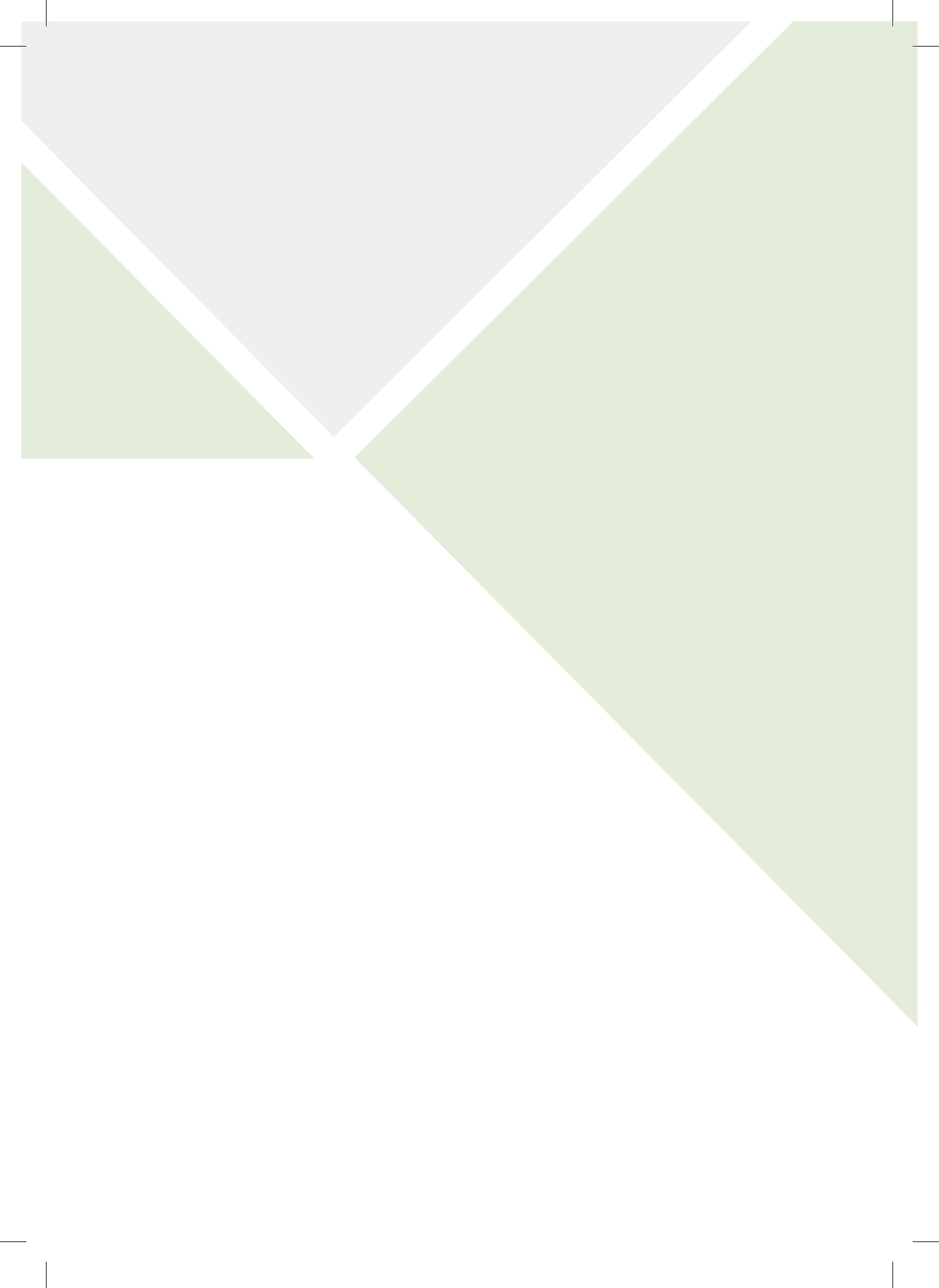


1

CAPÍTULO

# **Valor nutricional dos alimentos na nutrição de ruminantes e sua determinação**

*Sérgio Raposo de Medeiros  
Carolina Tobias Marino*



## INTRODUÇÃO

O teor de nutrientes dos alimentos confere seu *valor nutritivo*, mas é a ingestão de matéria seca (MS) do alimento que determina seu *valor alimentar*, que *equivale ao potencial para gerar desempenho*, conforme demonstrado abaixo:

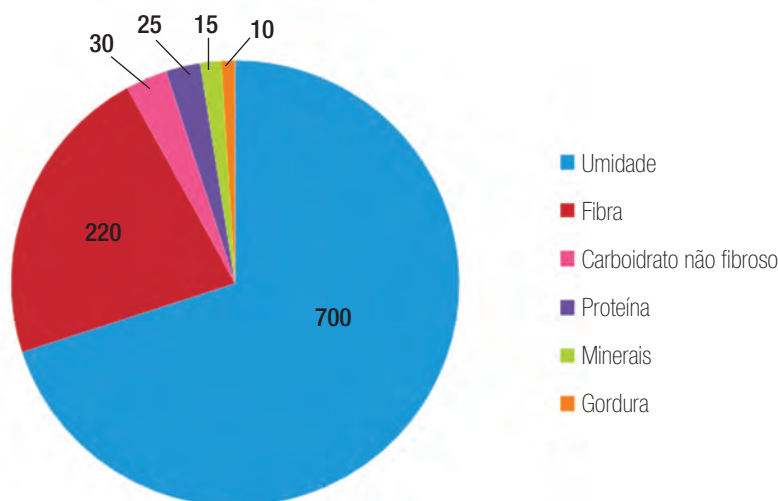
$$\text{Valor Alimentar} = \text{Valor Nutritivo (teor de nutrientes)} \times \text{Consumo}$$

Na Figura 1.1, temos ilustrada a composição de uma análise usual de 1 kg em uma forragem tropical com os valores dos seus componentes em gramas. Uma das características dela é o alto teor de umidade: há 700 g de água para cada 1000 g do alimento, ou seja, 70% de umidade.

Em função da dieta de ruminantes conter usualmente altos teores de forragens, e como a umidade destas varia muito, na nutrição de ruminantes costuma-se trabalhar com os teores dos nutrientes na matéria seca (MS). Outro motivo, quase tão importante quanto, é que a água em si, apesar de fundamental para vida, não é considerada um nutriente. A Figura 1.2 tem os mesmos dados da Figura 1.1, exceto pela umidade. Representa exatamente o que ocorre quando determinamos a MS no laboratório.

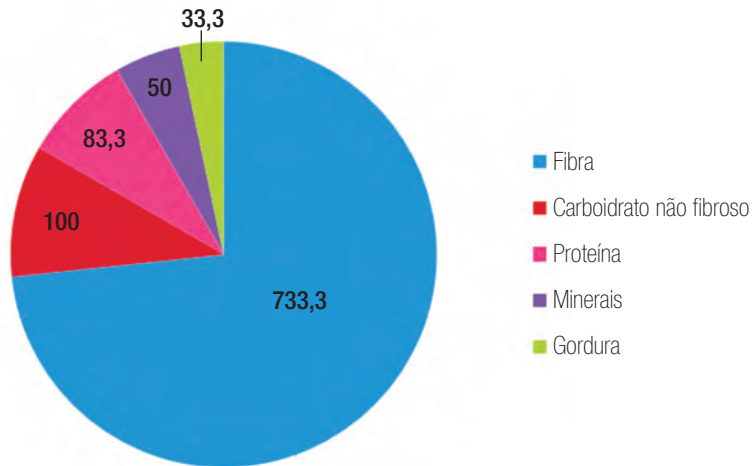
Naturalmente, o que ocorre é uma concentração dos nutrientes que permanecem após a retirada da água. Neste exemplo, o nutriente mais abundante é a fibra que, normalmente, é analisada como fibra em detergente neutro (FDN). Ela representa os carboidratos estruturais e mais a lignina, o principal fator antinutricional dos alimentos para ruminantes. No caso, em cada 1000 g, 733 g são de FDN, ou seja, 73,3% da MS deste alimento é fibra.

O segundo nutriente mais abundante são os carboidratos não fibrosos (CNF) que não são resultado de nenhuma análise, mas da diferença entre os



**FIGURA 1.1.**

Valores dos principais nutrientes de um 1 kg de uma forrageira tropical usada na alimentação de ruminantes.



**FIGURA 1.2.**

Valores dos principais nutrientes de um 1 kg de uma forrageira tropical usada na alimentação de ruminantes, como apresentado na Figura 1.1, com exceção da água.

1000 g totais de MS do alimento menos os demais presentes na Figura 1.2. Ele se aproxima do valor de carboidratos não estruturais (CNE), sendo que a diferença entre CNF e CNE será detalhada mais a frente.

A proteína é, no exemplo, o nutriente que vem em seguida na ordem decrescente de concentração. A análise que é feita, na verdade, é a de nitrogênio (N) e o valor encontrado é multiplicado por 6,25, que é o inverso da concentração média de N nas proteínas. Por ser um resultado que não diferencia a origem do N, que pode ou não ser proteína verdadeira, essa análise chama-se *proteína bruta*.

Os minerais são os penúltimos em concentração e representam tudo o que não é orgânico na MS do alimento. A análise é uma das mais simples, pois basta fazer a combustão completa da parte orgânica do alimento, motivo pelo qual se dá o nome a esta análise de determinação de cinzas dos alimentos.

No caso desta forragem, a gordura é o nutriente com menor participação. Ela representa tudo que tinha na amostra que é solúvel em éter, motivo pelo qual a análise se chama extrato etéreo.

Na sequência, vamos descrever as principais características dos nutrientes e suas determinações nos alimentos.

## ▶ **MATÉRIA SECA (MS)**

A matéria seca é a mais simples e mais usual das análises bromatológicas. Como o próprio nome diz, representa a fração do alimento que não é água.

A maneira mais simples de retirar água é pelo aquecimento da amostra. A água torna-se vapor e deixa a amostra. Isso acontece mesmo à temperatura ambiente. O processo de fenação funciona assim e, quanto mais quente o dia,

mas rápida a secagem da forragem. Mas, mesmo nos dias mais quentes e de menor umidade relativa, não se consegue reduzir a umidade muito abaixo dos 20-15%. Isso acontece, pois, ainda que haja água livre, vai ficando no alimento a água com maior interação físico-química com os demais componentes. É preciso aumentar bastante a temperatura para quebrar essas interações. O problema é que, expor a amostra à temperatura elevada, pode alterar alguns dos seus atributos nutricionais como veremos no decorrer deste capítulo.

A alternativa encontrada para retirar a água e, ao mesmo tempo, manter a amostra minimamente alterada, é fazer a secagem em duas etapas.

Com o material da primeira matéria seca, são realizadas as demais análises bromatológicas (proteína bruta, extrato etéreo, carboidratos estruturais e matéria mineral). A existência apenas de água residual facilita a preparação das amostras (moagem, armazenamento) e evita as interferências da água nas análises. Para amostras com mais de 80% de MS não é necessário fazer a primeira MS para a maioria das análises. O extrato etéreo, que para nós representa a gordura do alimento, é uma das análises que precisa ser feita sem nenhuma umidade residual (ou com muito pouca umidade).

Os resultados das amostras apenas com a primeira matéria seca, portanto, não são diretamente em 100% de matéria seca. Elas devem ser corrigidas utilizando-se o resultado da segunda matéria seca. Subtraindo-se 100% do valor percentual da primeira matéria seca do valor da segunda matéria seca obtém-se o valor, em percentagem, de água residual que ainda há na amostra. A correção pode ser feita com uma regra de três, como demonstrado no Exemplo 1, abaixo:

**Exemplo 1:**

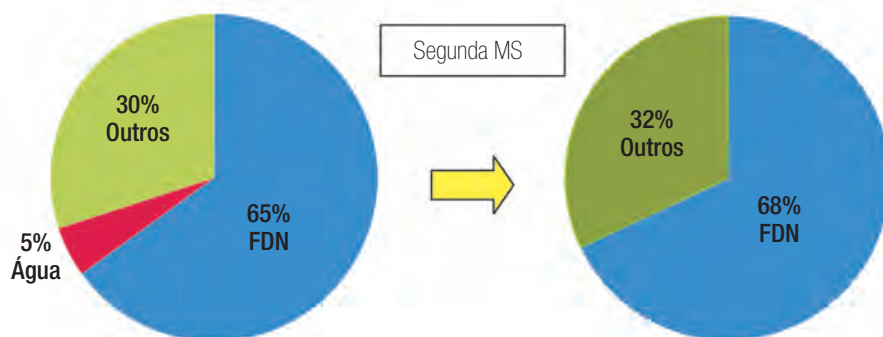
Calculamos em 65% o valor de FDN (fibra detergente neutro) de uma forrageira na primeira matéria seca. A segunda matéria seca deste mesmo alimento teve como resultado valor de 95%. Qual o teor de FDN em 100% de matéria seca?

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Em 95\% MS} & \dots\dots\dots & \text{65\% FDN} \\
 \text{Em 100\% MS} & \dots\dots\dots & \text{X} \\
 \text{x} = (100\% \times 65\%) \div 95\% = 68,42\% \text{ FDN na Matéria Seca}
 \end{array}$$

Graficamente temos (Figura 1.3):

**QUADRO 1.1. Procedimento para extração de matéria seca**

PRIMEIRA MATÉRIA SECA OU PRÉ-SECAGEM	SEGUNDA MATÉRIA SECA OU SECAGEM DEFINITIVA
A amostra é seca por 48 horas (ou até peso constante) a uma temperatura entre 50-65°C, em geral, em uma estufa com ventilação forçada. Ao final contém de 1 a 5% de água residual na amostra.	Uma alíquota da amostra resultante da primeira matéria seca é colocada por 2 horas (ou até peso constante) em uma estufa à 105°C. Ao final não apresenta água residual (ou apenas quantidade irrelevante), portanto, representa 100% de Matéria Seca.



**FIGURA 1.3.**

Efeito da segunda MS no aumento dos teores percentual dos nutrientes nos resultados de análises bromatológicas.

## Importância da determinação da matéria seca

A água é um nutriente essencial a todos os animais com recomendação para consumo à vontade. Como ele não tem valor energético, seu valor econômico nutricional é zero.

Para ruminantes a umidade das dietas pode variar de 90 a 20% (ou seja, ter de 10 a 80% de MS), especialmente em função da proporção de forragem na dieta, o que torna bastante complicado comparar dietas em matéria original (MO). E, mesmo com a dieta com uma quantidade fixa de volumoso, poder haver grande variação no teor de umidade da dieta ao longo do tempo. Isto pode ter implicações no balanceamento da dieta e certamente tem na quantidade de fornecimento destas. Desta forma, trabalhamos com os valores dos alimentos em MS. Assim, ela é uma das análises mais importantes e, de cuja exatidão, dependem as demais.

Costuma-se dizer que, para cada situação de fornecimento de alimento para animais, existem três dietas: a que formulamos, a que fornecemos para o animal e aquela que efetivamente o animal ingere. A questão específica da correção do fornecimento é um bom exemplo da implicação da MS na nutrição de ruminantes, apesar de obviamente não se limitar a isto.

Pode haver significativas diferenças de consumo devido ao fato do teor de umidade real do alimento ser diferente do valor usado para converter o cálculo de ingestão de matéria seca em matéria original.

### Exemplo 2:

Supondo que o consumo de cana-de-açúcar seja 5,00 kg MS/cab.dia, sendo outros 5,00 kg de MS de ração concentrada, o consumo total seria de 10 kg/dia de MS. Usando o valor de tabela para MS da Cana (30%), forneceríamos 16,67 kg de Matéria original para suprir o valor correspondente ao determinado em MS ( $5,00 \text{ kg MS} \div 0,30 = 16,67 \text{ kg MO}$ ).

Na Tabela 1.1, mostramos quanto o animal estaria realmente consumindo caso a matéria seca fosse 10% mais úmida ou 10% mais alta (mais seca).

**TABELA 1.1. Variação na ingestão de MS em função do teor de umidade da cana em dieta com relação 50:50 volumoso:concentrado e quantidade fixa sendo oferecida in natura.**

	INGESTÃO IN NATURA	% MS	IMS <sup>1</sup>
Cana mais úmida	16,67	26,00%	4,33
Cana igual à tabela	16,67	30,00%	5,00
Cana mais seca	16,67	34,00%	5,67

<sup>1</sup>IMS = Ingestão de Matéria Seca.

No caso da cana mais úmida, estaríamos oferecendo 0,67 kg de MS de cana a menos para o animal. O resultado, considerando que o concentrado fosse dado no valor fixo de 5,00 kg/cab.dia, seria uma IMS mais baixa que não seria percebida pelo produtor durante o confinamento, mas que faria com que o desempenho do animal fosse menor.

Inversamente, se a cana fosse mais seca, como 5,00 kg do concentrado estão sendo ofertados e considerando que IMS fosse, de fato, limitada a 10 kg, o animal comeria os 5,00 de MS em cana, equivalente a 14,70 kg de MO de cana. Esse valor é praticamente 2 kg de matéria fresca (*in natura*) a menos do que o estimado.

O produtor, então, acreditaria que seus animais estariam com um consumo abaixo do esperado, quando, o consumo de MS, o que de fato importa, estaria certo. Evidentemente, os animais poderiam consumir mais MS que o estimado. Apesar de, a princípio, isso parecer vantagem, nem sempre o consumo de MS a mais representa maior desempenho, particularmente se a dieta estiver sendo desbalanceada neste processo. Por exemplo, neste caso, o aumento da proporção do volumoso dilui os teores totais de nutrientes da dieta (i.e. reduz a % de PB, % de NDT, etc.).

Uma solução para isso seria a determinação da MS dos volumosos na própria fazenda, que pode ser fácil e eficazmente feita para forragens frescas (*in natura*) com o uso de forno de micro-ondas.

## Uso de determinação de MS na propriedade

Uma opção bastante prática para determinação de matéria seca de grãos é o uso de analisadores automáticos. Apesar de menos acurados que as determinações de laboratório, eles são bastante usados para controle de secagem e para comercialização e têm a grande vantagem de serem extremamente rápidos. Existem, inclusive, modelos portáteis que podem ser levados ao local de armazenamento para, na realização da compra, saber de antemão o teor de umidade, pois não há nenhum interesse em levar água para a propriedade ao preço do grão.

O princípio de funcionamento mais comum baseia-se na alteração do comportamento da corrente elétrica em função da umidade da amostra na sua passagem por ela (condutância/capacitância). Portanto, esses equipamentos

dependem de um padrão de comparação pré-determinado de fábrica para cada tipo de grão a ser analisado. Isso implica em especificidade para os grãos para que haja calibração e, também, seu uso fica restrito a determinada faixa de umidade. É interessante checar esses detalhes e comparar com o objetivo de uso para garantir a sua adequação e a acurácia da medida antes da aquisição.

Um método de determinação de MS bastante prático e que pode ser feito na própria fazenda é a evaporação de toda a água da forragem através do aquecimento no forno de micro-ondas.

A marcha detalhada está disponibilizada como anexo ao final desta publicação

## **PROTEÍNA BRUTA (PB)**

Proteína bruta é o resultado do teor de N do alimento multiplicado por 6,25. Por si só é um valor bastante importante, mas para formulação de rações é necessário particioná-la em algumas frações como mostrado a seguir.

Detalhes sobre o significado nutricional são fornecidos no capítulo sobre proteína na nutrição animal.

### **Nitrogênio ligado à fibra**

Há uma parte do N dos alimentos que está ligada à fibra. Com isso, temos dois valores que podem ser analisados:

- Nitrogênio (ou proteína) ligado à fibra em detergente neutro (NIDN ou PIDN)
- Nitrogênio (ou proteína) ligado à fibra em detergente ácido (NIDA ou PIDA)

O NIDN consiste na análise de N do resíduo da FDN. A semelhança do NIDN, a análise de NIDA consiste na análise de N do resíduo do FDA.

Normalmente, o valor de NIDA é expresso como porcentagem da proteína bruta ou porcentagem da MS, mas, por vezes, é expresso em porcentagem de N com base no FDA, pois esse é o resultado direto da análise. Assim, devemos checar bem a unidade que o laboratório usa para evitar confusão.

Para transformar os resultados originalmente expressos tendo como base o FDA como porcentagem da proteína bruta na FDA ou porcentagem da MS basta seguir o exemplo abaixo, que pode ser usado também para alterar a base de expressão do N ligado ao FDN:

#### **Exemplo 3:**

Acabamos de analisar uma mostra de capim Tanzânia cujo resultado foi 0,54% de N no FDA. Para obter o valor em PB ligada ao FDA, é só multiplicar o valor de NIDA por 6,25.

$$6,25 \times 0,54 = 3,37\% \text{ de PB na FDA}$$

Mas esses 3,37% estão no FDA, isto é, para cada 100 g de FDA do capim Tanzânia, temos 3,37 g de PB. Para saber em 100g de matéria seca da



amostra, temos que saber o teor de FDA da amostra que, nesse caso, é igual a 39%. Fazendo a “regra de 3” abaixo chegamos ao valor de PIDA na MS:

$$\begin{array}{l} 3,37 \text{ g P-FDA} \dots\dots\dots 100 \text{ g FDA} \\ X \text{ g P-FDA} \dots\dots\dots 39 \text{ g FDA em 100g de MS} \\ X = (3,37 \times 39)/100 = 1,31 \text{ g de PIDA em 100 g de MS} \end{array}$$

O valor de PIDA, como % da MS, é uma boa opção, pois se pode simplesmente subtrair o valor de PIDA da PB para calcular a proteína disponível. No nosso caso, essa amostra tinha 6,40% de PB na MS. O cálculo de PB disponível (PBD) seria:

$$6,40 - 1,31 = 5,09 \text{ g de PBD em 100 g de MS}$$

Esse cálculo desconsidera a digestibilidade parcial do NIDA, baseado na premissa de que o organismo não usa (metaboliza) o PIDA absorvido, isto é, aquele que não é recuperado nas fezes.

Outra forma, até mais usual de expressar o PIDA é como porcentagem da PB. Para obtê-la, basta dividir o valor de PIDA na base da MS pelo valor de % de PB:

$$1,31/6,40 \times 100 = 20,47 \text{ \% de PIDA como \% da PB.}$$

Assim, de cada 100 g de PB, 20,47 g estão indisponibilizadas na FDA. Se o laboratório passar o valor desta forma, para calcular a disponibilidade de proteína é só usar o complemento para 100% deste valor, equivalente a porcentagem de disponibilidade, e multiplicar o percentual de PB:

$$\begin{array}{l} 100 - 20,47 = 79,53\% \rightarrow \text{Esse valor corresponde à porcentagem} \\ \text{de disponibilidade} \\ 6,40 \times (79,53/100) = 5,09\% \text{ de PBD} \end{array}$$

Vale lembrar que os valores expressos como PBIDN, como % da PB, são idênticos numericamente aos valores de NIDN, como % do N total.

## Nitrogênio não proteico

Outra fração relevante para análise é a parte da PB que não é proteína verdadeira, ou seja, um conjunto de aminoácidos. A análise de nitrogênio não proteico (NNP) na proteína dos alimentos não costuma ser uma análise feita por todos os laboratórios, apesar de bastante simples.

A proteína bruta do alimento é solubilizada em uma solução tampão e a proteína verdadeira é precipitada com ácido tricloroacético (TCA) ou ácido túngstico. Faz-se a filtração e o filtrado, que é o que sobra no filtro, tem o teor de N analisado. A diferença entre a proteína total da amostra e a quantidade determinada no filtrado, corresponde ao NNP.

O TCA precipita peptídeos com mais de 10 aminoácidos, enquanto que o ácido túngstico precipita desde peptídeos com mais de três aminoácidos. O fato de bactérias celulolíticas terem requerimento por peptídeos favorece a escolha do ácido túngstico para determinação da fração NNP dos alimentos, uma vez que a fração de proteína verdadeira estará incluindo de maneira mais real os peptídeos do alimento.

## Proteína verdadeira

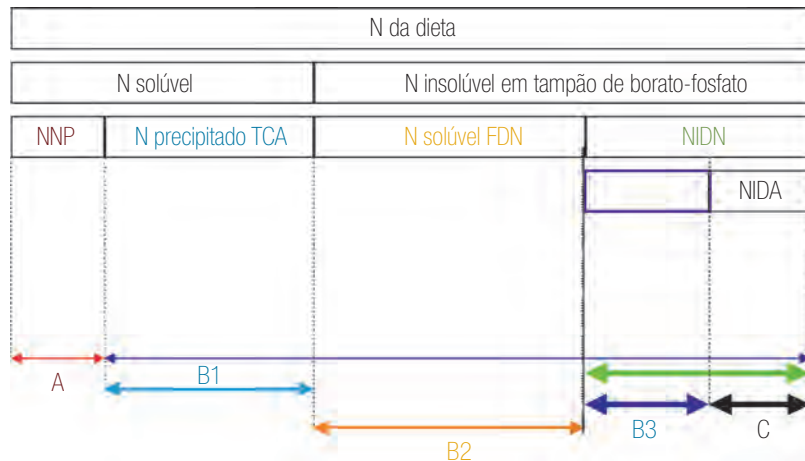
No caso da proteína verdadeira, não é necessário fazer uma análise específica, uma vez que ela seria calculada como a PB menos o equivalente proteico de NNP (NNP como % PB) e a PIDA (NIDA x 6,25).

## Partição conforme o sistema de Cornell:

O sistema de Cornell (CNCPS) é um modelo mecanístico para avaliação e formulação de dietas. Ele foi adotado como base do último manual de exigências de bovinos americano, editado pela *National Research Council* daquele país e que é conhecido como NRC (NRC, 2000). Este modelo permite a classificação da fração proteica de acordo com suas taxas de degradação o que possibilita estimar a disponibilidade de N para crescimento microbiano.

Nesse esquema podemos ver:

- 1) Que o N não proteico (NNP) é determinado pela subtração do N total da dieta do que é proteína verdadeira, incluindo o N insolúvel em detergente ácido (NIDA). Ela corresponde à fração A.
- 2) Que o N ligado à fibra é igual à soma das frações NIDA (fração C) e B3. A fração B3 corresponde ao N potencialmente disponível ligado à fibra, resultado da subtração do valor de N insolúvel em detergente neutro (NIDN) pelo valor de NIDA. A fração C seria indisponível.
- 3) Que o N solúvel em tampão borato-fosfato que é precipitado pelo ácido tricloroacético (TCA) ou ácido túngstico corresponde ao N de proteína verdadeira solúvel, correspondente à fração B1.
- 4) Que a diferença entre o N da dieta e a soma das frações A + B1 + B3 + C corresponde à fração B2, que seria o N de proteína verdadeira insolúvel no rúmen, mas que não estaria ligado à fibra detergente neutro.



**FIGURA 1.4.**

Esquema do N dietético segundo a divisão proposta do modelo de Cornell (CNCPS v 6.0, Fox et al., 2000).

## CARBOIDRATOS ESTRUTURAIS

### Fibra bruta: uma determinação em desuso

A análise de fibra bruta (FB), antes da adoção do sistema de Van Soest, era a análise padrão do ultrapassado sistema de Weende (ou sistema proximal), ainda usado hoje. Na FB, a amostra seca e desengordurada do alimento era submetida à digestão ácida (solução de ácido sulfúrico), seguida por uma digestão básica (solução de hidróxido de sódio).

O grande problema da fibra bruta (FB) é que parte dos componentes da parede celular, celulose e lignina, são solubilizadas. Assim, a FB subestima o valor real da fibra e, portanto, os teores de FDN e FDA são sempre maiores que a FB.

### O sistema de detergentes de Van Soest

Idealizado por Van Soest, no final da década de 60, com uma importante revisão feita a pouco mais de duas décadas (Van Soest et al., 1991) e com interessantes sugestões feitas já nesse século (Mertens, 2002), essa metodologia faz uso de soluções detergentes para solubilizar conteúdo celular e/ou hemicelulose, tendo como resíduo a fibra em detergente. Na Figura 1.5, as partições possíveis com essa técnica são graficamente demonstradas.

Existem dois tipos de solução detergente: a de detergente neutro e a de detergente ácido. A solução de detergente neutro solubiliza, basicamente, o conteúdo celular, restando o resíduo insolúvel que é chamado, então, de fibra em detergente neutro (FDN). A FDN seria a melhor opção disponível para representar a fibra da dieta, uma vez que aceitamos para ela a definição de Mertens (2002): fibra insolúvel dos alimentos (indigestível ou lentamente digestível) que ocupa espaço no trato digestivo.

Com procedimento muito parecido com a FDN, a extração com detergente ácido solubiliza, além do conteúdo celular, a hemicelulose. Segundo os idealizadores do sistema detergente na revisão de 1991, o FDA não é uma fração válida para uso nutricional ou predição de digestibilidade. É uma análise preparatória para determinação de celulose, lignina, N ligado à fibra detergente ácido e cinza insolúvel em detergente ácido. Há equações de predição de energia e ingestão de MS que utilizam o FDA e que, uma vez resultando em valores que possam ser usados na prática, evidentemente, são válidas. A sugestão dos autores do método dos detergentes para evitar esse tipo de uso da FDA seria no sentido de que a fração que melhor representa a fibra é a FDN e, assim, ela que deveria ser usada para qualquer modelo nutricional para uma abordagem mecanística (causal) e não meramente empírica (matemática).

A FDA também é usada para estimar a hemicelulose. O valor da hemicelulose pode ser estimado através da subtração do valor de FDN pelo valor de fibra detergente ácido (FDA).

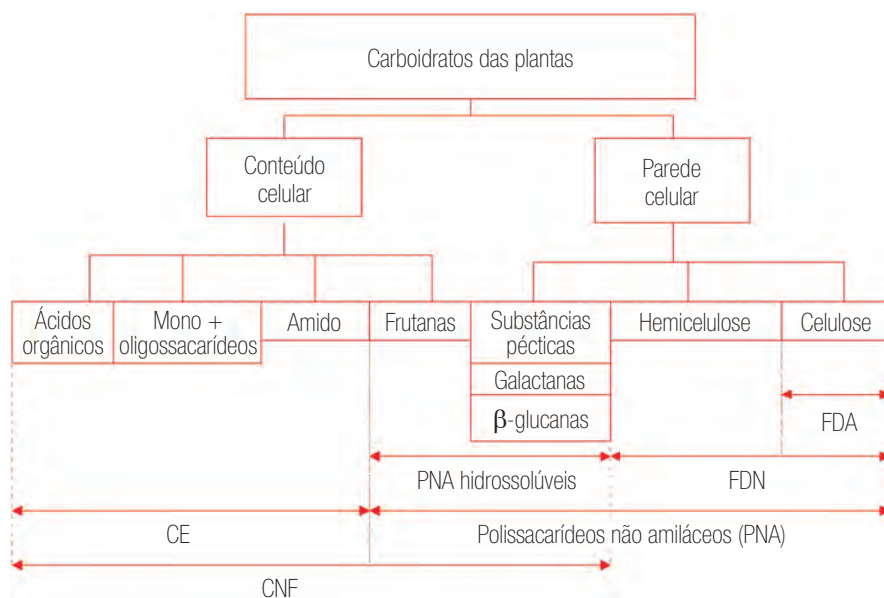
$$\text{Hemicelulose} = \text{FDN} - \text{FDA}$$

A análise de FDA foi desenvolvida para determinação da fibra de forragens, mas é usado para concentrados, grãos e alimentos humanos. Para cada tipo de alimento, foram sugeridas modificações que acabam sendo um tipo de análise um pouco diferente, mas todas elas denominadas indistintamente de FDN. Mertens (2002) sugere os nomes abaixo para as diferentes marchas:

- *FDN*: Usa o sulfito de sódio, mas não usa amilase. Equivale à proposta original.
- *Resíduo de DN (RDN)*: Não usa Sulfito, mas Amilase. Para determinar N ligado à fibra, outras análises sequenciais e digestibilidade *in vitro*, sendo a única metodologia recomendável.
- *FDN com amilase (FDNa)*: Usa o sulfito de sódio e amilase. Além de ser tranquilamente utilizado para forragens, deve ser usado no caso dos concentrados. É recomendada como análise padrão.
- *Matéria Orgânica da FDNa (FDN<sub>mo</sub>)*: Corresponde a FDNa corrigida para cinzas. Essa correção reduz o erro dessa contaminação e melhora a estimativa de CNF. Faz diferença, especialmente, para alimentos com FDN menor do que 25%.

Ao usar FDN, não se deve corrigir para N no FDN, porque o sulfito remove parte do N ligado à fibra, pois se estaria subtraindo essa fração de N duplamente.

A Figura 1.5, baseada na proposta do Modelo de Cornell, dá uma boa ideia das frações de carboidratos como um todo.



**FIGURA 1.5.**

Esquema dos carboidratos da planta segundo a divisão proposta do modelo de Cornell (Fox et al., 2000).

## LIGNINA

A lignina não é um carboidrato, mas é mais um componente da parede celular e, ao mesmo tempo, o principal fator que limita a sua disponibilidade como alimento para os herbívoros. Apesar dessa importante implicação nutricional, seus componentes não são claramente identificados.

Ela é fracionada em dois tipos de lignina:

- 1) *Core*: Seria o principal polímero da lignina, mais condensado e mais resistente à degradação. Poderia ser considerada mais próxima à lignina propriamente dita.
- 2) *Não Core*: Seriam os compostos fenólicos extraíveis associados à lignina *core*. Ácido ferrúlico e ácido p-cumárico são os principais compostos fenólicos desta fração.

Na verdade, ainda existe bastante confusão quanto ao que seria, de fato, a lignina verdadeira. Como a maioria dos produtos é insolúvel, a lignina precisa ser desintegrada para ser analisada e a caracterização dela é feita com base nos resíduos produzidos. Há, assim, uma dificuldade analítica em se chegar a resultados conclusivos na sua definição química.

Em adição a isso, uma análise muito específica para lignina, definindo-a muito bem do ponto de vista químico, deixaria de fora material indigestível e inibitório. Assim, um purismo em tentar se chegar ao que realmente é lignina pode ser contraproducente em termos do interesse do nutricionista animal. Para a nutrição animal o que interessa é associar essa fração com a indegradabilidade da parede celular, ou seja, o que mais nos importa com relação à lignina é seu efeito nutricional.

O principal mecanismo de inibição da lignina é atuar como barreira mecânica aos microrganismos ruminais e as hidrolases secretadas por estes. Outros efeitos postulados, mas que teriam papéis secundários na inibição (ou nem isso), seriam a toxicidade direta de compostos fenólicos e um efeito hidrofóbico da lignina que reduziria a água em espaços adjacentes aos substratos. A toxicidade dos fenólicos é um fato, mas seriam necessárias concentrações bem maiores do que aquelas que normalmente ocorrem no rúmen para haver esse efeito.

## DETERMINAÇÃO DE CARBOIDRATOS NÃO ESTRUTURAIS

O sistema mais usual de análise de alimentos, sistema de Weende ou sistema proximal, não tem a determinação específica de carboidratos não estruturais, mas tem uma aproximação que é o extrativo não nitrogenado (ENN). Na verdade, o ENN é a MS total subtraído da somatória dos valores determinados de Proteína Bruta (PB), Extrato Etéreo (EE), fibra bruta (FB) e cinzas (CZ):

$$\text{ENN} = 100\% \text{ MS} - (\% \text{ PB} + \% \text{ EE} + \% \text{ FB} + \% \text{ CZ})$$

O ENN inclui todos os erros destas análises. O maior deles estaria na fração fibra bruta que resulta em numa superestimativa do ENN. A fibra bruta está sendo substituída praticamente em todos os laboratórios de nutrição

animal pela Fibra em detergente neutro (FDN), de Van Soest. Assim, de maneira análoga, estimam-se os carboidratos não fibrosos (CNF) pela fórmula:

$$\text{CNF} = 100\% \text{ MS} - (\% \text{ PB} + \% \text{ EE} + \% \text{ FDN}_{\text{livre de PB}} + \% \text{ CZ})$$

Faz parte do CNF um grupo de compostos denominados polissacarídeos não amiláceos hidrossolúveis (PNA hidrossolúveis). Eles seriam constituídos pelas frações não recuperadas no resíduo de FDN (solúveis em detergente neutro), mas que seriam resistentes às enzimas digestivas de mamíferos. Os PNA hidrossolúveis contêm vários componentes que são componentes da parede celular (beta-glucanas, pectinas, etc.), polissacarídeos de reserva (como galactanas) e outros.

Para a determinação da equação é necessário que se tenha analisado a PB, a gordura (como extrato etéreo), o FDN e o NIDN, para calcular o FDN livre de PB e as cinzas (CZ).

É importante notar que, para maior exatidão, a porcentagem de FDN deve estar já descontada do seu conteúdo de cinzas e deve ser livre de PB. No caso da análise de FDN ter sido feita com o uso de Sulfito de Sódio, cujo uso voltou a ser recomendado, não é necessário fazer esse desconto. Se não tiver sido usado o Sulfito e não for feito o desconto de PB ligado ao FDN, essa porção acaba sendo contabilizada duas vezes, pois ela já está naturalmente incluída da determinação da PB.

O conteúdo de cinzas normalmente não é descontado, apesar de bastar a colocação do cadinho com o resíduo na mufla após a extração com a solução detergente. Ela, segundo Mertens (2002), melhoraria a acurácia da determinação no caso de amostras com teores de FDN menores que 25%.

Já o desconto da proteína ligada à fibra depende da determinação de N no resíduo do FDN, portanto, é uma análise adicional que muitos laboratórios ainda não fazem rotineiramente.

Muitos alimentos, especialmente forragens frescas, têm valores baixos de N no FDN e, portanto, a ausência da correção não tem grandes reflexos, mas forragens muitas passadas e alimentos que tenham passado por processamentos de aquecimento podem ter uma quantidade considerável de N no FDN e, nesse caso, os erros seriam, conseqüentemente, maiores.

## Extrato etéreo

Há alguns conceitos diferentes para enquadrar lipídeos, mas o mais simples e mais utilizado seria aquele no qual gordura é definida como substância insolúvel em água, mas solúvel em compostos orgânicos.

Dos compostos orgânicos (hexano, isopropanol, clorofórmio, benzeno e outros) foi escolhido o éter etílico para a determinação de gordura dos alimentos. Por isso dá-se o nome de extrato etéreo (EE) para essa análise.

Além dos lipídeos, são também solubilizados compostos não lipídicos: clorofila, carotenóides, saponinas, ceras de baixo peso molecular (relacionadas à cutícula), óleos essenciais e compostos fenólicos de baixo peso molecular.

Todos esses compostos não lipídicos contribuem praticamente com nenhuma energia para as bactérias ruminais ou seu hospedeiro. Portanto, ao mesmo tempo em que extraímos lipídeos, cujo conteúdo de energia é 2,25

**TABELA 1.2. Composição do extrato etéreo em alguns alimentos e sua implicação na contribuição energética da fração EE**

ALIMENTOS	COMPOSIÇÃO DO EXTRATO ETÉREO	IMPLICAÇÃO
Forragens	50% galactolipídeos e 50% compostos não lipídicos	Valor energético bem inferior ao previsto com o fator 2,25
Bagaço hidrolisado	Ceras e monômeros fenólicos	Valor praticamente nulo de energia para o EE do BTPV <sup>1</sup>
Alimentos concentrados	70-80% ácidos graxos	Fator 2,25 é adequado
Triglicerídeos	90% ácidos graxos e 10% glicerol	Fator 2,25 é adequado

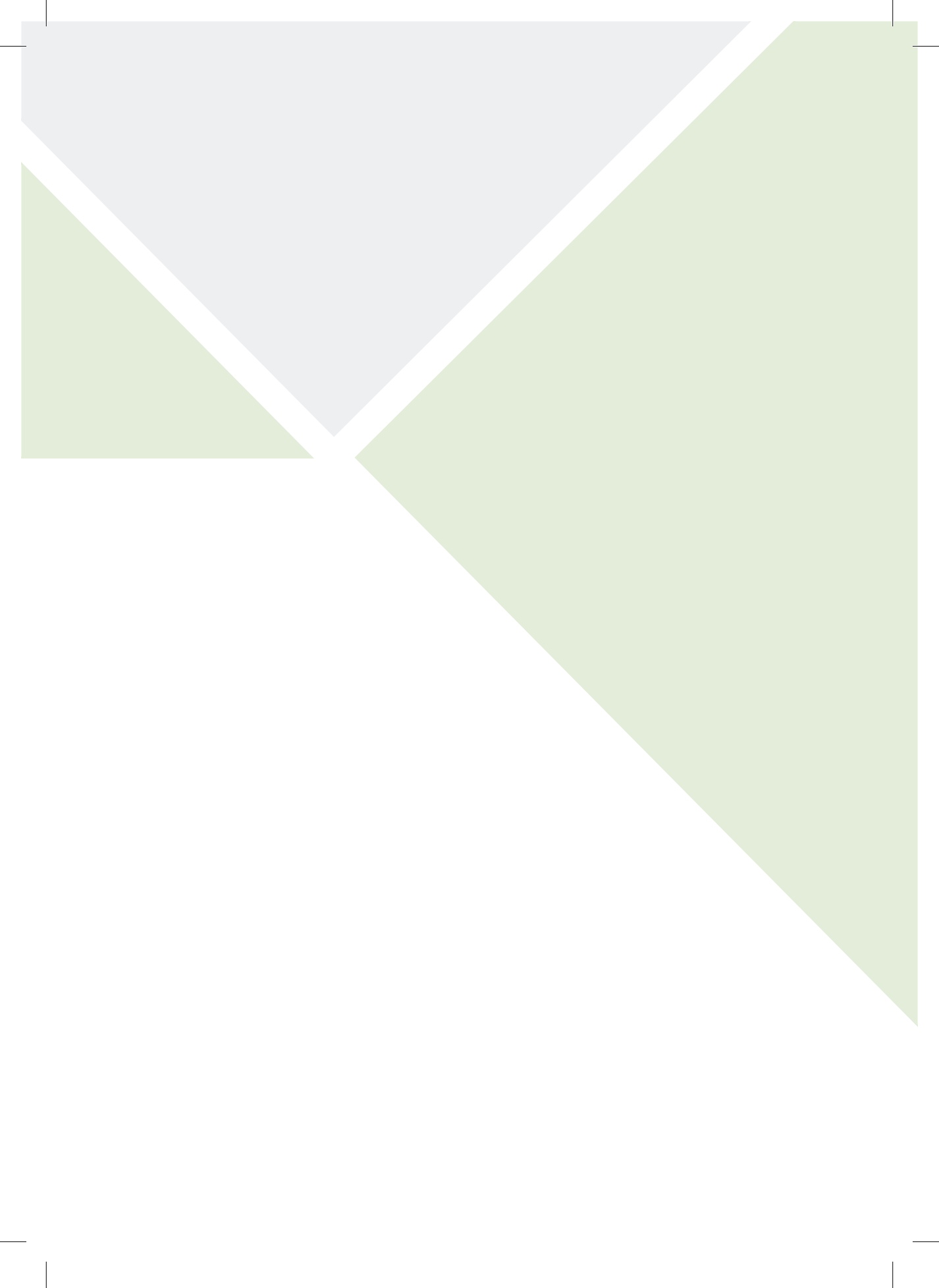
<sup>1</sup>BTPV – Bagaço tratado sob pressão de vapor.

vezes superior aos dos carboidratos, podemos ter quantidades significativas de materiais com pouca ou nenhuma energia para oferecer para o animal.

Para cada alimento, em função da composição de seu extrato etéreo, devemos avaliar os resultados em particular. A Tabela 1.2, acima, dá uma ideia de alguns alimentos (ou grupos de alimentos).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste contexto, considerando-se os vários aspectos do valor nutricional dos alimentos e sua determinação, o crescente avanço no conhecimento da composição nutricional dos alimentos e das metodologias de análise é essencial na tomada de decisão da melhor prática nutricional para atender as exigências nutricionais em cada fase do ciclo de vida dos animais.



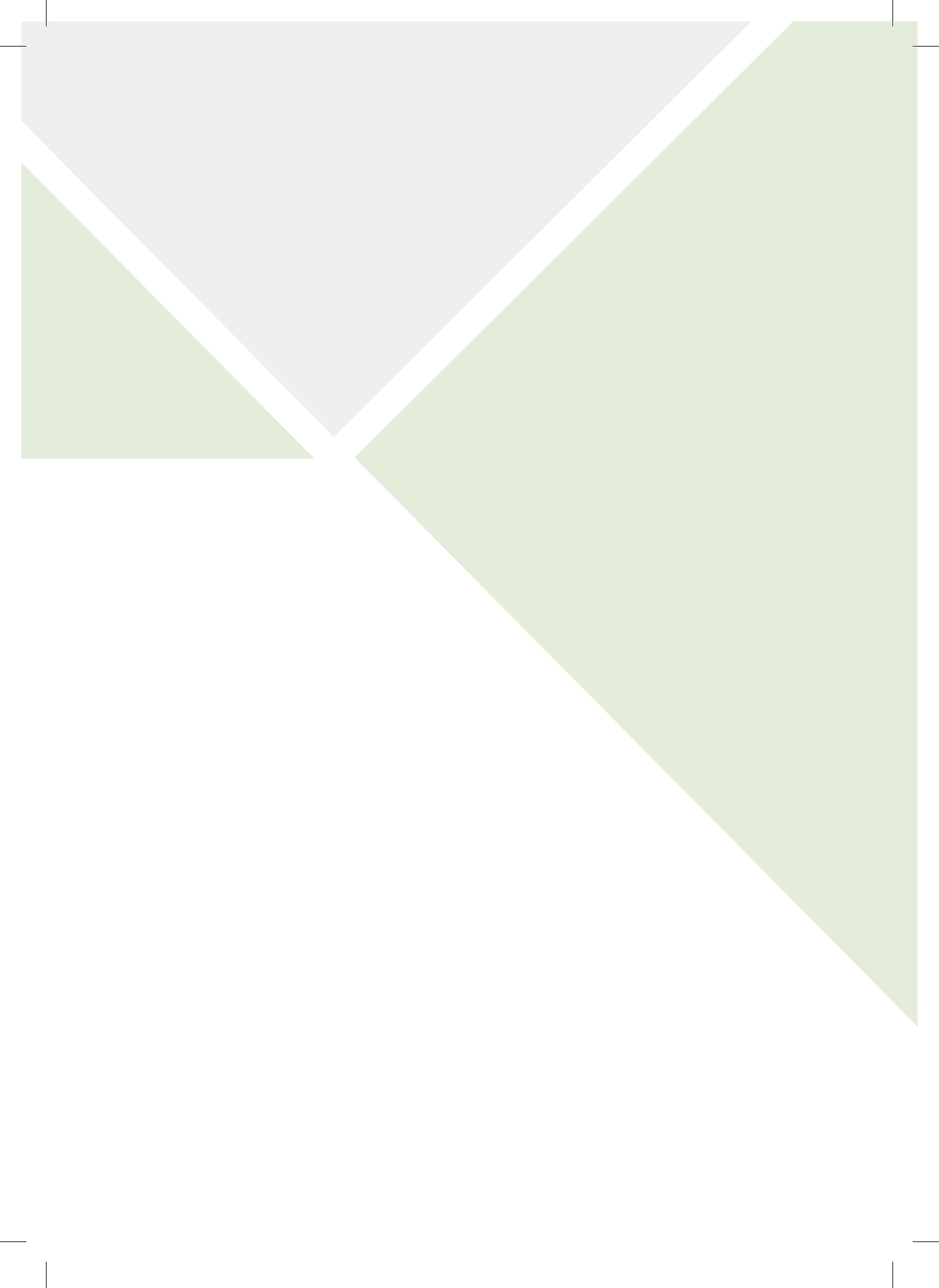


# 2

CAPÍTULO

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

*Sérgio Raposo de Medeiros  
Tiago Zanetti Albertini*



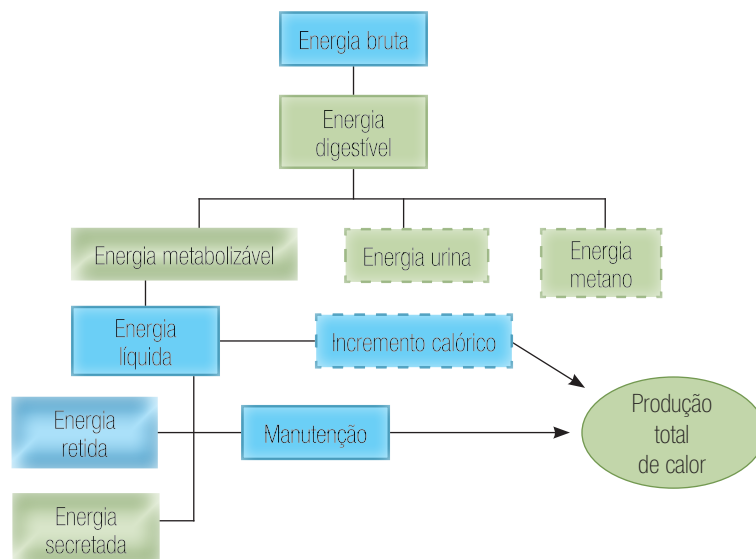
## ▶ ENERGIA DOS ALIMENTOS

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  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  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.

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

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

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  $\text{FDN}_{\text{pb}}$  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  $\text{FDN}_{\text{pb}}$  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  $\text{FDN}_{\text{pb}}$  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<sub>pb</sub>.

#### **[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 gastrintestinal 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.