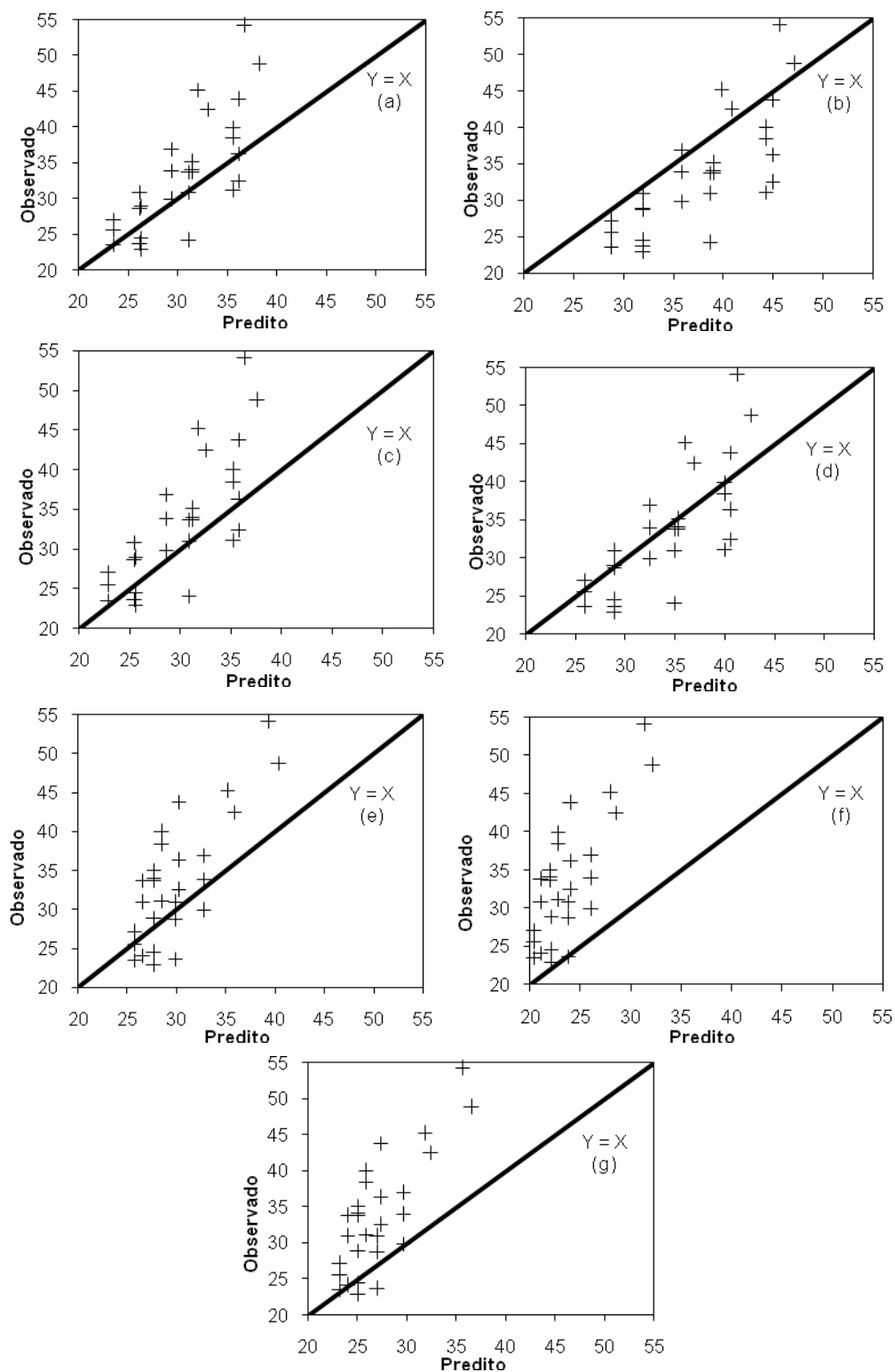


Figura 6 - Relação entre valores preditos e observados da concentração dietética (% da matéria seca) de fibra em detergente neutro digestível [NRC (2001), a; Detmann et al. (2010a): b, C/Q; c, L/Q; d, M/Q; e, C/S; f, L/S; g, M/S] (L, C e M, coeficientes de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação, bovinos em crescimento e terminação e a média destes, respectivamente; Q e S, estimativas da FDNpd obtidos por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

Primeiramente, este comportamento corrobora o fato de a pequena perda de exatidão observada ao se substituir os procedimentos *in situ* por aproximação química para estimação da PIIDN (Tabela 4) não exercer influência marcante sobre as estimativas de NDT (Figura 7). Por outro lado, uma vez optando-se pelo procedimento *in situ* para estimação da FDN<sub>pd</sub>, torna-se natural a avaliação da PIIDN por procedimento *in situ*, uma vez que esta consiste da PB presente na FDN<sub>i</sub>, o que somente exigiria uma avaliação laboratorial adicional, simples e rápida.

Tabela 6 - Médias (% da matéria seca) e estatísticas descritivas da relação entre valores observados e preditos do conteúdo dietético de nutrientes digestíveis totais

Modelo	Média	s	EMP <sup>1</sup>	QMEP <sup>1</sup>	QV <sup>1</sup>	MaF <sup>1</sup>	MoF <sup>1</sup>	r <sup>1</sup>	CCC <sup>1</sup>
Observado	56,60	9,54	-	-	-	-	-	-	-
NRC(2001) Detmann et al. (2010a) <sup>2</sup>	58,37	8,27	1,77	59,067	3,158	1,557	54,352	0,643	0,624
PQ/FQ	66,61	6,25	10,01	151,731	100,228	10,430	41,071	0,643	0,333
PS/FQ	66,13	6,26	9,53	143,047	90,854	10,367	41,825	0,637	0,344
PQ/FS	58,69	10,94	2,09	51,166	4,375	1,877	44,904	0,777	0,754
PS/FS	58,21	10,92	1,61	49,670	2,601	1,836	45,233	0,775	0,758

<sup>1</sup> EMP, erro médio de predição; QMEP, quadrado médio do erro de predição; QV, quadrado do vício; MaF, magnitude de flutuação aleatória; MoF, modelo de flutuação aleatória; r, correlação linear de Pearson; CCC, coeficiente de correlação e concordância. <sup>2</sup> PQ e PS, PIIDN estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*; FQ e FS, FDN<sub>pd</sub> estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*.

As menores precisão e exatidão dos teores de NDT obtidos a partir da utilização de aproximação química para a FDN<sub>pd</sub> no sub-modelo adotado por Detmann et al. (2010a) parece ser resultante de alguma incompatibilidade entre as estimativas do coeficiente de digestibilidade da FDN<sub>pd</sub> e do fator de proteção atribuído à lignina (Equação 11). Como ressaltado anteriormente, tais parâmetros foram estimados independentemente (Detmann et al., 2004; 2007), o que poderia ocasionar tais limitações no processo de estimação. Estes argumentos são reforçados pela variação verificada nas estimativas do componente MaF para a FDN<sub>d</sub> quando utilizadas

diferentes estimativas do coeficiente de digestibilidade da FDNpd (Tabela 5). Embora o sub-modelo aplicado à estimação da FDNd adotado pelo NRC (2001) tenha base similar à aproximação química sugerida por Detmann et al. (2010a), este conferiu maior precisão às estimativas de NDT (Tabela 6).

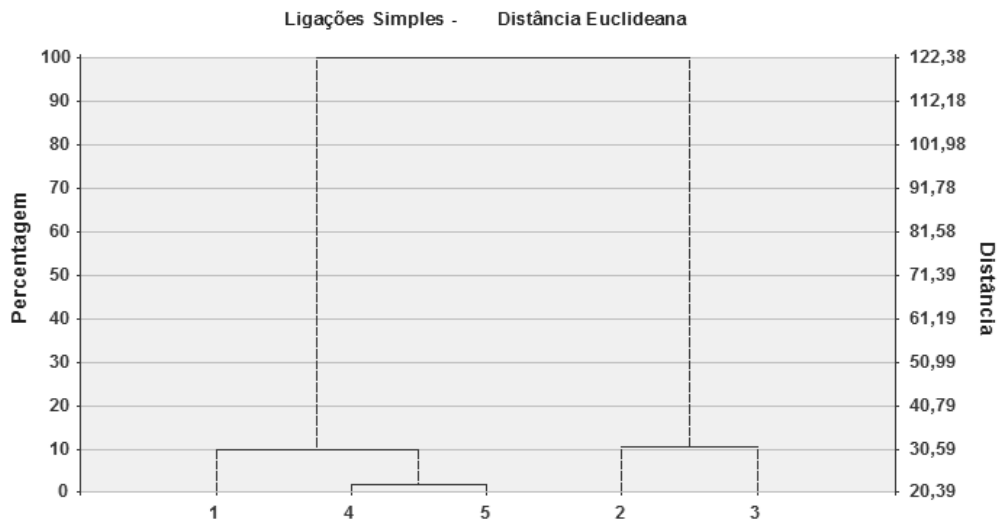


Figura 7 - Agrupamento hierárquico para as estimativas do teor dietético de nutrientes digestíveis totais [NRC (2001), 1; Detmann et al. (2010a): 2, PQ/FQ; 3, PS/FQ; 4, PQ/FS; 5, PS/FS] (PQ e PS, PIIDN estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*; FQ e FS, FDNpd estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

Ressalta-se que as dietas avaliadas neste estudo podem ser consideradas de média a baixa qualidade (Tabela 2), o que pode contribuir para a menor eficiência de predição para a aproximação química da FDNpd sugerida por Detmann et al. (2008a; 2010a). Contrariamente ao observado neste estudo, Detmann et al. (2008a) e Magalhães et al. (2010) avaliaram dietas com qualidades superiores às avaliadas neste estudo e verificaram que a aproximação química adotada pelo NRC (2001) produziu resultados com menor precisão (menor estimativa do componente MaF) em comparação à aproximação química sugerida por Detmann et al. (2010a).



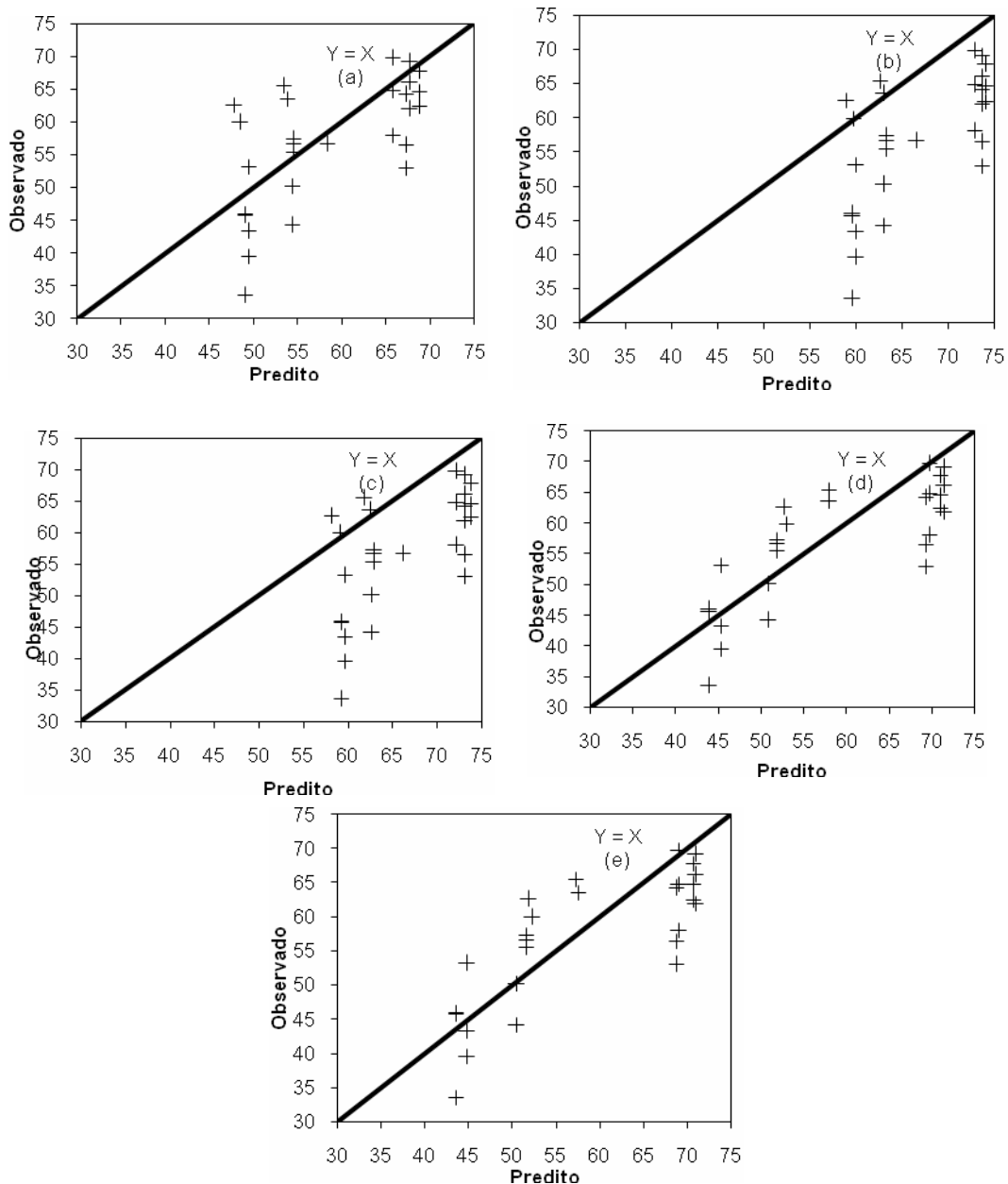


Figura 8 - Relação entre valores preditos e observados da concentração dietética (% da matéria seca) de nutrientes digestíveis totais [NRC (2001), a; Detmann et al. (2010a): b, PQ/FQ; c, PS/FQ; d, PQ/FS; e, PS/FS] (PQ e PS, PIIDN estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*; FQ e FS, FDNpd estimada por aproximação química ou por procedimento *in situ*).

Isto evidencia que a alta variabilidade natural do processo de interação entre carboidratos e compostos carboidratos fenólicos na fração fibrosa insolúvel ainda representa ponto de estrangulamento ao processo preditivo da fração digestível da FDN por aproximação química; exigindo, desta forma, o desenvolvimento de modelos a

partir de banco de dados de maior amplitude em termos de qualidade e composição dietética.

### Conclusão

Estimativas do teor de nutrientes digestíveis totais foram mais eficientemente produzidas a partir dos sub-modelos propostos por Detmann et al. (2010a) quando considerados procedimentos biológicos para estimação da fração indegradável da proteína e da fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro.

### Referências

- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al., Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.
- CLIPES, R.C.; SILVA, J.F.C.; DETMANN, E. et al. Proteína insolúvel em detergente ácido como estimador da fração protéica não degradável no rúmen de forragens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, p.463-473, 2010.
- CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O. et al. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.427-436, 1984.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 390p.
- DETMANN, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; QUEIROZ, A.C. et al. (Eds.). **Novilhas leiteiras**. Fortaleza: Graphiti Gráfica e Editora Ltda, 2010. p. 253-302.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p.980-984, 2010.
- DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1866-1875, 2004.
- DETMANN, E.; PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos utilizando-se o conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1479-1486, 2006a.

- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1469-1478, 2006b.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Reparametrização do modelo baseado na lei de superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.155-164, 2007.
- DETMANN E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008a.
- DETMANN, E.; MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Desenvolvimento de um sub-modelo bicompartimental para estimação da fração digestível da proteína bruta em bovinos a partir da composição química dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.2215-2221, 2008b.
- DETMANN, E. VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M. F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L. et al. (Eds.). **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE**. 2 ed. Viçosa: DZO-UFV, 2010a. p.47-64.
- DETMANN, E.; SILVA, J.F.C.; CLIPES, R.C. et al. Estimação por aproximação química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, p.742-746, 2010b.
- GOMES, D.I. **Avaliação do teor de lignina em forragens tropicais por diferentes métodos analíticos e sua associação com a degradação da fibra insolúvel**. 2010. 38f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- HENRIQUES L.T.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C. et al. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59,p.258-263, 2007
- KOBAYASHI, K.; SALAM, M.U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. **Agronomy Journal**, v.92, p.345-352, 2000.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE, 16, 1959. **Proceedings...** Mississippi, p.23-26, 1959.
- MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.155, p.44-54, 2010
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: Academic Press, 2001. 381p.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos**. Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v.89, p.225–247, 2006.
- TRAXLER, M.J.; FOX, D.G.; Van SOEST, P.J. et al. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. **Journal of Animal Science**, v.76, p.1469-1480, 1998.
- VALENTE, T.N.P. **Utilização de tecidos na avaliação de compostos fibrosos e na degradação ruminal *in situ* de alimentos para ruminantes**. 2010. 90f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; St.PIERRE, N.R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.