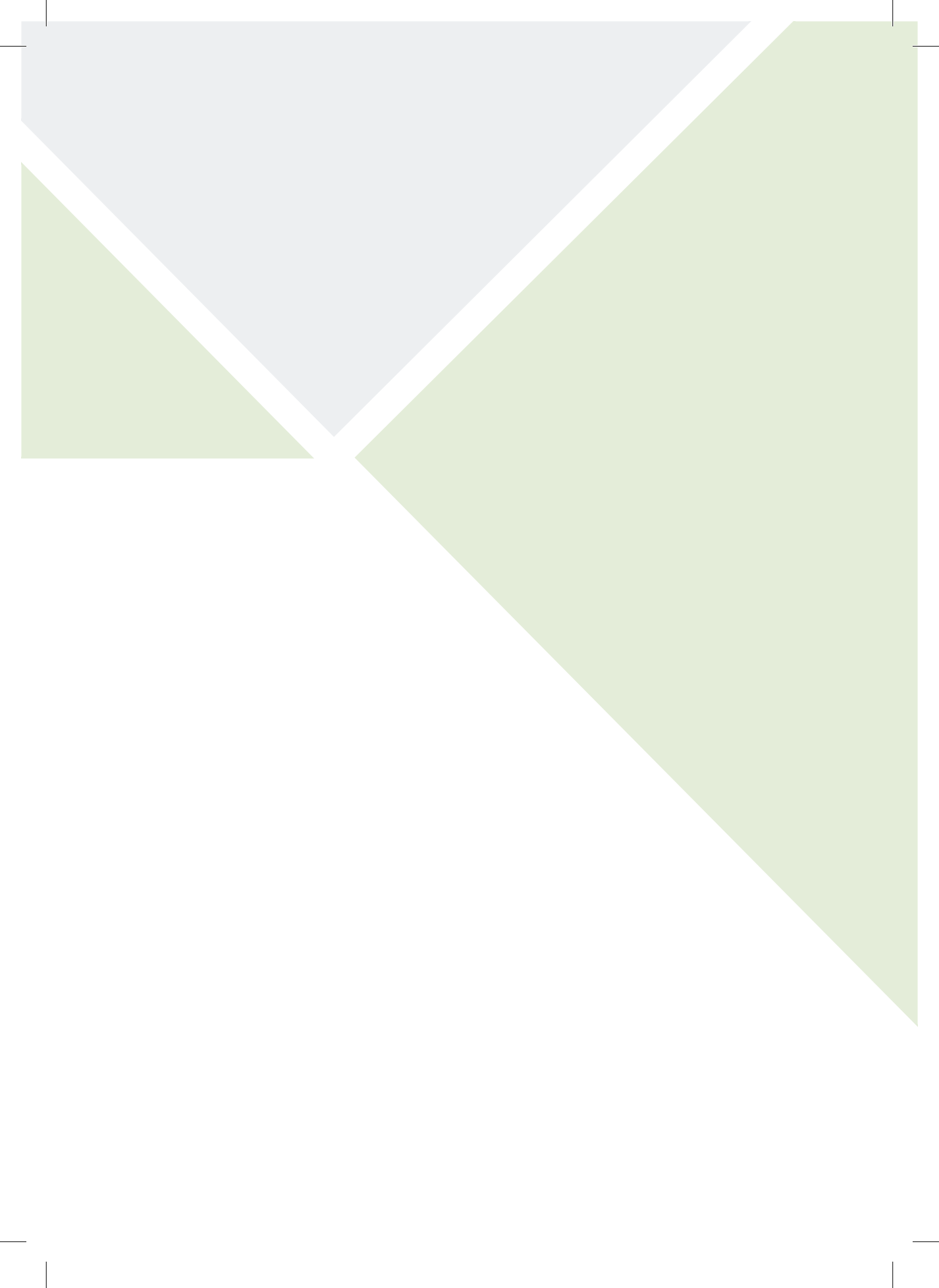


2

CAPÍTULO

Partição de energia e sua determinação na nutrição de bovinos de corte

*Sérgio Raposo de Medeiros
Tiago Zanetti Albertini*



▶ ENERGIA DOS ALIMENTOS

Ao contrário dos demais nutrientes, a energia não é uma porção física do alimento, da qual podemos fazer uma análise de laboratório para determinar a quantidade disponível para os animais.

A energia é um atributo do alimento relacionado com o potencial que este tem de gerar trabalho. Os trabalhos que devem ser realizados para manutenção da vida animal seriam, basicamente, a manutenção dos gradientes eletroquímicos das membranas, manutenção da pressão-volume e a síntese de macromoléculas. Na Figura 2.1, é demonstrado um esquema da partição da energia no ruminante, conforme a proposta do sistema de energia líquida utilizado pelo sistema de alimentação americano de gado de corte e de gado de leite.

A energia química presente nos alimentos, obtida através da sua combustão completa até CO_2 e H_2O é chamada de **Energia Bruta**. A quantidade de energia bruta de um alimento depende da sua composição química, mas guarda pouca relação com o que está disponível para o animal, apesar de, em grande parte, o animal utilizar a oxidação como forma de gerar energia. Isto porque existem perdas no processo de digestão e metabolização que são extremamente variáveis.

A *primeira perda de energia* que ocorre equivale à fração não digerida que se perde nas fezes (energia bruta das fezes). Essa perda varia de acordo com a digestibilidade dos alimentos, desde valores menores que 10%, como no caso de alguns grãos de cereais, até 70%, no caso de uma palha, considerando digestibilidades de 90% e 30%, respectivamente.

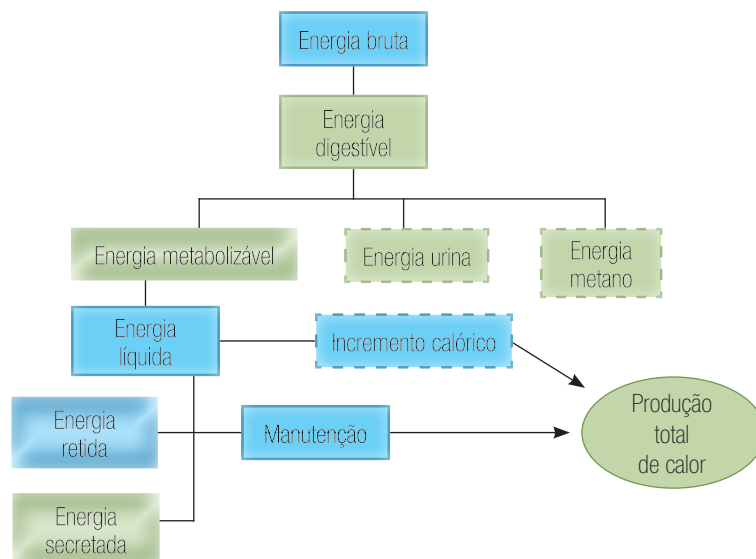


FIGURA 2.1.

Partição de energia do alimento como ocorre em ruminantes conforme proposta do sistema de energia líquida.

Assim, descontando a primeira ineficiência que é a energia perdida nas fezes, sobra a porção da energia química que é absorvida pelo organismo, chamada **Energia Digestível**.

A *segunda perda de energia*, ou seja, a próxima ineficiência do processo, ocorre no metabolismo da energia absorvida (digestível). Essa ineficiência decorre da perda de energia através da urina e dos gases. A perda através dos gases é particularmente importante para ruminantes, por causa da fermentação ruminal. Descontadas as perdas da energia da urina mais as dos gases, ficamos com a **Energia Metabolizável**, ou energia disponível às células do animal.

A *terceira perda de energia* seria o **Incremento Calórico**, que é a perda energética na forma de calor inerente a metabolização dos alimentos. Subtraindo-se o incremento calórico da **Energia Metabolizável** tem-se a **Energia Líquida**, que é efetivamente a energia disponível para o animal sobreviver e produzir.

Parte da **Energia Líquida** vai para o metabolismo basal do animal, que, basicamente, seria responsável pela manutenção da temperatura corporal, potencial de membranas e “turnover” de macromoléculas, conhecida como **Energia Líquida de Manutenção**.

A outra parte da energia seria a responsável pela produção animal, isto é, seria a **Energia Líquida de Produção**, usada para crescimento ou secreção dos produtos animais (carne, leite, gestação).

As vantagens do sistema de energia líquida seriam que: 1) a energia expressa como energia líquida é independente do tipo de dieta e 2) os valores de energia do alimento são determinados separadamente para diferentes funções fisiológicas, isto é manutenção, ganho, lactação e gestação.

O CONCEITO DE NUTRIENTES DIGESTÍVEIS TOTAIS (NDT) E SEU USO

O NDT (Nutrientes Digestíveis Totais) é um dos modos mais empregados de expressão de energia. Ele representa a soma das frações digestíveis dos alimentos de acordo com as análises de Wendee (Sistema Proximal): proteína digestível (PBD), fibra bruta digestível (FBD), extrativo não nitrogenado digestível (ENND) e extrato etéreo digestível (EED), conforme equação:

$$\text{NDT}(\%) = \% \text{PBD} + \% \text{FBD} + \% \text{ENND} + (\% \text{EED} \times 2,25)$$

Nessa fórmula podemos ver que se considera que a proteína, a fibra e os carboidratos solúveis (representados pelo ENN) contribuiriam com a mesma quantidade de energia e que o EE contribuiria com 2,25 vezes mais energia do que elas.

O sistema do NDT é de uso fácil, mas apresenta imperfeições tais como:

- 1) Incorpora os defeitos do sistema de análise proximal (Weende);
- 2) Leva em conta apenas perdas digestivas de energia;
- 3) Leva em conta as rotas metabólicas dos nutrientes apenas ao definir o valor 4 kcal/g para o teor de energia dos carboidratos digestíveis (ENN, FB) e de 9 kcal/g para o EE digestível. A água e cinzas (MM)

não contêm energia. O teor de 5,6 kcal/g da PB é substituído por 4 kcal/g para considerar as perdas urinárias de N. Note-se que apesar dos cálculos serem feitos em porcentagem, eles guardam relação com os valores dos componentes em calorias por quilo, sendo possível converter dados de NDT em porcentagem para essas unidades.

- 4) Superestima o valor nutritivo dos alimentos fibrosos e subestima o valor dos concentrados, em função do exposto nos dois itens anteriores. As perdas com alimentos concentrados são menores (metano e incremento calórico) do que para volumosos.
- 5) Como o EE é multiplicado por 2,25, alimentos com alto teor de EE podem ter teor de NDT superior a 100%.
- 6) Incorpora os vícios e erros das estimativas da digestibilidade de cada fração dos alimentos, por exemplo, nos cálculos da digestibilidade aparente da proteína (diferença entre a PB do alimento menos a PB das fezes pode conter erros da excreção de proteína animal – secreções endógenas, descamações do epitélio e microrganismos).

Mensuração ou estimativa do NDT

O *NDT é medido* em ensaios de digestibilidade onde todo o alimento consumido e as fezes produzidas são pesadas e analisadas (Weende). Normalmente, a alimentação é feita em nível de manutenção. Isso pode fazer com que o valor determinado de NDT seja superestimado em relação aos valores reais dos níveis obtidos em produção, pois uma maior ingestão pode resultar em maiores taxas de passagem, o que deprime a digestibilidade do alimento.

O *NDT pode ser estimado*, para ruminantes, através de regressão até com um único nutriente. Por exemplo, é possível encontrar uma fórmula, no site da Universidade de Clemson(USA), para estimar NDT de grãos que usa apenas o valor de fibra detergente ácido (FDA): $NDT = 93.59 - (FDA \times 0.936)$, mas, o que se ganha em simplicidade (precisar apenas o dado de FDA), perde-se em exatidão. Assim, outras fórmulas foram criadas, com o uso de dois ou mais componentes químicos dos alimentos, o que permitiu uma maior aproximação do valor estimado com o valor real. Há uma infinidade de fórmulas na literatura, inclusive desenvolvidas no Brasil (Capelle et al, 2001). Aqui, vamos usar uma delas, a de Kearl, para mostrar como ela funciona e suas limitações por se basearem apenas em relações matemáticas.

Kearl (1982) desenvolveu cinco equações, sendo cada uma para determinada classe de alimentos. Por ser uma relação unicamente empírica, isto é, sem nenhuma relação causa-efeito para embasá-la, mas apenas uma relação estatística entre os teores dos nutrientes e energia disponível, a acurácia do resultado depende da adequação do alimento à fórmula. Em outras palavras, a correta escolha da fórmula conforme a classe de alimento e da similaridade deste com aqueles que geraram o modelo são fundamentais para o bom resultado da estimativa (é um modelo dependente de população).

A seguir, são descritas estimativas da porcentagem % de NDT em função da composição bromatológica para diferentes classes de alimentos (Kearl, 1982, descrito por Boin, 1992).

- Feno, Palha e Resíduos Fibrosos Secos
 $\% \text{NDT} = -17,2649 + 1,2120\% \text{PB} + 0,8352\% \text{ENN} + 2,4637\% \text{EE} + 0,4475\% \text{FB}$
- Pastagens e Forragens Frescas
 $\% \text{NDT} = -21,7656 + 1,4284\% \text{PB} + 1,0277\% \text{ENN} + 1,2321\% \text{EE} + 0,4867\% \text{FB}$
- Silagens de Volumosos
 $\% \text{NDT} = -21,9391 + 1,0538\% \text{PB} + 0,9736\% \text{ENN} + 3,0016\% \text{EE} + 0,4590\% \text{FB}$
- Alimentos Energéticos: $\leq 20\% \text{PB}$ e $\leq 18\% \text{FB}$
 $\% \text{NDT} = 40,2625 + 0,1969\% \text{PB} + 0,4228\% \text{ENN} + 1,1903\% \text{EE} - 0,1379\% \text{FB}$
- Suplementos Proteicos: $\geq 20\% \text{PB}$
 $\% \text{NDT} = 40,3227 + 0,5398\% \text{PB} + 0,4448\% \text{ENN} + 1,4218\% \text{EE} - 0,7007\% \text{FB}$

O uso de uma fórmula para alimento que não se encaixe naquela categoria resulta em valores pouco confiáveis. Um bom exemplo é de uma propaganda de casca de soja em que o valor de NDT atribuído ao produto era 58%. Ocorre que o valor de tabela deste alimento é igual a 68%. Utilizando os dados dos nutrientes na fórmula de Kearl para alimentos energéticos o valor era exatamente 58%, mostrando claramente que ela foi usada mesmo. O resultado desviou bastante do real, pois se trata de um alimento fora da população para qual as equações foram geradas. Essa é uma das grandes limitações na abordagem apenas matemática desta questão.

EQUAÇÃO DE ENERGIA DE MÚLTIPLOS COMPONENTES TEORICAMENTE FUNDAMENTADA (EQUAÇÃO DE WEISS)

A proposta da equipe da Universidade de Ohio de uma equação de múltiplos componentes teoricamente fundamentada foi um grande avanço em relação às demais equações baseadas em regressão, como a de equação de Kearl e as descritas por Capelle et al (2001). A maior diferença entre elas é que a proposta de Ohio, conhecida como “equação de Weiss”, é baseada em fundamentos biológicos, tentando incorporar e explicar a mecânica do processo e não apenas em relações matemáticas.

A principal vantagem da elaboração de uma fórmula que use as concentrações de nutrientes para determinar a disponibilidade de energia baseando-se em relações de causa e efeito (abordagem mecanística) é que ela deverá ser independente de população. Ser independente de população significa que a mesma relação que existe do nutriente com a energia para uma amostra de milho é a que existe para uma amostra de alfafa. Dessa maneira, o FDN digestível da alfafa contribui da mesma maneira para o NDT que o FDN digestível do milho. Relações unicamente estatísticas (como a fórmula de Kearl) são, como já comentado, dependentes de população.

A fórmula de Weiss, de forma um pouco simplificada é:

$$\text{NDT (\%)} = (0,98 \times \text{CNF}) + (0,93 \times \text{PB}) + 2,25 \times (\text{EE}-1) + 0,75 \times (\text{FDNIpb} - \text{Lig}) \times [1 - (\text{Lig}/\text{FDNIpb})^{0,667}] - 7$$

Onde:

NDT = Nutrientes digestíveis totais

CNF = Carboidratos não fibrosos

PB = Proteína Bruta

EE = Extrato etéreo

FDNIpb = Fibra detergente neutro livre de proteína bruta

Lig = Lignina

Em seguida, abordaremos cada um dos fatores da equação.

[F1] Fator dos carboidratos não fibrosos: 0,98 × CNF

O valor de 0,98 seria a média da digestibilidade verdadeira desta fração, isto é 98% dos CNF seriam digestíveis. Esse valor foi baseado na digestibilidade dos compostos solúveis em detergente neutro, cujos valores variam de 0,85 a 1,20 para bovinos e ovinos alimentados em nível de manutenção.

[F2] Fator da proteína bruta: 0,93 × PB

A digestibilidade verdadeira da proteína bruta das forragens é próxima de 0,9 e 1,0 para dietas predominantemente compostas de concentrados. Mas a digestibilidade verdadeira da fração PB é altamente correlacionada com a fração PIDA, cujo aumento está particularmente relacionado com o aquecimento dos alimentos e resulta na redução da digestibilidade da proteína. Portanto, existem equações para determinar a digestibilidade verdadeira da PB em função do teor de PIDA.

Na verdade, são duas equações, uma para forragem e outra para concentrados.

$$\text{Digestibilidade PB forragem: } Kd_{\text{PB-F}} = e^{(-0,0012 \times \text{PIDA})}$$

$$\text{Digestibilidade PB concentrado: } Kd_{\text{PB-C}} = 1 - 0,0004 \times \text{PIDA}$$

Onde PIDA está expresso em g/kg da proteína bruta.

Para aplicação prática, é adequado o uso dos valores de 0,9 e 1,0, respectivamente, para forragens e concentrados que não passaram por processos que impliquem aquecimento. No caso de alimentos que passam por aquecimento, é recomendável a análise de PIDA e o uso das fórmulas acima.

Na fórmula simplificada, usa-se o valor de digestibilidade verdadeira igual a 0,93 para multiplicar a PB, independente de ser forrageira ou concentrado. Outra maneira simplificada de abordar essa questão é usar, no lugar de PB, o valor de Proteína Disponível que seria a PB menos a PIDA na % da MS. Nesse caso, considera-se que a proteína é, obviamente, 100% digestível e o fator usado é 1.

[F3] Fator da fibra: $0,75 \times (\text{FDN}_{\text{pb}} - \text{Lig}) \times [1 - (\text{Lig}/\text{FDN}_{\text{pb}})^{0,667}]$

A fração da fibra é representada pela análise de FDN corrigida para o conteúdo de PB, pois essa fração já está incluída na análise de PB e seria contabilizada duas vezes caso não fizéssemos a correção. É descontado, também, o teor de lignina. Outro motivo para descontar a PB do FDN é que o modelo da área de superfície lignina/FDN é baseado na premissa que o FDN é composto apenas por carboidratos e lignina e não há evidência de que a lignina interfira com a digestibilidade da proteína, o que será abordado em maiores detalhes mais adiante. Assim, precisamos usar a equação abaixo:

$$\text{FDN}_{\text{pb}} = \text{FDN} - \text{PB-NDF}$$

Para forragens que não passaram por aquecimento pode ser usada uma fórmula para estimar a PB-FDN com os valores em g/kg:

$$\text{PB-FDN} = -87,7 + 0,33 \times \text{PB} + 0,143 \times \text{FDN}$$

O coeficiente de digestibilidade verdadeira para a fração fibra é indicado como 0,75. Ele é empírico, obtido a partir dos dados usados para fazer o modelo e com um bom suporte de outros dados experimentais.

Ele é um valor baixo, pois a PB-FDN, fração mais digestível do FDN, foi descontada e porque inclui a redução na digestibilidade desta fração, pois parte dela que é potencialmente degradável, deixa o trato-gastrointestinal sem ser efetivamente degradada, por causa do tempo de permanência insuficiente para tal.

Esse coeficiente de digestibilidade pode ser substituído pelo valor estimado através do modelo de Waldo e Smith (1972) apresentado abaixo caso valores acurados da **taxa de degradação (kd)** do FDN_{pb} estejam disponíveis e usando o valor médio de **taxa de passagem (kp)** de 0,03/h (variação média entre 0,02 e 0,04/h).

Equação de Waldo e Smith (1972):

$$\text{Digestibilidade} = \text{kd} / (\text{kd} + \text{kp})$$

Por exemplo, se $\text{kd} = 0,08/\text{h}$ (= 8 % da forragem é degradada em 1 hora) e o $\text{kp} = 0,03/\text{h}$ (= 3 % da forragem escapa o rúmen em 1 hora), teríamos:

$$\text{Digestibilidade} = 0,08 / (0,08 + 0,03) = 0,08/0,11 = 0,72$$

Assim, a digestibilidade da FDN_{pb} seria de 72% e usaríamos o valor 0,72 no lugar do 0,75 da fórmula.

A fração **lignina (Lig)** é representada pela análise via sulfúrica. Ela entra na fórmula sendo descontada da FDN_{pb} e, mais importante, como o fator do modelo que contabiliza o efeito da lignina na indisponibilização da celulose e da hemicelulose = $[1 - (\text{Lig}/\text{FDN}_{\text{pb}})^{0,667}]$.

Se a lignina for igual a zero, a fração fibra (= $\text{FDN}_{\text{pb}} - \text{Lig}$) seria aproveitada em 75%, considerando o valor 0,75 na fórmula. Quanto maior o teor da lignina, menor o valor da fração $[1 - (\text{Lig}/\text{FDN}_{\text{pb}})^{0,667}]$ que, assim, reduz o valor de fibra digestível.

O modelo utilizado é o da área de superfície da lignina/FDN que estima a proporção da área da superfície da FDN coberta pela área da superfície da

lignina. A área da superfície é calculada pela potenciação a 0,667 da massa de lignina sobre FDNl_{pb}.

[F4] Fator do extrato etéreo: 2,25 × (EE-1)

A digestibilidade verdadeira depende, além da composição de ácidos graxos, da concentração da gordura na dieta (comentada em mais detalhes em capítulo específico deste livro). Dietas com 1% de ácidos graxos na MS tiveram digestibilidade verdadeira igual a 1,0 que foi reduzida para 0,78 em dietas com 8% de ácidos graxos na MS.

Na fórmula geral, o valor do coeficiente de digestibilidade verdadeira utilizado é 1,0, provavelmente considerando dietas dentro da faixa de teores razoáveis de EE (3-6%).

Vale lembrar que o EE pode ter outros componentes que não ácidos graxos. A transformação sugerida, baseada em um número limitado de dados, é que 10% do EE seriam componentes diferentes de ácidos graxos, como no caso do glicerol nos triglicerídeos.

O valor 2,25 corresponderia a quantas vezes os ácidos graxos teriam a mais de energia de combustão em relação à energia equivalente de carboidratos (9 Mcal/kg para ácidos graxos e 4 Mcal/kg para carboidratos).

[F5] Fator metabólico fecal

Todos os coeficientes dos fatores da equação equivalem a digestibilidade verdadeira, mas o NDT é baseado em digestibilidade aparente, portanto o modelo precisa incluir um fator metabólico fecal. Esse fator representa material de origem endógena do animal, como secreções intestinais e descamação do tecido gastrointestinal que é excretado nas fezes.

O valor estimado de NDT para a fração metabólica foi baseado em 130 g de material metabólico fecal por kg de MS ingerida, transformado em energia através da estimativa de sua composição média e o valor energético estimado para cada fração. O resultado aproximado é de 70 g/kg de NDT como sendo provenientes da contribuição endógena.

A rigor, o NDT metabólico fecal não deve ser constante, mas variar com o teor de fibra da dieta e do nível de ingestão de MS do animal, mas a equação usa o valor fixo mesmo.

Equações Completas de Weiss:

Quando não se conhece o teor de ácidos graxos

$$\text{NDTm} = 0,98 \times (1000 - \text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{PB} - \text{CINZA} - \text{EE}) + \text{kd}_{\text{PB}} \times \text{PB} + 2,25 \times (\text{EE}-10) + 0,75 \times (\text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{LIG}) \times [1 - (\text{LIG}/\text{FDNl}_{\text{pb}})^{0,667}] - 70$$

Quando teor de ácidos graxos for conhecido

$$\text{NDTm} = 0,98 \times (1000 - \text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{PB} - \text{CINZA} - \text{EE}) + \text{kd}_{\text{PB}} \times \text{PB} + 2,25 \times (\text{AG}) + 0,75 \times (\text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{LIG}) \times [1 - (\text{LIG}/\text{FDNl}_{\text{pb}})^{0,667}] - 70$$

Usando valor de proteína bruta disponível no lugar de kdPB × PB

$$\text{NDTm} = 0,98 \times (1000 - \text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{PB} - \text{CINZA} - \text{EE}) + \text{PBD} + 2,25 \times (\text{EE}-1) + 0,75 \times (\text{FDNl}_{\text{pb}} - \text{LIG}) \times [1 - (\text{LIG}/\text{FDNl}_{\text{pb}})^{0,667}] - 70$$

Essas equações foram validadas com a comparação do NDT estimado por outras maneiras e as regressões revelaram:

Ausência de viés (bias), isto é, não superestimar ou subestimar;

Ausência de significância da análise de variância devido aos métodos de determinação de NDT, mostrando que, independente do método o valor obtido seria, estatisticamente, o mesmo;

Ausência de correlação substancial entre os desvios e componentes da ração, mostrando ser mesmo independente de população.

Esses resultados indicam que ela pode ser usada para gerar dados acurados, precisos e sem viés de NDT para populações diversas de plantas. Mas os idealizadores da fórmula comentam que para determinados alimentos, grandes desvios podem ocorrer, sendo que, em alguns casos, isso seria por causa de problemas nos NDT de referência (das tabelas do NRC, 1982), particularmente de alimentos proteicos, e em outros por deficiências no modelo mesmo.

No caso de deficiência do modelo, as maiores superestimativas ocorreram para cascas (arroz, aveia, centeio, amendoim e amêndoa) e parte do problema pode ser valores elevados de sílica destes alimentos (que não faz parte do modelo).

No caso do exemplo da casca de soja usando indevidamente uma fórmula de Kearl, com os mesmos valores apresentados na propaganda e mais alguns retirados de tabela o valor do NDT calculado seria de 65%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, a energia é o “nutriente” mais limitante para a produção animal. Em vista disso, conseguir entender os conceitos envolvidos e como a estimamos tem grande valia. Em especial para alimentos que tenham grande variação em seu conteúdo (silagens de gramíneas, por exemplo), é interessante fazer a análise dos ingredientes, mas, como nem sempre isso é possível, temos que usar as tabelas de composição. Elas são muito úteis e, para alimentos mais padronizados (grão de milho ou soja, por exemplo), substituem a análise química sem maiores problemas. Seja qual for a opção, o importante é sempre ter em mente que, quanto mais exato for o valor utilizado na formulação, mais podemos contar que os resultados fiquem dentro do esperado, motivo mais do que suficiente para nunca perder isso de vista.