

Patv

CAPÍTULO 10

FIBRA NA ALIMENTAÇÃO DE GADO DE LEITE

*Fernanda Samarini Machado¹, Lúcio Carlos Gonçalves²,
Marcelo Neves Ribas³, Gabriel de Oliveira Ribeiro Júnior⁴*

RESUMO

A fibra representa a fração de carboidratos de digestão lenta ou indigestível e, dependendo de sua concentração e digestibilidade, impõe limitações ao consumo de matéria seca e energia. Por outro lado, a fibra é essencial para manutenção da saúde dos ruminantes, por estimular a mastigação e a produção de saliva tamponante. Dentre os métodos analíticos disponíveis para a determinação das frações fibrosas, a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) representa a melhor opção para formulação de dietas para ruminantes, todavia é necessária a padronização das técnicas laboratoriais. As dietas devem apresentar um teor mínimo de FDN, para a manutenção da funcionalidade ruminal. Entretanto, ajustes devem ser realizados de acordo com os ingredientes utilizados e o manejo adotado. Os nutricionistas devem estar atentos às características físicas da fibra, como o tamanho de partículas, e outras propriedades que conferem efetividade ao FDN. Os conceitos de FDN efetiva e FDN fisicamente efetiva são relativamente recentes, e diversas metodologias foram desenvolvidas para suas determinações. Tornam-se necessários o desenvolvimento de um método padrão e a identificação das propriedades dos alimentos que influenciam a efetividade da fibra, visando ao estabelecimento de um banco de dados para uso na formulação de rações.

INTRODUÇÃO

No balanceamento de dietas para vacas leiteiras, os carboidratos geralmente constituem 70% ou mais da matéria seca das rações. Mas, além de quantitativamente importantes na composição do custo de produção de leite, os carboidratos dietéticos e, de forma específica, as frações fibrosas, desempenham papel fundamental na manutenção da funcionalidade do rúmen e, por conseguinte, da saúde da vaca em lactação (Lopes et al., 2006).

¹ Médica Veterinária, MSc., DSc. Embrapa Gado de Leite, Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, CEP 36038-330, Juiz de Fora, MG. fernanda@cnpqgl.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, DSc., Prof. Associado Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, Caixa Postal 567, CEP 30.123-970, Belo Horizonte, MG. lucio@vet.ufmg.br

³ Médico Veterinário, MSc., Doutorando em Zootecnia, Escola de Veterinária da UFMG, Caixa Postal 567, CEP 30123-970, Belo Horizonte, MG. os2ribas@hotmail.com

⁴ Médico Veterinário, MSc., Doutorando em Zootecnia, Escola de Veterinária da UFMG, Caixa Postal 567, CEP 30123-970, Belo Horizonte, MG. gabrielorjunior@yahoo.com.br

As diferenças nas quantidades e propriedades físicas da fibra podem afetar a utilização da dieta e, conseqüentemente, o desempenho animal. Quando excesso de fibra é incluído na ração, a densidade energética torna-se baixa, a ingestão de matéria seca é reduzida e a produtividade animal tende a diminuir significativamente. Ao contrário, quando níveis mínimos de fibra não são atendidos ou, ainda, são inadequados quanto ao tamanho de partículas da forragem, vários distúrbios metabólicos podem manifestar-se, variando desde uma alteração no perfil de fermentação ruminal até uma acidose aguda, que pode levar à morte do animal (Mertens, 1997).

Desta forma, para maximizar a produção animal, as dietas devem ser balanceadas com uma concentração ótima de fibra que maximiza o consumo de energia, a síntese de proteína microbiana e a produção de leite. Entretanto, a formulação de rações que considera apenas a quantidade de fibra pode incorrer em desvios, principalmente para vacas de alta produção que consomem dietas com alta proporção de concentrados. Portanto, os nutricionistas devem considerar a importância das características físicas dos alimentos, como tamanho de partícula e densidade sobre a atividade de mastigação, fluxo de saliva, fermentação ruminal e composição do leite dos animais.

1. DEFINIÇÃO E METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE FIBRA

A análise de fibra já faz parte da avaliação de alimentos há mais de 100 anos (Van Soest, 1994). No entanto, ainda hoje, não existe consenso entre nutricionistas em relação a uma definição uniforme para o termo (Weiss, 1993). De modo geral, a fibra pode ser definida nutricionalmente como a fração lentamente digestível ou indigestível dos alimentos que ocupa espaço no trato gastrointestinal dos animais (Mertens, 1997).

Quimicamente, a fibra é um agregado de compostos e não uma entidade química distinta, portanto a composição química da fibra é dependente da sua fonte e da forma como foi medida. Desse modo, fibra é um termo meramente nutricional, e sua definição está vinculada ao método analítico empregado na sua determinação. De acordo com Mertens (1992), o objetivo de qualquer esquema rotineiro de análise de alimentos é detectar diferenças entre fontes de alimentos para fornecer informações úteis aos nutricionistas, e a fibra deveria separar a fração lentamente e não totalmente digerida daquela rapidamente ou quase totalmente digerida.

Atualmente, vários são os procedimentos analíticos disponíveis para determinação da fração fibrosa dos alimentos. Dentre estes, destacam-se como metodologias de aplicação rotineira a fibra bruta (FB), a fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA).

1.1. Fibra bruta

Consiste principalmente de celulose, com pequenas quantidades de lignina e hemiceluloses. A FB continua sendo o método oficial de determinação da fibra, sendo

o seu registro obrigatório com níveis máximos nos ingredientes em rações. Este método, contudo, ignora as frações lignina e hemiceluloses, solubilizadas pelo tratamento da amostra com soluções alcalina e ácida, e não satisfaz a exigência de recuperação de componentes indigestíveis da fibra dietética (Nussio et al., 2006). A solubilização da lignina, em proporções variáveis, é uma séria limitação do método (Van Soest e Robertson, 1985). A lignina solubilizada torna-se parte dos extrativos não nitrogenados (ENN), os quais deveriam ser o componente mais digestível do alimento. A inclusão da lignina nos ENN resulta, no caso de volumosos, em digestibilidades do ENN frequentemente menores do que a digestibilidade da FB. Desta forma, gradativamente, o método de FB foi substituído pelo de detergentes neutro e ácido desenvolvido por Van Soest e Wine (1967).

1.2. Fibra em detergente ácido

A FDA é constituída pela celulose e lignina, que permanecem no resíduo em detergente ácido, sendo as hemiceluloses solubilizadas. Ocorre também alguma contaminação por pectina, minerais e compostos nitrogenados (principalmente produtos da Reação de Maillard). Este procedimento pode ser utilizado como uma etapa preparatória da determinação de lignina, nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA), celulose e sílica (Van Soest et al., 1991).

1.3. Fibra em detergente neutro

O método FDN recupera, quantitativamente, celulose, hemiceluloses e lignina, com variável contaminação por cinzas, amido e proteína (Weiss, 1993). A partir do método de detergente neutro inicialmente proposto por Van Soest e Wine (1967), o sistema passou por algumas modificações, sendo esta a principal causa de variações nos resultados de análises entre laboratórios (Mertens, 1998).

Robertson e Van Soest (1981) e Van Soest et al. (1991) introduziram o uso de amilase termoestável para auxiliar na remoção do amido no resíduo em detergente neutro (RDN) e eliminaram o uso de sulfito de sódio, por este remover compostos fenólicos.

Alterações mais recentes do método original incluem o uso de sulfito de sódio, para reduzir a contaminação do FDN com proteína insolúvel, e adição de amilase termoestável, para remover o amido, sendo o resíduo de fibra obtido denominado de FDN tratado com amilase (aFDN) (Undersander et al., 1993, citados por Mertens, 2002). Geralmente os valores de aFDN são diferentes dos obtidos por outros métodos de determinação de FDN, com implicações sobre estimativas de valor energético dos alimentos e formulação de rações (Mertens, 1998). Embora as diferenças possam ser pequenas entre forragens, quando os alimentos são submetidos ao aquecimento, como resíduos de cervejaria e de destilaria (Tabela 1), o uso de sulfito de sódio torna-se essencial para remover a proteína desnaturada ou ligada a carboidratos (Reação de Maillard). Da mesma forma, o uso da amilase é crucial para a determinação de FDN em grãos.

Tabela 1. Valores obtidos utilizando diferentes métodos para mensurar a FDN.

Alimentos	FDN ¹	RDN ²	aFDN ³	aFDN/RDN
	(------% da MS -----)			(%)
Palha de trigo ^a	83,9	86,0	82,8	96,3
Capim-tímóteo ^a	67,2	68,0	65,1	95,7
Feno de alfafa ^a	47,20	50,4	46,3	91,9
Silagem de alfafa		43,6	42,2	96,8
Silagem de milho ^a	55,9	55,0	52,6	95,6
Resíduo de cervejaria		52,3	40,9	78,2
Resíduo de destilaria		38,6	27,9	72,3
Farelo de soja		18,5	12,4	67,0
Milho grão		11,4	10,1	88,6
Polpa cítrica		21,3	20,2	94,8

¹ Fibra em detergente neutro: método original com sulfito, sem amilase (Van Soest e Wine, 1967);

² Resíduo em detergente neutro: sem sulfito, com amilase (Robertson e Van Soest, 1981);

³ Fibra em detergente neutro tratada com amilase: com sulfito e amilase (Undersander et al., 1993, citado por Mertens, 2002).

^a Robertson (1984, citado por Mertens, 2002).

Fonte: Adaptado de Mertens (2002).

2. FRACIONAMENTO DOS CARBOIDRATOS

A composição química, as características físicas e cinéticas de digestão são características dos carboidratos que afetam o consumo de matéria seca, a digestão e a utilização da dieta (Mertens, 1992).

Mertens (1996) ressalta que a classificação dos carboidratos em estruturais (CE) e não estruturais (CNE) refere-se unicamente à função desempenhada nas plantas e não deve ser confundida com o papel dos carboidratos na nutrição animal. Conceitualmente, os CE estão relacionados com a parede celular (PC) dos vegetais, que é composta por celulose, hemiceluloses, lignina, pectina, compostos fenólicos e proteínas, enquanto os CNE estão localizados no conteúdo celular.

Embora inúmeras vezes usados como sinônimos, os termos PC e fibra não representam frações idênticas dos carboidratos, tanto em definição quanto em composição (Figura 1). A PC pode conter pectina, um carboidrato de alta digestibilidade (Mertens, 1996) e, portanto, não representa uma medida acurada de fibra.

Desta forma, Mertens (1992) menciona que, em termos nutricionais, a classificação dos carboidratos em fibrosos (CF) e não fibrosos (CNF) parece mais apropriada porque é baseada em características nutritivas, ao invés da função exercida na planta. Nesta classificação, os CNF representam as frações degradadas mais rapidamente e incluem amido, açúcares e pectina. Já os CF, principalmente a celulose e as hemiceluloses, ocupam espaço no trato digestório e exigem mastigação para redução do tamanho de partículas e passagem através desse trato. Nesse caso, CF e FDN têm

o mesmo significado nutricional, pois representam a mesma fração de carboidratos dos alimentos.

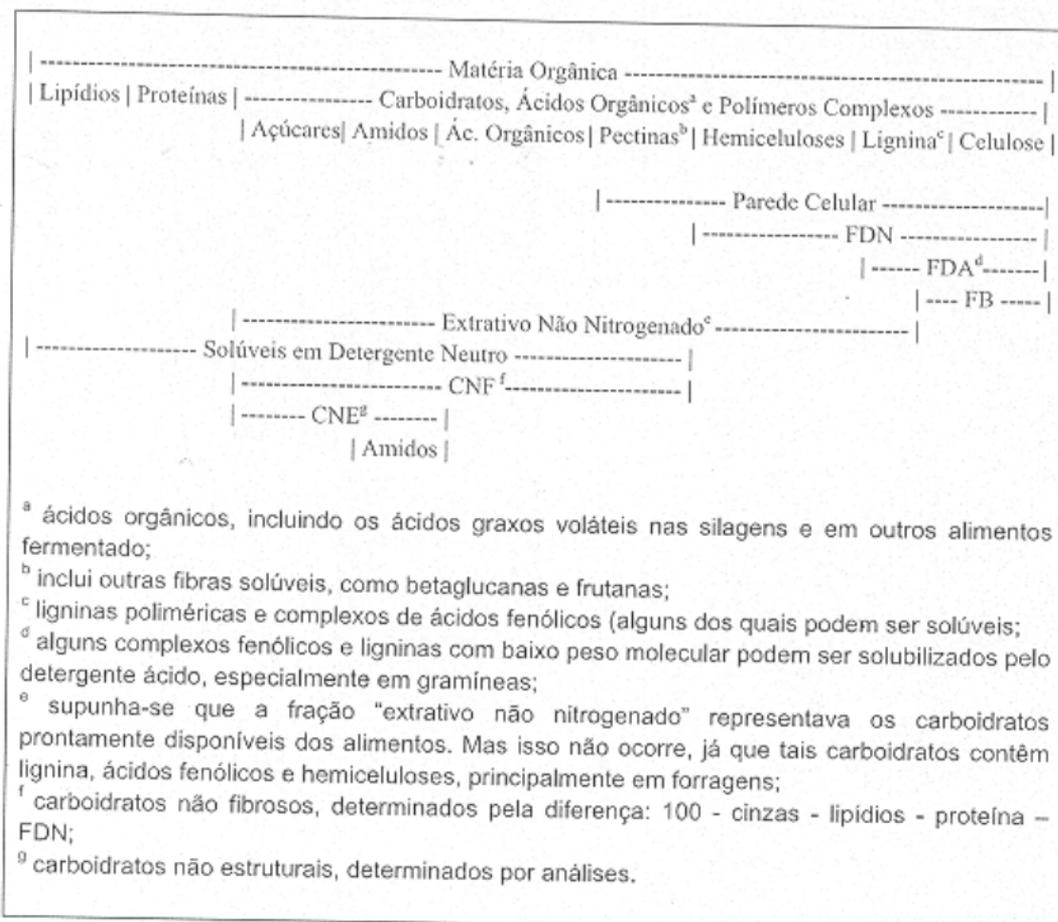


Figura 1. Fracionamento dos nutrientes.

Fonte: Adaptado de Mertens (2002).

Embora a FDN não tenha um valor nutritivo fixo, pois sua digestibilidade varia com o teor de lignina e outros fatores, a fração solúvel em detergente neutro apresenta valor nutricional elevado por ser quase completamente digestível (95 – 98%), com a exceção de alguns tipos de amido que são lentamente digeridos (Mertens, 2002).

A FDN mede o teor de fibra total e quantitativamente determina diferenças entre concentrado e volumoso, podendo ainda diferenciar volumosos de melhor ou pior qualidade (Gomes et al., 2007b). Van Soest (1994) menciona que a FDN é altamente correlacionada com a densidade volumétrica do alimento, representando a fração de digestão lenta e, portanto, é altamente correlacionada com o enchimento ruminal e o consumo de matéria seca. A concentração de FDN no alimento ou na ração é negativamente correlacionada com a concentração energética, e a composição

química da FDN (proporções de celulose, hemiceluloses e lignina) afeta a digestibilidade da fração FDN. Portanto, dietas com concentrações similares de FDN não necessariamente terão concentrações de energia líquida para lactação (EL_L) semelhantes.

3. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE VACAS EM LACTAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA FIBRA

A formulação de rações baseada no teor de FDN, embora atenda a um dos principais objetivos no balanceamento de dietas, que é definir o limite superior da relação volumoso/concentrado (V:C), não leva em consideração as características físicas da fibra, que estão associadas à cinética de digestão e à taxa de passagem (Mertens, 1997).

As propriedades físicas da fibra em rações de vacas leiteiras são afetadas pela razão V:C, tipos de forragens e concentrados utilizados, proporção de fontes de fibra não forrageiras, tamanho de partícula e processamento dos ingredientes da dieta (Mertens, 1997). Estas propriedades físicas podem influenciar a saúde e a longevidade das vacas, a fermentação ruminal, o metabolismo animal e o teor de gordura no leite, independentemente da quantidade e composição da FDN quimicamente mensurada.

A FDN pode ser utilizada eficientemente para definir o limite inferior da relação V:C quando a maior parte da fibra da dieta provém de forragens com partículas longas ou picadas grosseiramente. Entretanto, FDN não é adequada para balancear dietas quando a forragem é finamente picada ou quando fontes de fibra não forrageira são utilizadas (Mertens, 2002).

A cascata de eventos responsável por decréscimos no desempenho animal, quando dietas com pouca fibra efetiva são formuladas e fornecidas para vacas em lactação, inclui reduções na atividade de mastigação, com consequente menor secreção de saliva tamponante. Isso leva à diminuição do pH ruminal e às alterações nos padrões de fermentação deste órgão. O estreitamento da relação acetato/propionato provoca modificações no metabolismo animal, que convergem para depressões de magnitude variada, na síntese de gordura do leite (Mertens, 2001).

Na Tabela 2, Mertens (2001) resumiu respostas fisiológicas típicas de vacas leiteiras, decorrentes das variações nas proporções de forragem de fibra longa e das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) na dieta.

A incidência de distúrbios metabólicos, como deslocamento de abomaso, paraqueratose ruminal, abscessos hepáticos e laminite crônica, tem sido associada ao suprimento dietético inadequado de partículas longas de fibra (Buckmaster, 2000). Entretanto, segundo Mertens (1997), os efeitos decorrentes

das dificuldades de detecção de alterações na fermentação ruminal, originando acidose subclínica, podem ter impactos econômicos mais graves na produção leiteira.

Tabela 2. Respostas fisiológicas típicas de vacas leiteiras, decorrentes das variações nas proporções de forragem de fibra longa e das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) na dieta¹.

Variável	% de feno de gramínea com fibra longa na dieta de vacas leiteiras					
	100	80	60	40	20	0
Fibra em detergente neutro (FDN) na dieta (%)	70	59	48	36	25	14
Tempo de mastigação (min/dia)	1.080	1.040	970	820	520	320
Secreção de saliva (L/dia)	200	196	189	174	143	123
Bicarbonato salivar (kg/dia)	2,5	2,4	2,3	2,2	1,8	1,5
pH ruminal	6,8	6,7	6,5	6,2	5,8	5
Ácidos graxos voláteis no rúmen (mM)	85	95	105	115	125	135
Acetato ruminal (% molar)	70	66	61	55	48	40
Propionato ruminal (% molar)	15	18	22	27	33	40
Relação acetato:propionato	4,7	3,7	2,8	2,0	1,4	1,0
Gordura no leite (%)	3,7	3,6	3,5	3,4	3,0	1,0

Fonte: ¹ Adaptado de Mertens (2001).

4. EXIGÊNCIAS DE FIBRA PARA VACAS LEITEIRAS

Vacas em lactação devem consumir diariamente quantidades mínimas de fibra para estimular a atividade de mastigação, manter o fluxo de saliva e um ambiente ruminal favorável ao desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação de carboidratos fibrosos (Nussio et al., 2006).

O National Research Council - NRC (2001) sugere que a concentração mínima de FDN seja de 25% da matéria seca da dieta, desde que 75% da FDN total seja oriunda da forragem (FDNF), ou seja, 19% de FDNF. Entretanto, esses teores devem ser utilizados em condições específicas, nas quais as vacas são alimentadas com dietas à base de silagem de milho ou alfafa, com tamanho de partículas adequado, e grão de milho como fonte de amido, sendo a oferta de alimento na forma de ração completa.

A partir de uma ração contendo 19% de FDNF e 25% de FDN total, para cada 1% de redução no FDNF, deve-se aumentar 2% no FDN total e reduzir 2% no CNF máximo (Tabela 3). A premissa dessa proposta é a de que subprodutos fibrosos, utilizados para substituir forragens, têm metade da sua capacidade para manter o pH ruminal, a atividade de mastigação e o teor de gordura no leite.

Tabela 3. Recomendações das concentrações mínimas de FDN total, FDN de forragem e FDA (% da MS) e concentrações máximas de CNF (% da MS) em rações de vacas em lactação¹.

Mínimo de FDN da forragem	Mínimo de FDN total	Máximo de CNF	Mínimo de FDA
19	25	44	17
18	27	42	18
17	29	40	19
16	31	38	20
15	33	36	21

¹ Considerando adequado tamanho de partícula da forragem, milho como principal fonte de amido e rações fornecidas em mistura total.

Fonte: NRC (2001).

De acordo com Allen (1995), o requisito mínimo de FDN para vacas leiteiras é em torno de 30% na MS da dieta. Entretanto, diante da grande diversidade de ingredientes disponíveis, métodos de fornecimento da ração, frequência de alimentação e processamento de forragens, tornam-se necessários ajustes na concentração de FDN. Esse autor sugere algumas recomendações, adotando-se como base uma dieta com 30% de FDN na MS.

- *Tamanho de partícula das forragens.* Nenhum ajuste é necessário nas dietas à base de silagem de milho, quando 5-10% das partículas são maiores do que 19mm. O teor de FDN deve ser reduzido em duas unidades percentuais quando a silagem contém mais de 15% das partículas acima de 19mm ou quando é fornecido feno longo, e aumentado em duas unidades percentuais quando a forragem apresenta pouca quantidade de partículas longas (menos de 5% das partículas acima de 19mm). O teor de FDN deve ser elevado em quatro unidades para volumosos finamente picados, sem partículas longas.
- *Frequência de fornecimento do concentrado.* O conteúdo de FDN deve ser reduzido em 1,5 unidade quando o concentrado é fornecido quatro ou mais vezes por dia, ou quando se utiliza fornecimento de dieta completa. É necessário elevação de 1,5 unidade no teor de FDN quando o concentrado é fornecido duas vezes por dia ou menos.
- *Uso de tampões.* O teor de FDN pode ser reduzido em 0,5 a 1% na MS quando tamponantes são adicionados à dieta.
- *Degradabilidade ruminal do amido.* Nenhum ajuste é necessário quando 75-80% do amido é degradado no rúmen. O teor de FDN da dieta deve ser reduzido em duas unidades percentuais se a digestibilidade ruminal for de 65-75%. Deve-se aumentar o teor de FDN em duas unidades quando mais 80% do amido for degradado no rúmen.
- *Digestibilidade da fibra.* Deve haver um incremento de duas unidades percentuais na FDN quando são utilizadas forragens com elevada digestibilidade da FDN, como forragens imaturas ou silagens de milho de alta qualidade.

- *Utilização de subprodutos.* Nenhum ajuste é necessário se não houver inclusão de subprodutos na dieta. Aumentar a FDN em duas unidades percentuais quando forem utilizados mais de 10%, na MS da dieta, de subprodutos com elevado teor de fibra e finamente picados. A fibra proveniente dos subprodutos deve ser limitada a 30% da exigência de fibra total.
- *Adição de gordura.* Quando há inclusão de 2-3% de gordura na MS da dieta, pode-se reduzir o teor de FDN em uma unidade percentual.

Em todos os contextos avaliados acima, a redução no teor de FDN nunca deve exceder cinco unidades percentuais, sendo o limite mínimo de FDN recomendado de 25% na MS (Varga et al., 1998).

Já a quantidade máxima de FDN que pode ser incluída em rações é função das exigências de energia líquida de lactação (EL_L) da vaca, da quantidade de CNF necessária para boa fermentação ruminal e do efeito negativo que a fibra exerce sobre o consumo de matéria seca (NRC, 2001). Segundo Firkins (2002), as rações de vacas em lactação devem conter teores máximos de 30% de FDN oriunda de forragem e 35 a 40% de FDN total, para evitar restrições no consumo de MS devido ao efeito de enchimento ruminal. Lana et al. (2004) avaliaram dados experimentais de vacas leiteiras publicados no Brasil e sugeriram que o teor de FDN total deve ser reduzido com o aumento da produção de leite, variando de 50 a 33% da MS da ração para produções diárias de 18 a 24Kg de leite por vaca, respectivamente.

Teores de FDN em relação ao peso vivo (PV) também foram estabelecidos. O Sistema de Carboidratos e Proteína Líquidos de Cornell (CNPS) para bovinos assume um consumo máximo de FDN ao parto de 0,8% do PV e de 1,2% do PV no período de 100 dias pós-parto a 160 dias de gestação (Fox et al., 1992).

5. CONCEITOS DE EFETIVIDADE DA FIBRA - FDN FISICAMENTE EFETIVA E FDN EFETIVA

Mertens (1997) relatou que, embora a determinação da concentração de FDN possa ser considerada como de rotina, a efetividade da fibra tem sido definida sob diferentes formas, e tentativas vêm sendo feitas para incorporar os conceitos de FDN efetiva e FDN fisicamente efetiva na formulação de rações.

A fibra fisicamente efetiva (FDN_{fe}) de um alimento corresponde às propriedades físicas de FDN, principalmente tamanho de partículas, que estimulam mastigação e estabelecem uma estratificação bifásica do conteúdo ruminal, contribuindo para a formação de uma camada flutuante de partículas grandes, denominadas de *mat*, sobre um *pool* de líquido e partículas pequenas (Mertens, 1997). Em termos práticos, é o produto do fator de efetividade física (fef) pela porcentagem de FDN obtida da análise química de um alimento (Armentano e Pereira, 1997). O valor de FDN_{fe} dos alimentos está relacionado à concentração de FDN e à variação no tamanho de partícula, sendo esses fatores críticos para estimulação da ruminação e motilidade do rúmen (Mertens, 1998).

A fração FDN efetiva (FDNe) está relacionada ao somatório das habilidades totais de um alimento em substituir a forragem na ração, contanto que a porcentagem de gordura do leite produzido por vacas consumindo tal dieta seja mantida. Por definição, fatores de efetividade (fe) para FDN podem variar de zero, quando um alimento não tem habilidade para manter o teor de gordura do leite, para valores maiores que um, quando um alimento mantém a porcentagem de gordura do leite mais efetivamente do que o faz a atividade de mastigação (Mertens, 1997).

Quando apenas o teor de gordura do leite é utilizado como a variável de resposta de mudança na efetividade, os efeitos físicos da FDN sobre a atividade de mastigação e tamponamento ruminal são confundidos com os efeitos metabólicos causados por diferenças na composição química dos alimentos (Allen, 1997). Mertens (2001) discutiu que os efeitos adicionais parcialmente incluídos na FDNe envolvem características dos alimentos associadas com a capacidade intrínseca de tamponamento, composição e concentração de gordura, teores de proteínas solúveis e carboidratos e proporções molares e concentrações de ácidos graxos voláteis.

Portanto, FDNfe e FDNe diferem em conceito e valores estabelecidos para cada alimento e, em razão de a FDNfe estar relacionada a propriedades puramente físicas da fibra, trata-se de um conceito mais restrito que FDNe (Mertens, 1998).

6. FONTES DE FIBRA NÃO FORRAGEIRA

O uso de subprodutos para atender as exigências de fibra torna-se uma opção importante para rações cujo balanceamento pode ser limitado pela quantidade ou qualidade das forragens disponíveis. Os subprodutos utilizados com esse propósito constituem uma fonte de fibra não forrageira (FFNF), destacando-se a casca de soja, o caroço de algodão, a casca de algodão e a polpa cítrica.

A FDN de vários subprodutos é potencialmente mais digestível no rúmen do que a FDN oriunda de forragens (FDNF). Assim, existe potencial para aumentar a digestibilidade ruminal e do trato total da FDN quando FFNF substituem forragens em dietas de vacas em lactação. Por outro lado, a taxa de digestão da FDN de FFNF no rúmen é semelhante ou inferior a de forragens e, além disso, estas fontes de fibra têm tamanho menor de partículas e gravidade específica maior (Firkins, 1997). A combinação desses fatores contribui para taxa de passagem mais rápida dos subprodutos do que das forragens. Como digestão e passagem são processos que competem entre si, as FFNF devem ser retidas no rúmen para aumentar a digestibilidade ruminal de FDN.

Fonte, quantidade e características físicas da forragem podem interagir com FFNF e influenciar o comportamento ingestivo, a digestão da fibra no trato gastrointestinal, a taxa de passagem, a energia metabolizável da ração e o desempenho dos animais (Grant, 1997; Mooney e Allen, 1997).

A presença de fibra de volumosos no rúmen pode alterar a consistência do *mat* e aumentar a retenção da FFNF, além de estimular a mastigação de forma mais eficiente. Desse modo, em dietas com inclusão de grandes quantidades de subprodutos como fonte de fibra, torna-se interessante a utilização de forragem com maiores tamanhos de partícula. Weidner e Grant (1994) substituíram 40% de uma mistura de silagens de alfafa e de milho por casca de soja (25% da MS) em dietas de vacas em lactação, com ou sem a inclusão de feno de alfafa picado grosseiramente. A inclusão de casca de soja e feno aumentou a consistência do *mat*, elevou o pH ruminal e aumentou o tempo de ruminação. Sem a inclusão do feno, a casca de soja não apresentou a mesma efetividade.

O NRC (2001) assume que a FDN de FFNF apresenta 50% da efetividade da FDN de forragens. A exceção é o caroço de algodão, que apresenta um fe de 1,0 e fef de 0,9, valores semelhantes aos de forragens longas.

7. MÉTODOS PARA QUANTIFICAR A EFETIVIDADE DA FIBRA

A efetividade de FDN vem sendo avaliada por meio de métodos estatísticos (Mertens, 1997), de ensaios biológicos (Clark e Armentano, 1993) e/ou do emprego de métodos laboratoriais de avaliação da estratificação de partículas dos alimentos (Buckmaster et al., 1997; Mertens, 1997; Fox et al., 1999).

7.1. Teor de gordura no leite

A manutenção da porcentagem de gordura do leite tem sido o centro das atenções de muitas pesquisas e de aplicações do conceito de fibra efetiva por nutricionistas no campo. O inevitável impacto econômico para o produtor, a facilidade pela qual pode ser mensurada e a expectativa de que possa ser um aceitável reflexo da saúde, do bem-estar e do desempenho animal são algumas das justificativas em que se baseia a eleição desta variável como indicativa dos efeitos da concentração dietética de FDNe (Lopes et al., 2006).

O procedimento metodológico clássico, utilizado em experimentos de curta duração, para estimativa de valores de FDNe para subprodutos fibrosos de origem vegetal (fontes de fibra não forrageira), baseia-se nas alterações observadas na porcentagem de gordura do leite, quando a FDN de uma forragem considerada padrão (fe = 1,0) é substituída pela FDN daquele subproduto sob teste (Clark e Armentano, 1993; Swain e Armentano, 1994; Depies e Armentano, 1995).

Este método exige a formulação de uma dieta basal com baixas concentrações de FDN total. A partir destes níveis basais, são formuladas dietas com níveis crescentes de adição de FDN da forragem padrão, visando à obtenção de uma curva de resposta-padrão, relacionando teores de gordura do leite *versus* os conteúdos dietéticos de FDN da forragem referência (Swain e Armentano, 1994). O coeficiente de inclinação obtido desta regressão fornece uma estimativa do aumento linear de unidades

percentuais de gordura no leite para cada 1% de FDNe oriunda da forragem padrão. Com base nas concentrações de FDN definidas na dieta basal, deve-se formular uma ração contendo um nível adicional de FDN oriunda do alimento a ser testado. Desta forma, um segundo coeficiente de regressão é obtido, o qual expressa o acréscimo linear de unidades percentuais de gordura no leite com a adição de 1% de FDNe oriunda do alimento teste. Da razão entre os dois coeficientes de regressão obtidos, tem-se uma estimativa do fe para o alimento teste em relação à forragem considerada padrão no experimento (Lopes et al., 2006).

Por exemplo, se em uma avaliação com vacas em lactação, a inclusão na ração de FDN de grãos de destilaria desidratados gerasse um coeficiente de regressão linear de 0,020 e a silagem de alfafa um coeficiente de 0,025, o valor calculado de efetividade dos grãos de destilaria seria de 0,8 (0,020/0,025). Portanto, este produto teria 80% da efetividade da silagem de alfafa (Lima, 2003).

Alguns problemas deste método são: assume-se que a resposta do teor de gordura no leite ao aumento no teor de FDN da ração é linear; não são consideradas as diferenças que frequentemente ocorrem na qualidade ou efetividade da fibra da silagem alfafa (tamanho de partícula); e desconsidera-se que a porcentagem de gordura no leite pode ser afetada por outros fatores e não apenas pelo teor de FDN da forragem (Armentano e Pereira, 1997).

Nas Tabelas 4 e 5, podem-se observar os teores de FDNe de alguns alimentos frequentemente utilizados na alimentação de vacas leiteiras.

Tabela 4. Teores de fibra em detergente neutro efetiva (FDNe) de alguns alimentos rotineiramente utilizados na alimentação de ruminantes.

Tamanho de partícula (cm)	Alimento	FDN (%MS)	FDNe (% FDN)	FDNe (%MS) ¹
< 0,653	Milho grão moído	9	0	0
	Feno de gramínea maduro	72	73	53
	Silagem de milho	41	61	25
0,653 - 1,27	Feno de gramínea maduro	72	88	63
	Silagem de milho	41	71	29
	Sabugo de milho	90	80	72
	Milho quebrado	9	60	5
1,27 - 2,54	Feno de gramínea maduro	72	100	72
	Sabugo de milho	90	100	90
	Caroço de algodão	44	100	44
Longo (>2,54)	Feno de gramínea maduro	72	100	72
	Pastagem de gramínea	50	41	21
	Milho grão inteiro	9	100	9
	Palha de arroz ²	85	120	102

¹ FDNe (%MS) = FDN (%MS) x FDNe (%MS).

² Valor elevado devido ao alto teor de lignina (20 % MS).

Fonte: Adaptado do CNPS (dados não publicados), citado por Gomes et al. (2007a).

Tabela 5. Teor de fibra em detergente neutro efetiva (FDNe; %FDN) de alguns concentrados para bovinos.

Ingrediente	FDNe (% FDN)
Caroço de algodão	100
Grão de soja inteiro	100
Milho seco inteiro	100
Milho quebrado	60
Fubá de milho	48
Milho alta umidade ¹	48
Farelo de algodão	36
Glúten de milho	36
Polpa cítrica	33
Farelo de soja	23

¹ Moagem fina.

Fonte: Adaptado de Sniffen et al. (1992).

Outra consideração a respeito da obtenção destas estimativas de fe está relacionada ao uso de vacas nos terços médio e final da lactação (Allen 1995, 1997; Kononoff, 2002). Segundo o NRC (2001), a composição do leite destes animais é mais sensível a mudanças dietéticas. Por este motivo, segundo Allen (1997), os valores de efetividade estimados com o auxílio desta metodologia não seriam aplicáveis a vacas no início da lactação. O autor sugere que o pH ruminal seria uma resposta mais adequada na determinação da exigência de fibra efetiva para esta categoria animal.

Embora o baixo teor de gordura no leite seja um indicador da formulação inadequada de rações, casos de laminite podem ser encontrados em rebanhos que não apresentam sinais de depressão no teor de gordura do leite, sugerindo que este não é um parâmetro adequado para avaliação da função ruminal e da saúde do rebanho (Mertens, 2000).

7.2. Comportamento ingestivo

O tempo de mastigação, composto pela ingestão e ruminação, tem sido uma das medidas mais estruturadas e utilizadas para avaliar a efetividade de FDN, por afetar a secreção de saliva, o processo de trituração dos alimentos, a função ruminal (pH e perfil de AGV), o consumo de matéria seca e a porcentagem de gordura no leite (Colenbrander et al., 1991). Vacas em lactação podem produzir até 308 litros de saliva por dia durante a mastigação (Cassida e Stokes, 1986), sendo esse um dos mecanismos mais importantes de remoção de íons hidrogênio produzidos durante a fermentação ruminal dos alimentos.

O tempo de mastigação é afetado principalmente pelo consumo de matéria seca, pelo teor de FDN total e por características físicas da ração (tamanho de partícula). Portanto, o comportamento ingestivo pode ser usado para calcular os valores de efetividade física da fibra dos alimentos e compará-los entre si.

Mooney e Allen (1997) desenvolveram uma série de equações, baseadas na concentração de FDN e no tempo de mastigação, as quais foram utilizadas para calcular a efetividade física da fibra da silagem de alfafa e do caroço de algodão. Nesse método, os autores consideraram os teores de FDN dos alimentos e o tempo de mastigação proporcionado por ingrediente da ração. A contribuição dos concentrados para mastigação foi assumida como sendo igual a zero; embora Mertens (1997) tenha estimado valores tão altos quanto 0,94 para o milho triturado grosseiramente. Outra suposição, baseada na regressão de médias para tratamentos publicados na literatura, foi que o tempo basal de mastigação seria de 355 minutos por dia para dietas com 0% de FDN. Os valores de efetividade física dos alimentos testados foram calculados dividindo-se o tempo de mastigação por unidade de FDN do alimento teste pelo tempo de mastigação por unidade de FDN da silagem de alfafa.

Esse método de avaliação da FDNfe assume que a resposta do tempo de mastigação em relação ao aumento do teor de FDN da ração é linear, embora existam evidências na literatura de que não haja linearidade desta resposta (Woodford e Murphy, 1988; Beauchemin, 1991; Grant, 1997). Grant (1997) observou que a ruminação por unidade de FDN consumida aumentou quando o teor de FDN da ração diminuiu, sugerindo que as vacas apresentavam um mecanismo adaptativo de aumento na eficiência de ruminação quando o consumo de FDN era limitado.

Mertens (1997) propôs o conceito de FDN fisicamente efetivo (FDNfe) utilizando análises de regressão para designar fef para classes de alimentos, baseados na atividade de mastigação que eles estimularam. A princípio, Mertens (1997) resumiu dados de atividade de mastigação de 45 experimentos publicados e determinou o consumo de FDN para cada fonte dietética e forma física das 265 combinações de vacas e tratamentos. Desse modo, foram estabelecidos coeficientes de regressão representando "minutos de mastigação/Kg de FDN" para cada fonte e forma física. O feno de gramínea com fibra longa originou um coeficiente de regressão de 150min/Kg de FDN e foi escolhido como a forragem padrão (fef=1,0). Para determinar os coeficientes de fef de vários alimentos, os tempos totais de mastigação foram divididos por 150min/Kg de FDN e efetuou-se a regressão dessa variável *versus* o consumo de FDN (Kg/dia) de cada alimento.

7.3. Métodos laboratoriais

Um simplificado sistema para avaliação da FDNfe, que considera as características químicas e físicas dos alimentos, foi proposto por Mertens (1997). A concentração de FDN (% MS) do alimento é multiplicada pela porcentagem de partículas retidas em peneiras maiores do que 1,18mm, obtendo-se o valor de FDNfe, como pode ser visto na Tabela 6. Essa metodologia tem como premissa básica que partículas com tamanho inferior a 1,18mm passam rapidamente pelo rúmen, não evidenciando importância no estímulo à mastigação e ruminação (Poppi et al., 1985). Além disso, pressupõe que a FDN é uniformemente distribuída nas frações do alimento contendo distintos tamanhos de partículas; que a atividade de mastigação é igual para todas as

partículas retidas na malha de 1,18mm; e que a fractabilidade (facilidade na redução do tamanho) é semelhante entre fontes de FDN (Mertens, 1997).

Buckmaster et al. (1997) também desenvolveram um método de avaliação do consumo de fibra efetiva, denominado Índice de Fibra Efetiva (IFE), baseado na distribuição das partículas dos alimentos em três peneiras e na concentração de FDN de cada fração, ponderada pela respectiva efetividade relativa em cada uma dessas frações. Nesse caso, a distribuição das partículas por tamanho foi efetuada utilizando-se o conjunto de peneiras (>19mm, 8 a 19mm e < 8mm) da *Penn State Forage and TMR Separator* (Lammers et al., 1996). Segundo Buckmaster (2000), os coeficientes de efetividade relativa, que foram determinados baseados em dados publicados na literatura, refletem a efetividade de cada tamanho de partícula em estimular a ruminação e em contribuir para a formação do *mat* ruminal. Entretanto, o autor alertou que ajustes baseados no tipo de alimento podem evidenciar-se necessários, pois este índice não capta diferenças na efetividade de partículas de distintas fontes dietéticas. Recentemente uma nova peneira com abertura de malhas de 1,18mm foi incluída no *Penn State Forage and TMR Separator* (PSPS) e sua utilização foi validada, visando à caracterização adicional das partículas mais finas do alimento ou da dieta (Kononoff, 2002).

Um aspecto importante a ser considerado é que a metodologia de avaliação afeta a estimativa da efetividade física da FDN, sendo que os valores de FDNfe foram consideravelmente menores quando avaliados por meio da PSPS. Também foi identificada correlação mais elevada entre os valores de FDNfe estimados pela metodologia de Mertens (1997), partículas retidas em peneiras de 1,18mm e a atividade de mastigação (Beauchemin et al., 2003).

Tabela 6. Estimativas da fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (FDNfe), utilizando-se análises químicas e físicas.

Alimentos	FDN (% MS)	Fração retida (% de MS) retida em peneira de 1,8 mm	FDN fe (% MS) ¹
Padrão	100	1,00	100,0
Feno de gramínea	65	0,98	63,7
Feno de leguminosa	50	0,92	46,0
Silagem de leguminosa ²	50	0,82	41,0
Silagem de leguminosa ³	50	0,67	33,5
Silagem de milho	51	0,81	41,5
Resíduo de cervejaria	46	0,18	8,3
Milho moído	9	0,48	4,3
Farelo de soja	14	0,23	3,2
Casca de soja	67	0,03	2,0

¹ FDNfe = FDN (%MS) x fração retida na peneira (% MS); ² Silagem picada grosseiramente; ³ Silagem picada finamente.

Fonte: Mertens (1997).

8. VALORES DE EFETIVIDADE DA FDN SEGUNDO A METODOLOGIA DE DETERMINAÇÃO

Os conceitos de FDN fisicamente efetiva e FDN efetiva são relativamente recentes, e tentativas vêm sendo feitas para incorporar este conceito na formulação de dietas para vacas em lactação. Entretanto, no momento, a falta de um método padrão e validado para medir fibra efetiva e estabelecer exigências limita a aplicação deste conceito.

Allen e Grant (2000), trabalhando com vacas nos terços iniciais de lactação, determinaram dois fatores de efetividade (fe), a partir da concentração de gordura do leite e do pH ruminal; e um fator de efetividade física (fef), tendo a atividade de ruminação (min/Kg de FDN) como variável de resposta animal. A forragem padrão (fef ou fe = 1,0) foi a silagem de alfafa, e o alimento teste foi o glúten úmido de milho. Os índices de efetividade obtidos foram de 0,74; 0,13; e 0,11, respectivamente, para porcentagem de gordura no leite, pH e atividade de mastigação. Os autores consideraram que as diferenças observadas nos índices de efetividade foram reflexo dos atributos químicos e físicos do glúten de milho. Segundo eles, este alimento possui fibra altamente digestível, que foi capaz de diluir carboidratos não fibrosos dietéticos, provocando decréscimos na produção de ácidos de fermentação. Mas, devido ao seu pequeno tamanho de partícula, a FDN foi somente 11% tão efetiva quanto a FDN da silagem de alfafa em estimular a ruminação. Allen e Grant (2000) concluíram que os índices de efetividade podem variar substancialmente em função da variável resposta e recomendaram uma posição mais conservadora no tocante ao uso do menor valor obtido, evitando possível acidose no rúmen. Esta estratégia também foi recomendada por Pereira et al. (1999) para formulação de dietas em que fontes de fibra não forrageira são incluídas.

Depies e Armentano (1995), trabalhando com vacas no terço médio da lactação e silagem de alfafa como forragem-padrão, também obtiveram estimativas para fe e fef bastante diferentes quando utilizaram as respostas "porcentagem de gordura no leite" e "tempo de ruminação". Os valores relatados para fe (porcentagem de gordura do leite) da FDN foram de 0,51 para ambos, o sabugo e milho moído e o farelo de trigo. Os respectivos fef da FDN (atividade de mastigação) para cada alimento foram 0,42 e 0,33. Os autores concluíram que metade da efetividade da FDN da silagem de alfafa refere-se ao seu tamanho de partículas, um efeito que não pode ser substituído pela FDN da maioria das fontes de fibra não forrageira. A outra metade da efetividade da FDN da silagem de alfafa e toda a efetividade da maioria das fontes de fibra não forrageira são decorrentes do efeito de diluição dos carboidratos não fibrosos da dieta.

A determinação das características químicas e físicas dos alimentos, que influenciam sua efetividade em manter a funcionalidade do rúmen e o bem-estar do animal, evidencia-se como importante ferramenta para a otimização de dietas para vacas leiteiras. Dessa forma, a identificação das vantagens e das deficiências inerentes às metodologias utilizadas na determinação dos fatores de efetividade dos alimentos torna-se necessária para orientar a busca por uma metodologia padrão que beneficie a aplicação prática do conceito de fibra efetiva. Mais pesquisas são necessárias para

identificar as propriedades dos alimentos que influenciam a efetividade da fibra dietética, visando ao estabelecimento de um banco de dados para uso na formulação de rações.

9. EXIGÊNCIAS DE FIBRA EFETIVA

Atualmente, as exigências de FDN efetiva disponíveis para formulação de rações para vacas leiteiras foram estabelecidas por Mertens (1997), a partir de análises de regressão de dados da literatura. Foi estabelecido que o teor mínimo de FDNfe necessário para manter o teor de gordura no leite em 3,4% seria de 19,7% na MS. Esse autor também avaliou o pH do líquido ruminal para estabelecer a exigência de FDNfe. Nesse caso, para manter um pH de 6,0 no fluido ruminal, é necessário o teor de 22,3% de FDNfe na MS da ração.

Assim, Mertens (2000) sugeriu que a formulação de dietas para vacas leiteiras deve conter, no mínimo, 21% de FDNfe, admitindo-se uma amplitude de 19 a 23% de FDNfe na MS. O deslocamento em direção a um dos extremos depende de fatores que afetam a atividade de mastigação, da produção de ácidos no rúmen, das variações nas composições das rações, do manejo, da capacidade natural dos alimentos para o tamponamento do rúmen e da suplementação com tamponantes.

O CNPS (Fox et al., 1999) também estabeleceu recomendações mínimas de FDNfe na MS da dieta, considerando fatores relacionados ao manejo e à composição da ração. O sistema sugere um teor mínimo de 20% de FDNfe em rações que visam maximizar o uso de CNF e a produção de proteína microbiana, sendo o concentrado fornecido em ração total (TMR).

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento das propriedades químicas e físicas das forragens e dos subprodutos utilizados como fontes de fibra representa uma importante ferramenta para os nutricionistas, principalmente em sistemas de produção de leite especializados, nos quais é necessário um maior refinamento. O balanceamento de dietas para vacas de alta produção exige a utilização dos limites inferiores da exigência de fibra. Nesse contexto, a aplicação prática dos conceitos de efetividade garantirá a manutenção da funcionalidade do rúmen e da saúde e longevidade do animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, D.M.; GRANT, R.J. Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.83, p.322-331, 2000.

- ALLEN, M. Fiber requirements: finding optimum can be confusing. *Feedstuffs*, v.67, n.19, p.13-16, 1995.
- ALLEN, M. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.1447-1462, 1997.
- ARMENTANO, L.; PEREIRA, M. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.1416-1425, 1997.
- BEAUCHEMIN, K.A.; BUCHANAN-SMITH, J.G. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on hewing, rumen function, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.73, p.3140-3151, 1991.
- BEAUCHEMIN, K.A.; YANG, W.Z.; RODE, L.M. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cows diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production. *J. Dairy Sci.*, v.86, p.630-643, 2003.
- BUCKMASTER, D.R. Particle size in dairy rations. In: Garnsworthy, P.C.; Wiseman, J. (Ed.) *Recent advances in animal production*. Nottingham: Nottingham University Press, 2000. p.109-128.
- BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHS, R.; LAMMERS, B.P. Characterizing effective fiber with particle size and fiber concentration interactions. In: International Grassland Congress, 18., 1997, Winnipeg, Manitoba. *Proceedings...* Brandon, MB: Canadian Forage Council, 1997, p.71-82.
- CASSIDA, K.A.; STOKES, M.R. Eating and resting salivation in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.69, p.1282-1292, 1986.
- CLARK, P.W.; ARMENTANO, L.E. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared with alfalfa haylage. *J. Dairy Sci.*, v.76, p.2644-2650, 1993.
- COLENBRANDER, V.F.; NOLLER, C.H.; GRANT, R.J. Effect of fiber content and particle size of alfalfa silage on performance and chewing behaviour. *J. Dairy Sci.*, v.74, p.2681-2690, 1991.
- DEPIES, K.K.; ARMENTANO, L.E. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber with fiber from corn cobs or wheat middlings. *J. Dairy Sci.*, v.78, p.1328-1335, 1995.
- FIRKINS, J.L. Lactation performance by dairy cows fed wet brewers grains or whole cottonseed to replace forage. *J. Dairy Sci.*, v.85, p.2662, 2002.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.*, v.70, p.3578-3596, 1992.

- FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; VAN AMBURGH, M.E. et al. *Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion: Model documentation*. v.3.01. Ithaca, NY: Cornell University, 1999.
- GOMES, S.P.; BORGES, A.L.C.C.; CAMPOS, M.M. Efetividade da fibra na nutrição de ruminantes. *Cad. Téc. Vet. Zootec.*, n.55, p.17-13, 2007a.
- GOMES, S.P.; CAMPOS, M.M.; BORGES, A.L.C.C. Importância da efetividade da fibra na alimentação de vacas leiteiras. *Rev. Leite Integr.*, n.10, p.21, 2007b.
- GRANT, R.J. Interactions among forages and nonforage fiber sources. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.1438-1446, 1997.
- KONONOFF, P. J. *The effect of ration particle size on dairy cows in early lactation*. 2002. 139f. Thesis (Doctor of Philosophy in Animal Science) - The Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, University Park, PA.
- LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICHS, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations *J. Dairy Sci.*, v.79, p.922-928, 1996.
- LANA, R.P.; FONTES, C.A.A.; MORAIS, C.A.C. et al. Predição e validação do desempenho de vacas leiteiras nas condições brasileiras e uso das equações para estimativa das exigências nutricionais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande, MS. *Anais...* Campo Grande, MS: SBZ, 2004. CD-ROM.
- LIMA, M.L.M. *Análise comparativa da efetividade da fibra de volumosos e subprodutos*. 2003. 121f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.
- LOPES, F.C.F.; RODRÍGUEZ, N.M.; ARCURI, P.B. et al. *Fibra efetiva para vacas em lactação*. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2006. 50p. (Documentos, 114).
- MERTENS, D. Formulating dairy rations: Using fiber and carbohydrate analyses to formulate dairy rations. In: INFORMATION CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES, 1996, Madison, WI. *Proceedings...* Madison, WI: U.S. Dairy Forage and Research Center, 1996. p. 81-92.
- MERTENS, D.R. Analysis of fiber in feeds and its use in feed evaluation and ration formulation. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 1992, Lavras, MG. *Anais...* Lavras, MG: SBZ, 1992. p.1-32.
- MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.1463-1481, 1997.

- MERTENS, D.R. Fiber composition and value of forages with different NDF concentrations. In: SOUTHWEST NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 1998, Phoenix, AZ. *Proceedings...* Phoenix, AZ: University of Arizona, 1998. p.85-99.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers of crucibles: collaborative study. *J. Assoc. Off. Chem. Int.*, v.85. p.1217-1240, 2002.
- MERTENS, D.R. Physically effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOCULTURA DE LEITE: NOVOS CONCEITOS EM NUTRIÇÃO, 2001, Lavras, MG. *Anais...* Lavras, MG: UFLA-FAEPE, 2001. p.25-36.
- MOONEY, C.S.; ALLEN, M.S. Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.*, v.80, p.2052-2061, 1997.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. rev. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
- NUSSIO, L.G.; CAMPOS, F.P.; LIMA, M.L.M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S.G. Ed.). *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal, SP: Funep, 2006. p.151-182.
- PEREIRA, M.N.; GARRET, E.F.; OETZEL, G.R. et al. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. I. Performance and health. *J. Dairy Sci.*, v.82, p.2716-2730, 1999.
- POPPI, D.R.; HENDRICKSON, R.E.; MINSON, D.J. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle. *J. Agric. Sci.*, v.105, p.9-14, 1985.
- ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: JAMES, W.P.T.; THEANDER, O. (Ed.). *The analyses of dietary fiber in food*. New York: Marcel Dekker, 1981. p.123-158.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, v.70, p.3562-3577, 1992.
- SWAIN, S.M.; ARMENTANO, L.E. Quantitative evaluation of fiber from nonforage sources used to replace alfalfa silage. *J. Dairy Sci.*, v.77, p.2318-2331, 1994.
- UNDERSANDER, D.; MERTENS, D. R. THIEX, E. N. *Forage analyses procedures*. Ohama, NE: National Forage Testing Association, 1993. 154p

VAN SOEST, P.J. *Nutrition ecology of the ruminant*. 2.ed. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1994. 476p.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. *Analysis of forage and fibrous feeds: a laboratory manual*. Ithaca, NY: Cornell University, 1985. 43p.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, v.74, p.3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. The use detergents in analyses of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc Off. Anal. Chem.*, v.50, p.50-55, 1967.

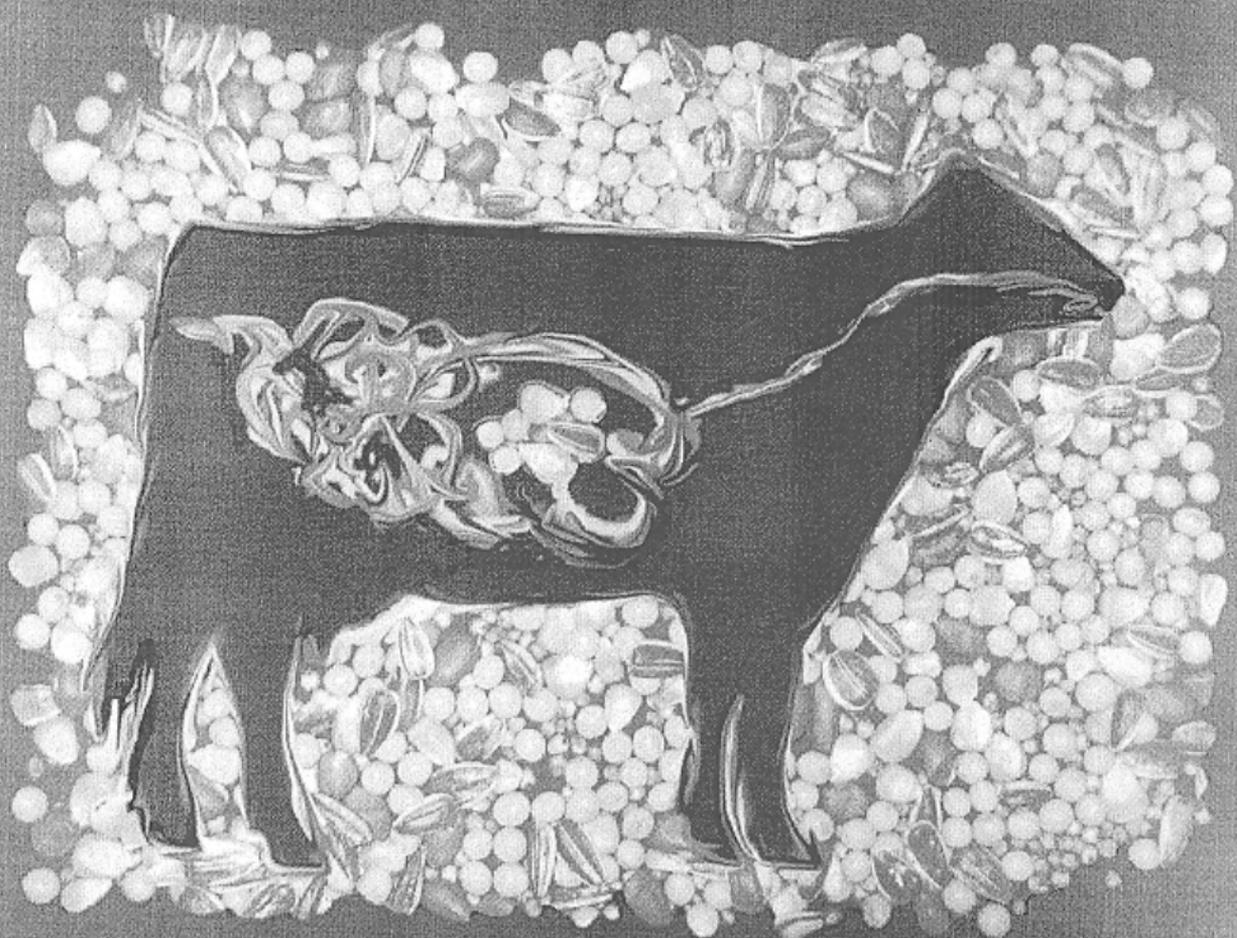
VARGA, G. A., DANN, H. M., ISHLER, V. A. The use of fiber concentration for ration formulation. *J. Dairy Sci.*, v.81, p.3063-3074, 1998.

WEIDNER, S. J., GRANT, R. J. Altered ruminal mat consistency by high percentages of soybean hulls fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v.77, p.522-532, 1994.

WEISS, W.P. Dietary fiber requirements of dairy cattle explored. *Feedsuffs*, v.65, n.46, p.14-17, 1993.

WOODFORD, S.T.; MURPHY, M.R. Effect of forage physical form on chewing activity, dry matter intake, and rumen function of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.*, v.71, p.674-686, 1988.

Alimentos para Gado de Leite



Editores:
Lúcio Carlos Gonçalves
Iran Borges
Pedro Dias Sales Ferreira

Lúcio Carlos Gonçalves
Iran Borges
Pedro Dias Sales Ferreira

ALIMENTOS PARA GADO DE LEITE

FEPMVZ-Editora
Belo Horizonte
2009

A414 Alimentos para gado de leite / Editores: Lúcio Carlos Gonçalves, Iran Borges,
Pedro Dias Sales Ferreira. – Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009.
568 p. : il.

Inclui bibliografia
ISBN 978-85-87144-36-2

1. Bovino de leite – Alimentação e rações. 2. Bovino de leite - Nutrição.
3. Nutrição animal. I. Gonçalves, Lúcio Carlos. II. Borges, Iran. III. Ferreira,
Pedro Dias Sales.

CDD – 636.214 085 2