

AVALIAÇÃO, COMPOSIÇÃO, DIGESTIBILIDADE E ASPECTOS METABÓLICOS DA FIBRA*

INTRODUÇÃO

Há mais de 100 anos a fibra vem sendo usada para caracterizar os alimentos (VAN SOEST, 1994; VAN SOEST, 1982) e para estabelecer limites máximos de ingredientes nas rações (MERTENS, 1992), entretanto os nutricionistas não chegaram a um consenso sobre uma definição uniforme de fibra, bem como, sobre a concentração de fibra que otimize o consumo de energia. Em termos abstratos, a fibra pode ser definida como sendo o componente estrutural das plantas (parede celular), a fração menos digestível dos alimentos, a fração do alimento que não é digerida por enzimas de mamíferos ou a fração do alimento que promove a ruminação e a saúde do rúmen (WEISS, 1993).

Até os anos 80, as análises de fibra foram usadas quantitativamente, apenas para estimar valores energéticos dos alimentos, no entanto, a fibra é um componente crítico na dieta, que limita a produtividade quando fornecida em excesso (MINSON, 1990). Para ruminantes de alta produção, alimentados com ração contendo concentrados e volumosos a fibra é uma característica importante que afeta a saúde e o desempenho destes animais (SUDWEEKS et al., 1981). A fibra afeta três características dos alimentos, importantes na nutrição animal: está relacionada com a digestibilidade e com os valores energéticos; com a fermentação ruminal e pode estar envolvida no controle da ingestão de alimento (MERTENS, 1992).

Esta revisão tem como objetivo ressaltar as diferenças quanto à determinação e composição da fibra relacionando-as com alguns de seus efeitos metabólicos e fisiológicos no organismo animal.

DEFINIÇÃO DE FIBRA

Fibra é um termo meramente nutricional e sua definição está vinculada ao método analítico empregado na sua determinação (MERTENS, 1992). Por exemplo, fibra bruta (FB), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) ou fibra alimentar total (FAT). Quimicamente a fibra é um agregado de compostos e não uma entidade química

* Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal (VET00036) do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFRGS, pelo aluno MIKAEL NEUMANN, no primeiro semestre de 2002. Professor da disciplina: Félix H. D. González.

distinta, portanto, a composição química da fibra é dependente da sua fonte e da forma como foi medida (MERTENS, 1992). O método para obtenção da fibra deve estar de acordo com os princípios biológicos ou com sua utilidade empírica.

METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DA FIBRA

Para a determinação de rotina, existem limitações sobre a escolha do método a ser usado na determinação da fibra, tais como: acurácia analítica, alta repetibilidade e baixos custos. Embora o método ideal deva ter uma correlação nutricional, não necessita obrigatoriamente ter uma composição química uniforme. De acordo com MERTENS (1992), o objetivo de qualquer esquema rotineiro de análise de alimentos é detectar diferenças nutricionais entre fontes de alimentos para fornecer informações úteis aos nutricionistas de ruminantes e a fibra deveria separar a fração lentamente e não totalmente digerida, daquela rapidamente ou quase totalmente digerida. A seguir são apresentados os principais métodos analíticos para determinação de fibra.

Fibra bruta (FB).

A determinação de Fibra Bruta (FB) envolve o uso de ácidos e bases fortes para isolá-la. A extração ácida remove amidos, açúcares e parte da pectina e hemicelulose dos alimentos. Já a extração básica retira proteínas, pectinas e hemicelulose remanescentes e parte da lignina (MERTENS, 1992). Tipicamente a FB consiste principalmente de celulose com pequenas quantidades de lignina e hemicelulose. A solubilização da lignina, em proporções variáveis, é uma séria limitação do método (VAN SOEST, 1965). A lignina solubilizada torna-se parte dos extrativos não nitrogenados (ENN), o qual deveria 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 as digestibilidades da FB. Desta maneira, a FB vem sendo abandonada na análise laboratorial dos alimentos. Há cerca de 30 anos, os pesquisadores da área de nutrição de ruminantes, passaram a determinar fibra, como FDA ou FDN. Atualmente, são praticamente inexistentes trabalhos de pesquisa usando FB para identificar a fração fibrosa dos alimentos.

Fibra insolúvel em detergente ácido (FDA).

Para evitar a solubilização da lignina que ocorre no método da FB, VAN SOEST (1963) desenvolveu um método que não utiliza álcali para isolar a fibra. O método também pode ser usado como um passo preparatório para a determinação da lignina, nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA), celulose e sílica (VAN SOEST et al., 1991). O método para FDA usa ácido sulfúrico 1N para solubilizar os açúcares, amidos, hemiceluloses e algumas pectinas, e detergente (Brometo de Cetil Trimetil Amônio, CTAB ou Cetremide = $C_{19}H_{42}BrN$) para remover proteínas. A FDA isola principalmente celulose e lignina, com alguma contaminação por pectina, minerais (cinzas) e compostos nitrogenados (principalmente produtos da reação de escurecimento não-enzimático = Reação de Maillard). A FDA embora seja um método rápido e de grande confiabilidade, não é válido para uso nutricional ou para a estimativa da digestibilidade (VAN SOEST et al., 1991).

Fibra insolúvel em detergente neutro (FDN).

O procedimento original foi desenvolvido no início da década de 60, com a clássica referência publicada por GOERING e VAN SOEST (1970). Desde então, várias modificações ao longo do tempo foram realizadas (VAN SOEST et al., 1991) devendo-se, portanto, tomar cuidado ao se fazer comparações de valores. Os reagentes usados para análise de FDN (VAN SOEST e WINE, 1967) não dissolvem as frações indigestíveis ou lentamente digestível dos alimentos, sugerindo que esse método mede com mais acurácia as características nutricionais associadas à fibra. As soluções tampões a base de borato e fosfato são usadas para manter o pH próximo de 7,0 para se evitar a solubilização da hemicelulose e da lignina. O sulfato láurico de sódio (detergente) e o sulfito de sódio são usados para remover as proteínas, o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) para quelatar cálcio, o que auxilia na solubilização das proteínas e pectinas. Embora a pectina faça parte da parede celular da planta, esta é facilmente extraída e também rápida e quase completamente digerida (GAILLARD, 1962). Nos métodos iniciais o éter monoetil etileno glicol era usado para auxiliar na solubilização dos amidos, entretanto, por ser teratogênico, foi substituído pelo trietileno glicol (VAN SOEST et al., 1991). A FDN recupera celulose, hemicelulose e lignina, com alguma contaminação por proteína e pectina (BAILEY e ULYATT, 1970), minerais, amido e proteína (WEISS, 1993). A contaminação com minerais pode variar de 0 a 4% na composição da FDN (WEISS, 1993). Também tem sido recomendado que a FDN seja deter-

minada em base livre de cinzas (VAN SOEST et al., 1991). A contaminação por amido pode ser significativa em alguns alimentos, como grãos por exemplo, superestimando, desta forma, os valores de FDN, mas a utilização de alfa amilase termo-estável e/ou uréia 8M em amostras que contenham quantidades consideráveis de amido reduzem substancialmente essa contaminação e facilitam a filtração (VAN SOEST et al., 1991). A contaminação com proteína parece contrabalançar a perda da pectina imediatamente solúvel fazendo da FDN uma estimativa aceitável da parede celular (MERTENS, 1992), o que não ocorre em alimentos aquecidos, como resíduos de cervejaria e destilaria por exemplo, os quais segundo WEISS et al. (1989) mencionam que esta contaminação pode chegar até a 40%. A adição de sulfito de sódio reduz essa contaminação por proteína, mas não totalmente (DONG e RASCO, 1987), nesse sentido, WEISS et al. (1992) propuseram os métodos de proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA).

A decalina, agente antiespumante, foi removida porque causava um aumento nos valores da FDN (VAN SOEST e ROBERTSON, 1980). O sulfito de sódio também foi retirado da metodologia (VAN SOEST e ROBERTSON, 1980) após HARTLEY (1972) mostrar que este destruía a capacidade de detecção de ácidos fenólicos, sugerindo que o sulfito poderia degradar a lignina.

As dificuldades na filtragem e os altos valores de FDN nas amostras de concentrados e forragens contendo amido (silagem de milho, por exemplo) indicaram que o detergente neutro não o solubiliza totalmente, assim, amilases regulares e termo-estáveis com ou sem sulfito de sódio são usadas em modificações da metodologia para FDN (McQUEEN e NICHOLSON, 1979; ROBERTSON e VAN SOEST, 1981; MASCARENHAS FERREIRA et al., 1983), e mais recentemente, a uréia 8M também foi usada com detergente neutro e amilase para remover amido da FDN (VAN SOEST et al., 1991).

As modificações efetuadas no método, ao longo dos anos, resultaram em diferentes procedimentos de determinação com valores diferentes de FDN, os quais dependem da metodologia empregada e do alimento analisado, são eles: o método original de VAN SOEST e WINE (1967) que emprega decalina (como anti-espumante mas remove a lignina), éter monoetil etileno glicol (teratogênico) e sulfito para remover a contaminação por proteína; o método de ROBERTSON e VAN SOEST (1981) que não usa sulfito, mas amilase para remover o amido; o método de VAN SOEST et al. (1991) que não usaram decalina, trocaram o mono etileno glicol pelo tri etileno glicol, usaram amilase e uréia 8 molar para remover o amido e o sulfito é opcional; o método que usa sulfito e amilase recomendado por UNDERSANDER et al. (1993) e MERTENS (1997); o

método o qual a amostra é incubada por 16 horas à 90°C com redução na concentração de detergente neutro (25%), mais sulfito e amilase utilizado por CHAI e UDÉN (1998) e o método com redução na quantidade de amostra (de 0,5-1,0g para 0,35g) e solução detergente neutro (de 50ml para 35ml), com sulfito, e, uréia 8M + amilase para amostras ricas em amido preconizado por SOUZA et al. (1999).

Portanto, diante dessas várias alterações na metodologia inicial de determinação da FDN, há necessidade urgente de avaliação dessas propostas, com o objetivo de averiguar a influência das modificações nos diferentes tipos de alimentos, especialmente, quanto à correspondência analítica e necessidade de uma padronização na metodologia, a fim facilitar a comparação entre resultados.

Fibra alimentar total (FAT).

O conceito de Fibra Alimentar Total (FAT) surgiu do interesse da fibra na nutrição humana, e têm sido definida como polissacarídeos e lignina-resistentes a ação de enzimas digestivas de mamíferos.

Vários métodos estão disponíveis, entre eles, o de PROSKY et al. (1984 e 1992) adotado pela AOAC desde de 1985, envolve o tratamento das amostras com amilase, protease e amiloglicosidade de forma sucessiva, seguida pela adição de quatro volumes de etanol a 95%, recuperando o precipitado e determinada gravimetricamente. Cinzas e proteína deste resíduo são determinadas separadamente e deduzidos do resíduo para chegar no valor real de FAT (PROSKY et al., 1984). No método de diálise com uréia-enzima desenvolvido por JERACI et al. (1989), a amostra é aquecida com uréia e amilase termo-estável, seguida por protease e após diálise, sofrendo correções para cinzas e proteínas. O método de SOUTHGATE (1969) usa colorimetria, onde o resíduo insolúvel do alimento é gelatinizado sofrendo uma hidrólise ácida, tratado com takadiastase para digerir o amido e os monossacarídeos estimados por colorimetria. O uso das técnicas de cromatografia gás-líquido (CGL) e cromatografia líquida de alto desempenho (CLAD ou HPLC) evita a necessidade de estimações químicas (ANDERSON e BRIDGES (1988). O método de ENGLYST (1989) mede polissacarídeos não amiláceos (PNA), após conversão dos açúcares simples em ácidos urônicos, este processo utiliza o dimetil sulfóxido (DMSO) para dispersão do amido, incluindo amido resistente e uma combinação de enzimas (alfa amilase-pulanase-pancreatina, em pH 5,2), solubilizando praticamente todos os componentes do alimento, exceto FAT. Neste método, a precipitação com etanol a 80% separa a fração de fibra, que é então hidro-

lisada com ácido sulfúrico, os açúcares neutros são determinados por GLC como aldol acetatos e ácidos urônicos por colorimetria. Os valores obtidos por este método não incluem a lignina, a qual deve ser determinada separadamente para se obter o valor real de FAT. No método de THEANDER e WESTERLUND (1986), a amostra é extraída com etanol a 80%, o amido é digerido em tampão acetato a pH 5,0 usando amilase termo-estável, o resíduo insolúvel em etanol a 80% é recuperado e hidrolisado com ácido sulfúrico, os açúcares neutros analisados como aldol acetatos por GLC e ácidos urônicos por colorimetria. A lignina Klason é medida separadamente por gravimetria e o valor é somado, para chegar no conteúdo de FAT. ANDERSON e BRIDGES (1988), basearam seu método na análise GLC, onde o amido é dispersado com DMSO e digerido com amilase suína, em pH 5,2. Após a precipitação com 4 volumes de etanol, o resíduo é extraído com água à 100°C para a fibra solúvel e o material não extraído usado para a fibra insolúvel após hidrólise ácida. A lignina (também chamada de lignina Klason) é medida separadamente e somada para chegar a FAT. Alguns problemas que podem ocorrer no emprego desses métodos para se obter valores fidedignos, são: retirada da gordura das amostras, precipitação alcóolica, conteúdo de proteína nas amostras, altos teores de ácidos urônicos em vegetais, atividade e pureza das preparações de enzimas usadas e filtração (MANA e SAURAS-CALIXTO, 1993). A determinação de fibra, usando qualquer dos métodos acima, fornece valores comparáveis de FAT para muitos alimentos e alimentos processados. A AOAC adotou o procedimento enzimico-gravimétrico baseado no método de PROSKY (1984) e através de uma série de estudos colaborativos (multi-institucional), confirmou este método como aceitável para determinação da FAT dos alimentos (AOAC, 1990). A FAT é provavelmente o melhor método de determinação, se o interesse for estimar os componentes estruturais totais (celulose, hemicelulose, lignina e pectina), porém não tem sido usada na nutrição de ruminantes. Os métodos são bem mais onerosos, alguns sofisticados, e demandam mais tempo, quando comparados com outros métodos disponíveis. A difusão destes métodos, na nutrição de ruminantes, é pouco provável, até que eles demonstrem uma melhora na formulação das dietas e na estimativa do desempenho dos animais (JUNG, 1997).

COMPONENTES DA FIBRA

Como já foi mencionado anteriormente, a fibra depende do método de obtenção, mas normalmente constitui-se da parede celular, neste caso, temos os seguintes polímeros que compõem a parede celular, e por consequência, a fibra:

Celulose.

A celulose é o polissacarídeo mais abundante da natureza e o principal constituinte da maioria das paredes celulares, exceto de algumas sementes (McDOUGALL et al., 1993), seu teor varia de 20 a 40% na base seca de plantas superiores (VAN SOEST, 1994), mas quando comparadas diferentes partes da planta ou subproduto vegetal esta variação torna-se mais ampla. GIGER-REVERDIN (1995) encontrou variações nos teores de celulose em sementes de oleaginosas, sementes de leguminosas e em forragens na ordem de 40 a 50%, 3 a 15% e 10 a 30%, respectivamente. Já, na maioria dos grãos de cereais o teor é menor (1 a 5%), podendo chegar a até 10% em aveia. A celulose é formada por resíduos de D-glicopiranosos unidos por ligações β -1,4 que formam longas cadeias lineares com alto grau de polimerização (8.000 a 15.000 unidades) e elevado peso molecular (GIGER-REVERDIN, 1995). Estas cadeias podem se unir através de pontes de hidrogênio formando as microfibrilas de celulose (30 a 100 cadeias de diâmetro), sendo que o grau de cristalinidade destas fibrilas ou a presença de outros polímeros associados à matriz celulósica são de especial importância na avaliação de forragens, pois esta interação pode influenciar a suscetibilidade da molécula de celulose à hidrólise enzimática microbiana (VAN SOEST, 1994).

Hemicelulose.

A hemicelulose é uma coleção heterogênea de polissacarídeos amorfos com grau de polimerização muito inferior ao da celulose (50 a 250) (VAN SOEST, 1994). Em células maduras, as hemiceluloses encontram-se mais associadas à lignina por ligações covalentes do que a outros polissacarídeos, tornando-se indisponíveis à solubilização. Apresenta ampla variação entre os tipos de hemicelulose e as espécies vegetais, sendo 10 a 25% da matéria seca das forragens, de farelos, de polpas cítricas e de beterraba, e entre 2 a 12% de grãos de cereais (GIGER-REVERDIN, 1995). As hemiceluloses são divididas em quatro grupos subgrupos: as xilanas, as β -glicanas, as xiloglicanas e as mananas; apresentando diversidade estrutural e sendo nomeadas de acordo com o monossacarídeo predominante (GOODWIN e MERCER, 1988).

Lignina.

As ligninas são polímeros complexos de estrutura não totalmente conhecida. De modo geral, são conceituados como polímeros condensados formados a partir da redução enzimática dos ácidos *p*-cumárico, ferúlico e sinápico em seus respectivos alcoóis cumarílico, coniferílico e sinapílico, que irão condensar-se por processo oxidativo formando macromoléculas reticuladas, as ligninas (GRENET e BESLE, 1991). Sua composição, estrutura e quantidade variam de acordo com o tecido, os órgãos, a origem botânica, a idade da planta e os fatores ambientais (AKIN, 1989). As ligninas presentes em leguminosas, geralmente, são mais condensadas e se encontram em maior quantidade, para um mesmo estágio de maturidade, do que às encontradas em gramíneas (GRENET e BESLE, 1991).

Proteína.

Existem três grandes grupos de proteínas que fazem parte da parede celular: as extensinas com função estrutural, as proteínas ricas em glicina (GRPs) associadas à lignificação e as proteínas ricas em prolina (PRPs) que atuam na formação dos nódulos radiculares em leguminosas. Há também outros grupos menos expressivos mas que exercem funções essenciais ao desenvolvimento celular. Parte dessas proteínas são solubilizadas na determinação da fibra, outra porção, permanece como constituinte da mesma, sendo corrigida com a determinação do nitrogênio na parede celular, no entanto, alguns autores mencionam que esta proteína não deve ser corrigida, pois encontra-se indisponível à digestão e absorção pelo trato gastrointestinal do animal.

Compostos minoritários.

Outros compostos como a sílica, as cutinas e os taninos, estão presentes na parede celular, associados ou não a polissacarídios estruturais e/ou lignina. Embora presentes em pequenas quantidades, estes compostos influenciam nas características físico-químicas de parede e podem ter efeitos significativos nos processos de digestão e absorção dos componentes da parede e do conteúdo celular (VAN SOEST, 1994).

A sílica (SiO_2) é um elemento estrutural, complementa a lignina e, desta maneira, auxilia no aumento da resistência e da rigidez da parede (VAN SOEST, 1994). Os níveis de sílica são influenciados pela espécie vegetal, o tipo de solo, a disponibilidade de silício e a transpiração. Em

contrapartida, reduzem a digestibilidade da parede celular e aumentam a formação de sucrose, a qual provoca deficiência de micronutrientes (VAN SOEST, 1994).

A cutina é uma substância de natureza lipídica que se deposita nas células epidérmicas com a função de proteger os tecidos vegetais. É dividida em duas frações: (I) a cera cuticular, de baixo peso molecular, formada por alcanos, alcoois, cetonas e ésteres de cadeia longa; (II) a fração polimerizada, formada de compostos poliesteres associados com a lignina (VAN SOEST, 1994). A proporção varia entre espécies e os órgãos das plantas. A superfície cuticular das folhas é o tecido menos digestível entre os não lignificados, pois a camada de cutina funciona como uma barreira para a digestão dos componentes da parede celular pelos microorganismos ruminais.

Os taninos, assim como as cutinas, exercem papel de proteção e defesa da planta. São polímeros fenólicos que podem formar complexos estáveis com proteínas e outras macromoléculas, tornando-se indigestíveis. Os taninos dividem-se em hidrolizáveis e condensados (FERREIRA, 1994), provocam estado de adstringência no epitélio bucal, diminuem a lubrificação, e conseqüentemente a ingestão voluntária (FENNEMA, 1993), diminuem a permeabilidade da parede intestinal e inibem a proliferação de microorganismos digestivos. Os taninos hidrolizáveis provocam menor efeito deletério sobre a digestão de proteínas que os condensados, uma vez que podem ser hidrolisados pela acidez gástrica, liberando a cadeia peptídica (FERREIRA, 1994).

As diferenças nas proporções e nas configurações intermoleculares dos componentes da fibra fazem com que nenhuma das fibras (FB, FDA, FDN ou FAT) tenha propriedades nutricionais constantes. Um dos componentes da fibra que se relaciona consistentemente com a digestibilidade da fibra é a lignina. Então, as análises de lignina oferecem uma oportunidade para se melhorar a descrição e as características nutricionais da fibra. A maioria, ou talvez todos os métodos atuais para medir lignina são avaliações grosseiras da lignina verdadeira do cerne. A lignina é determinada como um resíduo insolúvel em ácido sulfúrico a 72%, algumas vezes denominada “Lignina Klason” (VAN SOEST, 1963) ou como um material solubilizado por permanganato (VAN SOEST e WINE, 1968), trietileno glicol (EDWARDS, 1973), acetil brometo (MORRISON, 1972) ou peróxido alcalino (COCHRAN et al., 1987). Embora correlacionadas dentro do mesmo tipo de alimento, os valores de lignina variam muito entre os métodos e deve-se tomar cuidado ao se fazer comparações de resultados.

EFEITOS DA FIBRA ALIMENTAR NA NUTRIÇÃO DE NÃO-RUMINANTES

De acordo com GUILLON e CHAMP (2000), o principal problema quando se trata de fibra da dieta é que este termo refere-se a uma grande quantidade de substâncias, incluindo purificadas, as semi-purificadas ou aquelas derivadas da parede celular das plantas. Estas substâncias têm em comum apenas o escape da digestão por enzimas endógenas e a possibilidade de serem fermentadas pela microbiota presente no trato gastrointestinal (TGI) de mamíferos e aves, mas podem exibir propriedades muito diferenciadas de acordo com suas fontes, processamento, solubilidade e transformações durante a sua passagem pelo trato digestivo (MONRO, 2000). A fibra da dieta exerce vários efeitos metabólicos e fisiológicos no organismo animal, sendo diferenciados conforme as frações que a constituem, solúvel ou insolúvel. Esses efeitos podem ser decorrentes de alterações em funções fisiológicas, como a taxa de excreção endógena e a passagem do alimento pelo trato gastrointestinal (REFSTIE et al., 1999); alterações no bolo alimentar e digesta, tais como a capacidade de hidratação, o volume, o pH e a fermentabilidade (VAN SOEST, 1994; ANNISON e CHOCT, 1994); ou ainda, por alterações nas populações e na atividade da microbiota intestinal (WENK, 2001).

De acordo com WARNER (1981) o aumento nos teores de fibra insolúvel na dieta pode provocar diminuição no tempo de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, podendo ser decorrente da estimulação física da fibra insolúvel sobre as paredes do trato gastrointestinal (TGI), que tende a aumentar a motilidade e a taxa de passagem. O aumento dos teores desta fração provoca também diluição da energia da dieta, levando a um aumento compensatório no consumo para que atinja os níveis energéticos exigidos para o crescimento, desenvolvimento e produção (WARPECHOWSKI, 1996).

A matriz insolúvel da parede celular mantém sua integridade durante a passagem da digesta pelo intestino delgado por ser resistente à ação dos microorganismos presentes neste segmento, mantendo, desta forma, a capacidade de hidratação e podendo atuar como barreira física capaz de limitar o acesso das enzimas digestivas ao conteúdo interno das células (amido, açúcares, proteína, entre outros), diminuindo a digestão e absorção dos nutrientes (VANDEROOF, 1998).

O aumento da fibra insolúvel na dieta, aumenta linearmente a excreção endógena de nitrogênio e a massa bacteriana na excreta, deduzindo-se que o consumo de fibra insolúvel pode causar aumento na quantidade de substratos endógenos e exógenos, disponíveis à fermentação bacteriana na região cecocólica. Nesta região, as populações bacterianas são mais diversificadas

e exercem maior atividade do que as presentes no restante do trato digestivo dos não ruminantes (LARBIER e LECLERQ, 1992). Por este motivo, são capazes de degradar a maioria dos componentes que formam a matriz insolúvel da parede celular, com taxa de degradação variável e dependente da composição química e características físico-químicas da fibra, além das particularidades da microflora intestinal do animal (VAN SOEST, 1994). A fibra proveniente de células que possuem apenas parede primária é mais suscetível à fermentação do que aquela proveniente de células que apresentam parede secundária e/ou lignificadas, as quais possuem pequenos espaços intracelulares que limitam, além da hidratação, a ação das enzimas bacterianas sobre o substrato (GRENET e BESLE, 1991).

HILLMAN et al. (1983) observaram que o aumento nos teores de celulose em dietas consumidas por humanos diminuiu o tempo de retenção da digesta e o pH fecal, enquanto a adição de pectina ou de lignina, independente da sua solubilidade, não causou alteração nas medidas, resultados esses, segundo os autores promovidos pela alteração da flora bacteriana pelo maior consumo de celulose. Segundo GUILLON e CHAMP (2000) o trânsito mais acelerado está associado a diminuição do pH, aumentando a quantidade de substratos que chega ao cólon, bem como, provoca um aumento no volume fecal. Os ácidos graxos voláteis, produzidos a partir da fermentação dos microrganismos do TGI, podem ser absorvidos e utilizados metabolicamente pela mucosa intestinal como fonte de energia (FERREIRA, 1994), bem como, influenciar a absorção e a deposição de gordura (ZHAO et al., 1995), o metabolismo do colesterol (KRITCHEVSKY, 1997) e a proliferação das células epiteliais (SAKATA, 1987). Desta forma, pode-se deduzir que a intensidade de degradação da fibra insolúvel e os respectivos compostos resultantes (AGV, massa bacteriana, entre outros).

O teor de fibra solúvel na dieta está associado, em alguns trabalhos, com uma maior viscosidade (BEDFORD e CLASSEN, 1992), o que contribui para um trânsito mais lento da digesta no TGI (FERREIRA, 1994) e com efeitos negativos sobre o desempenho animal (ANNISON, 1993). Esse aumento da viscosidade dificulta a ação de enzimas e sais biliares no bolo alimentar, reduzindo a digestão e absorção dos nutrientes. A fibra solúvel também pode interagir com as células do epitélio intestinal, alterando o sistema hormonal e aumentando a secreção de proteínas endógenas, também sobre os sais biliares e as enzimas digestivas, causando aumento na excreção de produtos de origem endógena (REFSTIE et al., 1999; GUILLON e CHAMP, 2000). No entanto, a relação entre a fibra solúvel com o aproveitamento de nutrientes, excreção endógena e

com o desempenho animal, está mais relacionada à origem e às características físico-químicas desta fração, do que da variação nos seus respectivos teores (JORGENSEN et al., 1996).

A fibra solúvel, geralmente, apresenta-se mais ramificada e com grande quantidade de grupos hidrofílicos na sua estrutura (ANNISON e CHOCT, 1994), o que lhes confere maior capacidade de hidratação que a fração insolúvel da fibra (STEPHEN e CUMMINGS, 1979). Associado ao aumento na produção de massa bacteriana, o maior teor de fibra solúvel na dieta também aumenta a produção de AGV, as quais, podem ser absorvidos e utilizados metabolicamente para a energia de manutenção ou influenciar outros processos metabólicos e fisiológicos que se refletirão sobre o desempenho animal ou sobre a saúde (ZHAO et al., 1995; GUILLON e CHAMP, 2000).

EFEITOS DA FIBRA NA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

O papel da fibra na manutenção das condições ótimas do rúmen é aceita pela maioria dos cientistas e nutricionistas. A fibra da dieta afeta profundamente as proporções dos ácidos graxos voláteis (AGV) no rúmen e estimula a mastigação (WELCH e SMITH, 1970; SUDWEEKS et al., 1981; BEAUCHEMIN e BUCHANAN-SMITH, 1989). Tanto a concentração de FDN da dieta como o tamanho das partículas, são importantes para tal estímulo. O método preferido para descrever os requerimentos mínimos de fibra é em termos de Valor Volumoso (VV), determinado como sendo função da FDN e do tamanho das partículas (MERTENS, 1986; 1992). A maioria dos nutricionistas reconhece que um VV mínimo é necessário para manter as funções ruminais, produção de gordura do leite e saúde do animal.

Produção de ácidos graxos voláteis (AGV).

A proporção de AGV é grandemente influenciada pela dieta e o estado da população metanogênica no rúmen (ISHLER et al., 1998). Apesar dos grandes balanços na população microbiana e diferenças no consumo alimentar, as proporções ruminais de AGV são bastante estáveis entre dietas com variáveis proporções de concentrações de forragem (fibra) e concentrado, porém, as proporções ruminais de AGV são amplamente dependentes de pH. Conforme nos mostra a Tabela 1, quando a fibra (forragem) diminui a relação com concentrado, a proporção acetato:propionato também diminui. À medida que os níveis de celulose e hemicelulose aumentam em relação aos níveis de carboidratos solúveis e amido, a relação acetato:propionato também tende a

aumentar. Porém, a produção de AGV de um determinado substrato como a celulose ou o amido varia com a composição da dieta (Tabela 2). Embora a celulose e a hemicelulose sejam digeridas simultaneamente em forragens, os produtos finais produzidos podem variar, dependendo da dieta.

A grande maioria dos AGVs é passivamente absorvida pela parede do rúmen, sendo que, esta absorção contínua é muito importante para manter um pH ruminal estável, pois a remoção de produtos ácidos é importante para o crescimento contínuo de organismos celulotíticos. A taxa de absorção dos AGVs é influenciada pelo tamanho da cadeia de ácidos individuais e pH ruminal (ISHLER et al, 1998).

Tabela 1. Proporção molar de AGVs em razão da relação volumoso e concentrado.

Relação volumoso:concentrado	Relação molar (%)		
	Acetato	Propionato	Butirato
100:0	71,4	16,0	7,9
75:25	68,2	18,1	8,0
50:50	65,3	18,4	10,4
40:60	59,8	25,9	10,2
20:80	53,6	30,6	10,7

Fonte: PHILIPSON (1970).

Tabela 2. Estimativa das características da fermentação ruminal.

Constituinte	Dieta ¹	Proporção dos constituintes		
		Acetato	Propionato	Butirato
Carboidratos solúveis	F	0,69	0,20	0,10
	C	0,45	0,21	0,30
Amido	F	0,59	0,14	0,20
	C	0,40	0,30	0,20
Hemicelulose	F	0,57	0,18	0,21
	C	0,56	0,26	0,11
Celulose	F	0,66	0,09	0,23
	C	0,79	0,06	0,06

Fonte: MURPHY et al. (1982); ¹ F = dieta a base de forragem; C = dieta contendo mais que 50% de concentrado na forma de cereais.

O tamanho da partícula é importante, especialmente para utilização da forragem e manutenção de uma boa cobertura, essencial para assegurar o crescimento adequado e a atividade dos

microorganismos, o que resulta em um aumento dos AGVs, especialmente acetato, e produção da proteína microbiana (ISHLER, 1998). A Tabela 3 ilustra a influência que o tamanho da partícula pode ter sob a função do rúmen e os parâmetros de produção.

Com a redução no tamanho de partícula da forragem aumenta o consumo de matéria seca, reduz a digestibilidade, e resulta em um tempo menor de retenção de sólidos. As rações que têm menor tamanho de partícula de forragem inicial, entrarão no rúmen com um tamanho ainda menor depois da mastigação e deglutição inicial, e então saem do rúmen com uma taxa mais rápida. O resultado é um aumento na taxa de remoção do rúmen que permite um aumento no consumo de matéria seca, mas devido à taxa de passagem ser mais rápida, menos tempo está disponível para os microorganismos digerirem os alimentos.

Tabela 3. Ingestão, ruminação, pH do rúmen, ácidos graxos livres (AGVs), produção de leite e composição influenciada pelo tamanho de partícula.

Item	Partícula da ração		
	Fina	Média	Grossa
Ingestão, min/24 hs	196,5	204,4	204,7
Ruminação, min/24 hs	374,4	466,3	530,7
Mastigação, min/24 hs	569,7	670,7	735,4
pH	5,5	5,9	6,0
AGVs (% molar)			
Acético	58,33	61,24	61,82
Propiônio	22,34	20,76	19,46
Produção, kg/dia	31,5	32,0	31,0
Produção 4%, kg/dia	27,5	30,2	29,5
Gordura leite, %	3,0	3,6	3,8
Proteína leite, %	3,0	3,0	3,1

Fonte: GRANT et al. (1990).

Além do tamanho da partícula da forragem, o conteúdo da fibra da dieta é necessária para fornecer quantidades adequadas de carboidratos complexos, para reduzir a digestibilidade e controlar a acidez no rúmen. A FDN e FDA são as mais empregadas para a formulação de rações para ruminantes, sendo que, o nível de FDN e o tamanho de partícula da forragem desempenham um papel importante na determinação da fibra efetiva na dieta.

Efetividade e fibrosidade.

Efetividade é a capacidade em promover a atividade física motora do TGI, pois seletivamente as vacas retêm fibra no rúmen por um tempo adequado de digestão, ingerindo partículas grande enquanto comem. Estas partículas grandes formam um material flutuante no rúmen e provêem o “incentivo” de arranhão que estimula a atividade de ruminação. Depois de vários ciclos de ruminação ou de mastigação, as partículas fibrosas são reduzidas a um tamanho tal que pode escapar do rúmen. Entretanto, quando vacas são alimentadas com rações contendo um mínimo de fibra, pode haver pouca fibra efetiva para promover ótima fermentação ruminal e produção. A fibra efetiva (Fe) tem sido definida como a capacidade da fonte de fibra da dieta em estimular a mastigação (SUDWEEKS et al., 1981; MERTENS, 1986; 1992), a capacidade em manter normal a percentagem de gordura e a produção de leite, ou ambos (VAUGHAN et al. 1991; CLARK e ARMENTANO, 1993). porém geralmente, fibra efetiva refere-se a capacidade da dieta em manter a produção de gordura do leite e a saúde geral, do rúmen e do animal.

Da mesma maneira em que se desenvolveu o conceito de fibra efetiva, determinou-se que as propriedades físicas dos alimentos afetam a digestibilidade, a taxa de passagem e a função ruminal. Balch (1971) citado por MERTENS (2001), propôs que atividade de mastigação por unidade de matéria seca (MS) poderia ser uma medida biológica das propriedades físicas de um alimento, o que ele chamou de característica de fibrosidade. SUDWEEKS et al (1981) unificaram o procedimento medindo a atividade de mastigação e definindo um índice de Valor de Forragem (IVF) para uma variedade de alimentos (minutos de mastigação total por quilograma de MS). Além disso, eles propuseram que um mínimo de IVF de 30 minutos de mastigação/kg de MS era necessário em rações de vacas leiteiras para manter a porcentagem de gordura do leite. O índice de fibrosidade, segundo os mesmos autores, é altamente correlacionado com a concentração de fibra bruta nos alimentos e com o nível de ingestão de matéria seca. Deve-se considerar que atividade mastigatória (soma do tempo de mastigação e ruminação) é afetada pela raça, pelo tamanho corporal, a idade, a ingestão de matéria seca, a concentração de fibra e o tamanho de partícula do alimento e possivelmente pelo método de medir a atividade mastigatória (MERTENS, 2001).

FDN efetiva (FDNe).

Segundo MERTENS (2001) a efetividade da fibra na manutenção da porcentagem de gordura do leite é diferente da efetividade da fibra em estimular a atividade de mastigação. Dos métodos de determinação de fibra a FDN é a melhor medida do conteúdo de fibra total de um alimento, servindo como base para determinar fibra efetiva. MERTENS (1997) usou a atividade mastigatória para desenvolver os fatores de efetividade física que são necessários para calcular FDN fisicamente efetiva (FDNfe) do FDN e compilando os dados de atividade de mastigação de 45 experimentos publicados. MERTENS et al. (1994) concluiu que duas variáveis (ingestão de FDN e forma física) eram as maiores características dos alimentos que afetam a atividade mastigatória. A FDN efetiva (FDNe) está relacionada à habilidade total de um alimento em substituir a forragem de forma que a porcentagem de gordura do leite seja mantida. Quando os animais são alimentados com carboidratos estruturais (CE), a FDN pode ser caracterizada como fisicamente efetiva (FDNfe), a qual estimula a mastigação e auxilia no tamponamento do rúmen, ou FDN prontamente digestível por microrganismos do rúmen, que resulta na produção de ácidos resultantes da fermentação ruminal. Portanto a FDN digestível também pode contribuir com a produção de ácidos (NOCEK, 1997). O equilíbrio entre taxa e extensão da degradação de CE e CNE por microrganismos do rúmen, é necessário na formulação das dietas. Muitas vezes, quantidades excessivas de CHO disponíveis no rúmen, têm sido responsável pelo aumento na produção de ácidos, dominando a capacidade tamponante do bicarbonato. A falta de fibra efetiva, pode influenciar significativamente a motilidade ruminal, produção de saliva e o pH ruminal (VARGA, 1997). ALLEN (1997) descreveu a produção de ácidos com respeito às necessidades de FDNfe. A resposta animal neste caso foi o tempo total de mastigação (TTM) e a melhor forma de expressão de um índice de valor da forragem parece estar no tempo de mastigação/unidade de MS. A relação existente entre a produção de ácidos pela fermentação ruminal versus secreções de agentes tamponantes pela saliva, que determinam o pH ruminal. A atividade mastigatória ou o tempo total despendido pela mastigação determina diretamente a secreção de saliva e dos agentes tamponantes, se a produção de ácidos exceder a capacidade tamponante salivar, resulta em acidificação do rúmen. Para vacas no início da lactação, o pH é uma resposta mais significativa para a determinação das necessidades de fibra do que outros fatores. Com a diminuição do pH, são afetados em seqüência, consumo, motilidade ruminal, rendimento microbiano e a digestão da fibra. Um dos fatores mais importantes que afeta a produção de ácidos na fermentação ruminal é a MODR (Matéria Orgânica Degradável no Rúmen), que pode ser o fator

isolado mais importante entre as dietas, no pH ruminal. ALLEN (1997) utilizou modelo de regressão para um grande número de dados a fim de definir o pH ruminal. As variáveis empregadas no modelo foram; FDN, MO, FDN de forragem e tamanho da partícula.

Tabela 4. Quantidades estimadas da remoção total de hidrogênio do rúmen/dia e a proporção (%) removida por várias rotas com uma produção total de AGV de 74.000 meq/d.*

Rota de remoção	Quantidade removida (meq/d)	% do total produzido/dia
AGV absorvidos	39.168	52,9
Incorporado na H ₂ O (via ácido carbônico)	> 20.752	28,0
Fluxo do rúmen		
H ₂ PO ₄	6.599	8,9
AGV	2.316	3,1
NH ₄	1.537	2,1
Material particulado	1.000	1,4
H + livre	<1	---
Total	71.372	96,4

Fonte: ALLEN (1997).

* Supondo: pH = 6,0, "pool" ruminal líquido = 80l, taxa de passagem líquida = 0,15/h, "pool" ruminal particulado = 13kg, taxa de passagem fracional-particulado = 0,035/h, fluxo de saliva= 270l, HCO₃ da saliva= 126 meq/l, HPO₄ = 26 meq/l, conc. amônia ruminal = 8 mg/dl, conc. AGV ruminal=120mmol/l, taxa fracional de absorção de AGV = 0,17/h (calculado através da taxa total de desaparecimento menos a taxa de passagem líquida; taxa total de desaparecimento calculada através da taxa de produção por hora dividida pelo pool ruminal de AGV), e tamponamento da digesta = 100meq/kg a pH 6,0.

Os alimentos apresentaram variações na capacidade tamponante, na seguinte ordem: grãos de cereais (baixa), forragens de gramíneas de baixa proteína (intermediária), leguminosas de alta proteína (alta). A ação tamponante direta da dieta foi muito pequena, quando comparada com a saliva. A maior remoção de íons hidrogênio do rúmen deveu-se a absorção de AGV (mais de 50%). A Tabela 4, fornece a remoção total de hidrogênio do rúmen.

De acordo com MERTENS (2001) (Tabela 5) uma redução no nível de fibra efetiva na dieta, resulta numa série de eventos que ocorrem em cascata: menor mastigação pelo animal, menor secreção de saliva "tamponante", maior produção de ácidos graxos voláteis, decréscimo no pH ruminal, mudança nas populações microbianas, redução na relação acetato:propionato (A:P), depressão da gordura do leite e "desvio" de nutrientes para engorda.

Tabela 5. Efeitos típicos da variação nas proporções de fibra e forragem em rações, nas respostas fisiológicas de vacas leiteiras.

Item	% de feno longo de gramíneas na dieta					
	100	80	60	40	20	0
% de FDN	70	59	48	36	25	14
% de FDN fisicamente efetiva	70	57	44	32	18	6
Tempo de mastigação (min/d)	1080	1040	970	820	520	320
Secreção de saliva (L/d)	200	196	189	174	143	123
Bicarbonato salivar (kg/d)	2,5	2,4	2,3	2,2	1,8	1,5
pH ruminal	6,8	6,7	6,5	6,2	5,8	5,0
AGV ruminal (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: MERTENS (2001).

FDN fisicamente efetiva (FDNfe).

A FDN fisicamente efetiva (FDNfe) é relacionada às propriedades físicas da fibra (principalmente tamanho da partícula) que estimula a atividade mastigatória e estabelece a estratificação bifásica do conteúdo ruminal (flutuam no material partículas grandes em um conteúdo líquido e partículas pequenas), enquanto que a FDN efetiva (FDNe) está relacionada com a soma total da capacidade de um alimento em substituir forragem na dieta, de maneira que, a percentagem de gordura do leite, seja efetivamente mantida (MERTENS, 1997). O tempo total de mastigação, por kg de FDN consumida no início da lactação, diminui cerca de 21%, quando o tamanho da partícula de silagem de alfafa, diminui de 3,1 para 2,0 mm (GRANT et al.,1990). SHAVER et al. (1988) constatou diminuição de 66% no tempo total de mastigação por kg de FDN de alfafa peletada (1 mm) comparada com cortada (7,8 mm), mas não observou diferenças entre partículas longas e cortadas de feno de alfafa. ALLEN (1997), utilizando dados da literatura de 10 experimentos com vacas leiteiras, avaliou a relação entre comprimento da partícula de forragem e tempo total de mastigação (minutos/dia). O comprimento da partícula foi dividido em 3 categorias; menores que 0,3 cm, maiores ou iguais a 0,3 cm e feno de alfafa longo. O tamanho da partícula teve um grande efeito no tempo total de mastigação de acordo com a percentagem de FDN da forragem. O tempo total de mastigação foi 160 min. maior para a forragem cortada, com tamanho igual ou maior que 0,3 cm, e 317 min. maior para o feno longo, comparados com a

forragem finamente picada, estes dados, mostram claramente um ponto, aproximadamente em 0,3 cm, a partir do qual o tamanho da partícula, não afetou o tempo total de mastigação. ALLEN (1997) desenvolveu quatro equações para estimar; a produção de ácidos através da fermentação em miliequivalentes/dia, o fluxo de saliva tamponante no rúmen, tempo total de mastigação, e o tempo de ruminação. Os resultados (Tabela 6) mostram que quando a matéria orgânica degradável no rúmen (MODR) foi aumentada de 50% (dieta A) para 60% (dieta B), a produção de ácidos aumentou em 20% (74,519 para 89,423 meq/dia). Quando a forragem finamente cortada (dieta C) substituiu a forragem grosseiramente cortada (dieta A), o fluxo de saliva diminuiu em quase 5% (40,888 para 38,912 meq/dia). Uma observação interessante, é de que um aumento de FDN de forragem na dieta A (20%) para 24% da MS na dieta D, aumentou o fluxo de saliva em menos de 1%. Isto sugere que a MODR parece ter um efeito muito maior na produção de ácidos que a variação no comprimento da partícula ou do que a percentagem de FDN de forragem. Estes dados sugerem que a FDN de forragem tem outros efeitos no pH ruminal, além da sua relação através do tempo total de mastigação (ALLEN, 1997). Provavelmente, esses efeitos sejam decorrentes, pelo menos em parte, pela variação na capacidade tamponante intrínseca dos alimentos empregados. VAN SOEST et al. (1991) observaram consideráveis diferenças na capacidade tamponante entre alimentos.

Tabela 6. Estimativa da produção de ácidos e do fluxo tamponante salivar de 4 diferentes dietas

Item	Dietas			
	A	B	C	D
MODR (%)	50	60	50	50
Partícula (cm)	> 0,3	> 0,3	< 0,3	> 0,3
FDNF (% na MS)	20	20	20	24
Mastigação (min./d)	622	622	462	659
Fluxo salivar tampão (meq./d)	40.888	40.888	38.912	41.192
Ácidos (meq./d)	74.519	89.423	74.419	74.519

Fonte: ALLEN (1997).

CMS = 22 kg/d, FDN = 30% da MS, MO = 91% da MS

MODR = Matéria Orgânica Digestível Ruminal

FDNF= Fibra em Detergente Neutro de Forragem

DIGESTIBILIDADE DA FIBRA

A digestibilidade da fibra tem sido definida como a proporção da fibra ingerida que não é excretada nas fezes. A fibra por sua vez tem uma fração indigestível e outra potencialmente digestível. O processo de digestão da fibra consiste na hidrólise dos polissacarídeos e a conversão dos monossacarídeos resultantes em ácidos graxos voláteis (AGV), gases da fermentação e calor (TAMMINGA et al., 1990). A taxa de hidrólise geralmente é o fator limitante na digestão ruminal da fibra (VARGA et al., 1998). Esta taxa é limitada pela ação das enzimas no complexo lignina-polissacarídeos, que degradam a parede celular (CHESSON e FORSBERG, 1988). A extensão da digestão da fibra depende da quantidade indigestível e da relação entre a taxa de degradação e a taxa de passagem. A digestibilidade ruminal da fibra de forragens e de outras fontes de alimentos, variam de forma muito ampla, de 13,5 a 78% (VARGA et al., 1998).

A digestibilidade da fibra de forragens não é constante para todos animais ou para todas as condições de alimentação, mas a principal fonte de variação decorre das diferenças na sua estrutura, composição química e estágio de maturidade.

A fração indigestível da FDN é a que mais afeta a utilização da fibra, podendo ser exceder a metade da FDN total no rúmen. HUHTANEN e KHALILI (1991) mostraram uma relação negativa entre a digestibilidade *in vivo* da FDN e a quantidade de FDN total no rúmen. Como a digestibilidade da FDN no rúmen aumenta com o passar do tempo, a quantidade de FDN total e de FDN digestível diminui numa taxa similar, mas a fração de FDN indigestível diminui mais lentamente. Então, os fatores da dieta que afetam o ambiente ruminal diminuindo a degradação da FDN, aumenta a quantidade (*pool*) de FDN, especialmente da fração digestível. A diminuição na digestibilidade da fibra pode reduzir o consumo de fibra quando o enchimento ruminal é o fator limitante, tal como ocorre no início da lactação.

Dentro de um tipo de forragem existe uma boa relação entre conteúdo de fibra e a fração indigestível da fibra, mas entre forragens ocorrem grandes diferenças (TAMMINGA et al, 1990). Embora existam informações sobre a fração indigestível da fibra, de algumas foragens, faltam informações sobre fontes de fibra não forragens, assim como, sobre a fração potencialmente digestível que é digerida.

Muitos fatores da dieta, tais como; FDN indigestível, interação com o limite do consumo e taxa de fermentação de carboidratos rapidamente fermentáveis, são importantes. A taxa na qual a FDN potencialmente disponível é fermentada é outro fator importante que afeta a utilização da fibra (VARGA et al., 1998). Embora as forragens sejam geralmente mais altas em fibra que as

fontes de fibra não forragens, algumas podem ser digeridas a uma taxa maior que alguns subprodutos. Nesses casos há vantagem em substituir as fontes de forragem de alta qualidade (por exemplo: pré-secado de alfafa por *haylage*) para reduzir a taxa de fermentação ruminal. A taxa de passagem do material particulado é afetada primeiramente pelo consumo, embora o tamanho da partícula, a fibra na dieta, os carboidratos não estruturais (CNE) e a taxa de digestão da fibra potencialmente digestível também afetem a taxa de passagem. A interferência dos CNE na digestão da fibra tem sido observada frequentemente. Os principais efeitos são a redução no pH ruminal (TAMMINGA et al., 1990) e um efeito negativo na digestão da fibra, que pode ser decorrente da preferência dos microrganismos por CNE através da sobreposição das bactérias amilolíticas em relação àquelas que digerem a fibra, na competição pelos mesmos substratos ou pelas enzimas que degradam a fibra, que podem ser inibidas pelos CNE ou pelos produtos de sua digestão (HOOVER, 1986).

A ordem ou sequência com que os alimentos são fornecidos, pode ter um efeito significativo na estabilidade do pH ruminal. NOCEK (1991) demonstrou que alimentando com os mesmos ingredientes e forragens sob diferentes sequências pode influenciar no tempo em que o pH permanece abaixo do mínimo crítico. Longos períodos de pH baixo têm um efeito prejudicial na saúde ruminal e no CMS que períodos curtos, porém mais pesquisas são necessárias para explorar completamente este tópico. O efeito do amido varia de acordo com a fonte de alimento empregado. A substituição do milho por cevada mostrou um efeito negativo na digestibilidade da fibra (HERRERA-SALDANA et al., 1990; McCARTHY et al., 1989).

Para aumentar o consumo de dietas altas em fibra podem-se manipular as dietas através de 3 mecanismos: aumentando a taxa de digestão microbiana, aumentando a taxa de passagem e aumentando a taxa de retenção. Bosh (1991) citado por VARGA et al. (1998), mostrou que a desocupação do rúmen (combinação da taxa de degradação e de passagem) e a variação na capacidade de retenção não são dependentes. Os principais fatores responsáveis pela variação foram a produção de leite, % de FDN de forragem, nível de concentrado na dieta e o peso vivo. As variações na capacidade máxima de enchimento parecem ser responsáveis por 2/3 da variação na capacidade do rúmen (enchimento x taxa de liberação) ou CMS.

A produção de leite parece ser um fator determinante da capacidade do rúmen, sendo responsável por 76% da variação total de enchimento. Esses resultados concordam com WALDO (1986) o qual sugeriu que o limite físico do rúmen é elástico, tornando-se maior com a deficiência no atendimento das necessidades metabólicas. A produção de leite é o maior dreno metabóli-

co das vacas em lactação e representa a sua capacidade em utilizar a energia (TAMMINGA et al., 1990).

O estágio de lactação afeta o tempo de retenção ruminal, vacas no início da lactação podem ter um tempo de retenção para FDN de 30h, enquanto no final da lactação, de aproximadamente 45h. A fração potencialmente digestível da alfafa pode ser quase completamente digerida no rúmen de uma vaca no início da lactação, enquanto que esta mesma fração de gramíneas, somente 65% será digerida no mesmo espaço de tempo. Num menor tempo de retenção ruminal, as leguminosas podem ter maior digestibilidade da MS porque seu conteúdo de FDN é menor e apresenta menor digestibilidade da FDN do que gramíneas (VARGA et al., 1998). Uma taxa de digestão mais rápida da fibra potencialmente digestível da alfafa pode promover maior CMS, via aumento na taxa de passagem. Entretanto as gramíneas podem ter maior digestibilidade da FDN quando o alimento permanece longo tempo no rúmen, tal como ocorre com vacas secas ou vacas no final da lactação. Então, gramíneas podem ter digestibilidade similar ou maior que leguminosas quando oferecidas a vacas com longo tempo de retenção ruminal.

As diferenças do efeito da digestibilidade da fibra no consumo podem estar relacionadas com o estágio de lactação. Quando as vacas estavam com balanço energético negativo, o consumo foi controlado pelo enchimento físico, em dietas altas em forragem (DADO e ALLEN, 1995; 1996; DEPIES e ARMENTANO, 1995).

A concentração de FDN na dieta está negativamente correlacionada com o CMS em razão da fermentação mais lenta e de maior tempo de permanência no rúmen. Porém, fibra mais digestível pode estimular o consumo, pelo aumento na taxa de passagem, criando espaço para uma outra refeição. Porém com vacas da metade para o final da lactação é pouco provável que o CMS seja limitado pelo efeito de enchimento físico, mas sim pela habilidade da vaca, nos processos metabólicos, na utilização dos nutrientes absorvidos para fins produtivos, então, dependendo da fase de produção, teremos respostas diferentes relacionadas ao CMS com o aumento da digestibilidade da fibra (ROBINSON e McQUEEN, 1997).

ROBINSON e McQUEEN (1997) mostraram que vacas recebendo dietas com forragens relativamente altas em FDN, mas altamente fermentáveis, tiveram maior produção de leite, porém apresentaram uma menor quantidade (*pool*) ruminal e nenhuma alteração no CMS comparado com vacas recebendo forragem menos fermentável.

Para digestibilidade ou disponibilidade de energia, um sistema analítico perfeito deveria separar os alimentos em frações que fossem completamente digestíveis ou completamente indi-

gestíveis. Este sistema permitiria calcular a digestibilidade aparente através de uma simples soma das frações completamente digestíveis, seguida da subtração das perdas fecais endógenas do animal (LUCAS e SMART, 1959). O valor da análise de FDN como instrumento para estimar digestibilidade não é somente o de definir fibra como um componente dos alimentos que possui uma disponibilidade nutricional constante, mas o seu valor é devido ao fato da FDN separar o alimento nos seus componentes solúveis em detergente neutro (SDN), os quais apresentam uma digestibilidade relativamente constante, e em FDN que representa aquela fração mais variável e menos facilmente digerida. Os solúveis em detergente neutro, algumas vezes denominados “conteúdo celular”, apresentam uma digestibilidade verdadeira próxima de 100%, que é independente da fonte de forragem (VAN SOEST, 1967; OSBOURN et al., 1974). Embora AERTS et al. (1978) indiquem que a técnica de regressão de LUCAS e SMART (1959) possa fornecer resultados anômalos, parece que a FDN pode servir como base de muita utilidade para se estimar digestibilidade.

A equação aditiva para se estimar a digestibilidade é baseada em três componentes (VAN SOEST, 1967; GOERING e VAN SOEST, 1970): (1) SDN digestível é determinado como .98 vezes a concentração de SDN no alimento, (2) a FDN digestível corresponde à concentração de FDN no alimento vezes seu coeficiente de digestão estimado pela relação lignina:FDA e (3) uma perda endógena de 12,9 é subtraída da soma das FDN e SDN digestíveis. A revisão de MOORE e MOTT (1973) indica que esse sistema parece ser válido tanto para forrageiras de estações frias quanto para as de estações quentes, especialmente quando o coeficiente de digestibilidade é determinado *in vitro*. CONRAD et al. (1984) propuseram uma modificação desse conceito para a estimativa de energia líquida dos alimentos.

A relação entre fibra e digestibilidade embora bem estabelecida, muitas vezes não se reconhece que a proporção total de fibra no alimento é, usualmente, mais importante para a digestibilidade total do que a própria digestibilidade ou composição da fibra. As leguminosas, por exemplo, são tipicamente mais digestíveis do que as gramíneas pelo fato de conterem menos FDN, mesmo que elas contenham mais lignina e que a digestibilidade de sua fibra seja menor que a das gramíneas.

CONSUMO DE FIBRA

Embora o papel da fibra na disponibilidade de energia e fermentação ruminal seja frequentemente reconhecido, o seu papel na regulação do consumo não tem sido bem aceito. Muito

da controvérsia é devido à falta de reconhecimento da complexidade e interações de compensação que ocorrem ao se determinar o consumo de um determinado grupo de animais alimentados com uma dieta específica. Para se medir o consumo potencial dos alimentos, o sistema ideal deveria dividir os alimentos em frações que limitam o consumo devido ao “enchimento” ou densidade específica, daquelas que limitam consumo devido à densidade energética. Se princípios biológicos ou teorias são utilizados para predizer consumo, parece que a FDN, que mede melhor a propriedade dos alimentos em ocupar espaço, será mais acurada do que FB ou FDA. Embora FDN tenha vantagens teóricas sobre FB e FDA na avaliação dos alimentos, é seguro afirmar que nenhuma análise química isolada fornece todas as informações críticas necessárias para estimar a disponibilidade ou consumo potencial dos alimentos. O uso da FDN para avaliar alimentos será, com certeza, melhorado com outras análises químicas, físicas e bio-cinéticas dos alimentos.

O primeiro conceito crítico ao se desenvolver um sistema para predizer consumo é que este é função do animal, do alimento e das condições de alimentação (MERTENS, 1985). Isso sugere que qualquer equação que tente predizer o consumo, baseada apenas em características do animal (peso vivo, nível de produção, variação no peso vivo, estágio da lactação, estado fisiológico, tamanho) está fadada ao fracasso. Da mesma maneira, equações baseadas apenas nas características dos alimentos (fibra, volume, capacidade de enchimento, densidade energética, necessidade de mastigação, etc.) não serão de aplicação universal. Como exemplo, nenhum tipo de equação será aplicável se as condições de alimentação (disponibilidade de alimento, taxa de lotação, espaço no cocho, tempo de acesso ao alimento, frequência de alimentação, etc.) estiver limitando o consumo. Embora os animais possam integrar informações vindas de várias fontes e estabelecer um balanço entre o desempenho e consumo, para se adaptar a uma determinada situação, parece lógico que o mais simples esquema para predizer consumo seria aquele que identificasse o fator mais limitante do consumo e usasse uma medida quantitativa desse fator para se fazer as predições.

Os pontos críticos para se estimar consumo são as limitações relativas entre o animal, o alimento e as condições de alimentação. Se a densidade energética da ração é alta (baixa concentração de fibra) em relação às exigências do animal, o consumo será limitado pela demanda energética deste animal e o rúmen não ficará repleto. Entretanto, parece bastante lógico que se a ração foi formulada para uma densidade energética baixa (teor de fibra elevado) relativa aos requerimentos do animal, o consumo será limitado pelo efeito de “enchimento” do alimento. Se a

disponibilidade de alimento é limitada, nem o enchimento nem a demanda de energia seriam importantes para predizer o consumo.

O segundo conceito crítico na previsão de consumo é que o enfoque usado para desenvolver um sistema depende das informações conhecidas e das razões para se predizer o consumo. Essas razões podem ser classificadas em três categorias: (1) para a formulação de rações, (2) para a previsão de desempenho, ou (3) para estimar a demanda de alimentos ou exigências. Considerando que os animais obedecem às leis de conservação de massa e energia, a previsão de consumo, no terceiro caso, torna-se relativamente fácil porque tanto a dieta quanto a produção animal são, usualmente, conhecidas ou estabelecidas. Embora a primeira razão para predição de consumo seja a mais importante em nutrição aplicada, a maioria das pesquisas envolvendo predição de consumo tem sido baseada em condições associadas com o segundo objetivo. Infelizmente, o enfoque necessário para o primeiro caso não é simplesmente o inverso do segundo. No primeiro caso, considera-se implicitamente que a dieta está otimizada para alguma característica (lucro, custo, consumo, produção, etc.) sob um determinado conjunto de restrições conhecidas. No segundo caso, o objetivo é predizer o desempenho sob condições nas quais a dieta é conhecida, mas que pode ou não, ser ótima. O uso de equações ou sistemas para predizer consumo baseado em dados obtidos com dietas sub-ótimas não é adequado para o uso em formulação de rações ótimas.

O efeito de “enchimento” da dieta pode ser expresso em termos de FDN. Cientistas franceses têm determinado unidades de enchimento de alimentos baseadas no consumo relativo a um feno de gramínea padrão e observaram que suas unidades de enchimento são altamente correlacionadas com a concentração de parede celular das plantas (INRA, 1989). O consumo de FDN, a produção de leite esperada, teor de gordura do leite e mudanças no peso vivo estão relacionados com o estágio de lactação e número de lactações (MERTENS e ROTS, 1989). Uma vez que FDN está diretamente relacionada com o efeito de enchimento e inversamente relacionada com o nível energético da dieta, esta pode ser usada para caracterizar a dieta e expressar os dois mecanismos de controle de consumo numa mesma escala. Baixas correlações lineares, frequentemente significativas, são observadas entre consumo e FDN (REID et al., 1986; JUNG e LINN, 1988). Relações entre consumo e FDN não podem ser avaliadas utilizando-se procedimentos estatísticos simples, pois a natureza bifásica do controle de consumo explica porque consumo não é altamente correlacionado com digestibilidade ou FDN de volumosos quando FDN está abaixo de 50 a 60% (CONRAD et al., 1964; VAN SOEST, 1965; OSBOURN et al., 1974). Para animais adul-

tos, mais frequentemente usados nos ensaios de digestibilidade e consumo, o consumo está limitado pela demanda de energia destes animais e não pelo efeito de enchimento do alimento, quando FDN está abaixo de 50 a 60%. Nestas situações, a remoção de variações associadas às diferenças entre animais reduz drasticamente a variação nas estimativas de consumo e melhora as predições de consumo baseadas na composição química dos alimentos (OSBOURN et al., 1974; ABRAMS et al., 1987).

A maior limitação ao uso da FDN na formulação de rações para vacas em lactação está relacionada ao fornecimento de subprodutos com fibra alta, que são moídos finamente. A trituração da fibra tem dois efeitos. Primeiramente ela decresce a atividade de mastigação, normalmente associada a alimentos com elevado teor de fibra. Então, estes alimentos não serão tão efetivos na manutenção do pH ruminal quando forragem longa. Em segundo lugar a trituração eleva o potencial de consumo destes alimentos, porque o volume ocupado pelo alimento moído será menor que aquele do alimento não processado. VAN SOEST (1982) propôs a “Teoria do Hotel” para explicar tal fenômeno. Forragens inteiras são análogas ao edifício de um hotel. Ocupa um grande espaço em relação ao peso ou volume específico de suas paredes. Da mesma forma que o prédio pode ser reduzido a um pequeno volume de entulho, após sua demolição, os alimentos moídos ocupam menos espaço do que indicado pelo seu teor de fibra. Daí, alimentos moídos têm menor efeito de enchimento por unidade de FDN e um valor ajustado ou corrigido para FDN, torna-se necessário para refletir seu efeito de enchimento real (MERTENS, 1992).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fibra é um termo exclusivamente nutricional que é definido pelo método utilizado para isolá-la. Dos métodos laboratoriais disponíveis, a FDN é a fração que apresenta maior correlação nutricional com o tipo de fibra a ser empregado na formulação de dietas para ruminantes, e a FAT para dietas de monogástricos. Entretanto, há necessidade de uniformização na metodologia de FDN a ser adotada. Para possibilitar o emprego desta metodologia no campo, há necessidade de mudanças na rotulagem de matérias primas e rações destinadas à ruminantes, substituindo fibra bruta por FDN. As recomendações atuais para FDN, embora sejam válidas, devem ser aperfeiçoadas, ajustando a fibra pela sua efetividade em manter a atividade mastigatória, o pH ruminal e a quantidade de gordura do leite. Mais pesquisas são necessárias para identificar outras características químicas e físicas dos alimentos que influenciam na sua efetividade em manter uma ótima função ruminal e saúde animal, e mais informações para determinar se FDN_{fe} neces-

sária para a saúde é diferente das exigências para manter a percentagem de gordura do leite ou o pH ruminal.

Para fornecer informações nutricionais importantes, a fibra deveria incluir a fração indigestível ou lentamente digestível do alimento, que ocupa espaço no trato gastrointestinal dos animais. A fibra tem um papel importante na digestibilidade do alimento, otimização da fermentação ruminal e regulação do consumo. A FDN fornece a descrição mais acurada de fibra, pois separa os alimentos em uma fração solúvel, que é quase completamente digerida, e uma fração fibrosa, que varia em digestibilidade, dependendo da composição e estrutura da lignina e carboidratos. Fibra em detergente neutro e seus tamanhos de partículas estão relacionados com a atividade de mastigação e otimização da fermentação ruminal. Esta é altamente correlacionada com o efeito de enchimento dos alimentos e pode ser usada para estimar o consumo. O sistema FDN-consumo de energia usa FDN e energia líquida dos alimentos para formular rações que maximizem consumo e utilização de volumosos, ao mesmo tempo em que supre os requerimentos para produções almejadas. Quando utilizado com equações para se determinar requerimento mínimo de volumosos nas rações, FDN provê meios para a utilização de métodos práticos de laboratório para se estabelecer limites inferiores e superiores de inclusão de volumosos em rações ótimas.

RESUMO

A fibra vem sendo usada para caracterizar os alimentos há mais de um século, porém os nutricionistas ainda não chegaram a um consenso sobre a sua definição. Atualmente vários métodos estão disponíveis, sendo que cada um fornece um tipo diferente de fibra. Dos métodos disponíveis, a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) é o método químico que apresenta melhor correspondência com o tipo de fibra a ser usada na alimentação de ruminantes e a fibra alimentar na alimentação de monogástricos, embora a FDN também tenha sido utilizada para este fim. Entretanto, há necessidade de uniformização dos métodos a serem empregados. Vários estudos têm mostrado que a medida química isolada da fibra, nem sempre é adequada para o balanceamento das dietas, pois apresenta variações na efetividade em estimular a mastigação, esta observação, conduziu ao conceito de fibra efetiva e de fibra fisicamente efetiva. Os efeitos metabólicos e fisiológicos da fibra da dieta no organismo do animal conduziram ao desenvolvimento da fibra alimentar, a qual, separa as frações em insolúvel e solúvel. A determinação do nível ótimo de fibra não é uma tarefa fácil, requer a análise de vários fatores que interagem significativamente, afetando o consumo de energia e o desempenho dos animais.

vamente, afetando o consumo de energia e o desempenho dos animais. O nível ótimo de fibra, para ruminantes, deve permitir que o animal maximize a fermentação ruminal dos carboidratos, ao mesmo tempo em que mantém um pH ruminal adequado; e, esta estratégia, deve aumentar a eficiência da fermentação, aumentando o consumo de energia e a produção. O nível ótimo de fibra, para monogástricos, deve ter uma adequada relação entre fibra solúvel e insolúvel; provocar um tempo de passagem da digesta pelo trato gastrointestinal, consumo de energia e degradação da fibra adequados para que ocorra uma maximização da digestão e absorção dos nutrientes, obtendo-se desta forma, um melhor desempenho animal.

Palavras-chave: *fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, fibra alimentar, fibra solúvel, fibra insolúvel, fibra efetiva*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1990.
- ABRAMS, S.M.; HARPSTER, H.W.; WANGNESS, P.J.; et al. 1987. Use of a standard forages to reduce effects of animal variation on estimates of mean voluntary intake. **J. Dairy Sci.**, v.70, p.1235, 1987.
- AERTS, J.V.; BARBANDER, D.L. de; COTTYN, B.G.; et al. 1978. Some remarks on the analytical procedure of Van Soest for the prediction of forage digestibility. **An. Feed Sci. Tech.**, v.3, p.309, 1978.
- AKIN, D.E. 1989. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. **J. Agron.**, v.81, p.17-25, 1989.
- ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **J. Dairy Sci.**, v.80, p.1447, 1997.
- ANDERSON, J. W.; BRIDGES, S.R. Dietary fiber content of selected foods. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.47, p.440, 1988.
- ANNISON, G. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition. **Aust. J. Agric. Res.**, Victoria, v.44, n.2, p.405-422, 1993.
- ANNISON, G.; CHOCT, M. Plant polysaccharides – their physiochemical properties and nutritional roles in monogastric animals. In: ALLTECH ANNUAL SYMPOSIUM, V.10, 1994, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham: University Press, p.51-56, 1994.
- BAILEY, R.W.; ULYATT, M.J. 1970. Pasture quality and ruminant nutrition: II – Carbohydrate and lignin composition of detergent extracted residues from pasture grasses and legumes. **N.Z.J. Agric. Res.**, v.13, p.591, 1970.
- BEAUCHEMIN, K.A.; BUCHANAN-SMITH, J.G. 1989. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v.72, p.2288, 1989.

- BEDFORD, M.R.; CLASSEN, H.L. An *in vitro* assay for prediction of broiler intestinal viscosity and growth when fed rye-based diets in the presence of exogenous enzymes. **Pout. Sci.**, v.72, n.1, p.137-143, 1992.
- CHAI, W.; UDÉN, P. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. **Anim. Feed Sci. Technol.**, v.74, p.281-288, 1998.
- CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. 1988. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. **The Rumen Microbial Ecosystem**. Ed. Elsevier Applied Science Publ., New York, p.251-284, 1988.
- CLARK, P.V.; ARMENTANO, L.E. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grain compared with alfalfa haylage. **J. Dairy Sci.**, v.76, p.2644, 1993.
- COCHRAN, R.C.; VANZANT, E.S.; JACQUES, K.A.; et al. 1987. Internal markers. **Proc. Grazing Livestock Nutr. Conf.**, Jackson, WY, p.39, 1987.
- CONRAD, H.R.; PRATT, A.D.; HIBBS, J.W.; et al. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows: I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. **J. Dairy Sci.**, v.47, p.54, 1964.
- CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O.; et al. 1984. Estimating net energy from components of cell solubles and cell walls. **J. Dairy Sci.**, v.64, p.427, 1984.
- DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Enhanced intake and production of cows offered ensiled alfalfa with higher neutral detergent fiber digestibility. **D. Dairy Sci.**, v.79, p.418, 1996.
- DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. **J. Dairy Sci.**, v.78, p.118, 1995.
- DEPIES, K.K.; ARMENTANO, L.E. Partial replacement of alfalfa fiber with fiber from ground corn cobs or wheat middlings. **J. Dairy Sci.**, v.78, p.1328, 1995.
- DONG, F.M.; RASCO, B.A. The neutral detergent fiber, acid detergent fiber, crude fiber and lignin contents of distillers dried grains with solubles. **J. Food Sci.**, v.52, p.403, 1987.
- EDWARDS, C.S. 1973. Determination of lignin and cellulose in forages by extraction with triethylene glycol. **J. Sci. Food Agric.**, v.24, p.381, 1973.
- ENGLYST, H. Classification and measurement of plant polysaccharides. **An. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.23, n.1, p.27-42, 1989.
- FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. 2.ed., Zaragoza: Acribia S.A., 1993. 1095p.
- FERREIRA, W.M. Os componentes da parede celular vegetal na nutrição de não-ruminantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31, 1994, Maringá. **Simpósio internacional de produção de não-ruminantes – Anais...** Maringá: EDUEM, 1994. p.85-113.
- GAILLARD, B.D.B. 1962. The relationship between cell-wall constituents of roughages and the digestibility of the organic matter. **J. Agric. Sci.**, v.59, p.369, 1962.
- GIGER-REVERDIN, S. Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. **Ani. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.55, n.4, p.295-334, 1995.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage Fiber Analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. USDA - ARS Agric. Handbook n° 379. US Govt. Printing Office, Washington, DC., 1970. 20p.

- GOODWIN, T.W.; MERCER, E.I. **Introduction to plant biochemistry**. 2.ed. Aberystwyth: Pergamon Press, 1988. 677p.
- GRANT,R.J.; COLENBRANDER,V.F.;MERTENS,D.R. Milk fat depression in dairy cows: role of silage particle size. **J.Dairy Sci.**, v.73, p.183-442, 1990.
- GRENET, E.; BESLE, J.M. Microbes and fibre degradation. In: JOUANY, J.P. **Rumen microbial metabolism and ruminant digestion**. Paris: p.107-129, 1991.
- GUILLOIN, F.; CHAMP, M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. **Food Res. Int.**, Ontario, v.33, n.3-4, p.233-245, 2000.
- HARTLEY, R.D. 1972. p-Coumaric and ferulic acid components of cell walls of ryegrass and their relationship with lignin and digestibility. **J. Sci. Food Agric.**, v.12, p.1347, 1972.
- HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M.; et al. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. **J. Dairy Sci.**, v.73, p.142, 1990.
- HILLMAN, L.; PETERS, S.; FISCHER, A.; POMARE, E.W. Differing effects of pectin, cellulose and lignin on stool pH, transit time and weight. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.50, n.2, p.189-195, 1983.
- HOOVER,W.H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. **J. Dairy Sci.**, v.69, p.2755, 1986.
- HUTHANEN,P.; KHALILI,H. Sucrose supplements in cattle given grass silage based diet.3. Rumen pool size and digestion kinetics. **Anim. Food Sci. Technol.**, v.33, p.275, 1991.
- ISHLER, V.; HEINRICHS, J.; VARGA, G. **From feed to milk: understanding rumen functions**. 1998. 72p.
- JERACI,J.L.; LEWIS,B.A.; VAN SOEST,P.J.; ROBERTSON,J.B.Urea enzymatic dialysis procedure for determination of total dietary fibre. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, v.72, p.677,1989.
- JORGENSEN, H.; ZHAO, X.Q.; KNUDSEN, K.E.B. et al. The influence of dietary fibre source and level on the development of the gastrointestinal tract, digestibility and energy metabolism in broiler chickens. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.75, n.3, p.379-395, 1996.
- JUNG, H.G.; LINN, J.L. 1988. Forage NDF and intake: A critique. **Proc. 48th Minnesota Nutr. Conf.**, p.39, 1988.
- JUNG, H-J,G. Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. **Am. Soc. for Nut. Sci.**, 810, 1997.
- KRITCHEVSKY, D. Cereal fiber and lipidemia. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.42, n.2, p.81-85, 1997.
- LARBIER, M.; LECLERCQ, B. **Nutrition and feeding of poltry**. Nottingham University Press, 1992. 305p.
- LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G. 1959. Chemical composition and the digestibility of forage. **Proc. 16th Southern Pasture and Forage Conf.**, p.23, 1959.
- MANAS, E; SAURA-CALIXTO, F. Ethanolic precipitation: source of error in dietary fiber determination. **Food Chem.**, v.47, p.351, 1993.
- MASCARENHAS-FERREIRA, A.; KERSTEN, J.; GAST, C.H. 1983. The study of several modifications of neutral detergent fibre procedure. **Anim. Feed Sci. Tech**, v.9, p.19, 1983.

- McCARTHY, R.D.; KLUSMEYER, J.L. JR.; VICINI, J.L.; et al. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. **J. Dairy Sci.**, v.72, p.2002, 1989.
- McDOUGALL, G.J.; MORRISON, I.M.; STEWART, D.; et al. Plant fibres: chemistry and processing for industrial use. **J. Sci. Food Agric.**, London, v.62, n.1, p.1-20, 1993.
- McQUEEN, R.E.; NICHOLSON, J.W.G. 1979. Modification of the neutral-detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using alpha amylase. **J. A.O.A.C.**, v.62, p.676, 1979.
- MERTENS, D.R. 1985. Factors influencing feed intake in lactating cows: From theory to application using neutral detergent fiber. **Georgia Nutr. Conf.**, p.1, 1985.
- MERTENS, D.R. 1986. Effect of physical characteristics, forage particle size and density of forage utilization. **Proc. Am. Feed Industry Assn. Nutr. Symp.**, p.91, 1986.
- MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: Simpósio Internacional de Ruminantes. **Anais...** SBZ-ESAL, 188, MG., 1992.
- MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v.80, p.1463, 1997.
- MERTENS, D.R. Physical effective NDF and its use in formulating dairy rations. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM BOVINOS DE LEITE, 2, 2001, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA-FAEPE, p.25-36, 2001.
- MERTENS, D.R.; BRODERICK, G.A.; SIMONS, R. Efficacy of carbohydrate sources for improving utilization of N in alfafa silage. **J. Dairy Sci.**, v.77, p.240, 1994.
- MERTENS, D.R.; ROTZ, C.A. 1989. Functions to describing changes in dairy cow characteristics during lactation for use in DAFOSYM. **U.S. Dairy Forage Research Center Research Summaries**, Madison, WI., p.114, 1989.
- MINSON, D.J. 1990. **Forage in ruminant nutrition**. Academic Press, Inc., New York. 1990.
- MONRO, J.A. Evidence-based food choice: the need for new measures of food effects. **Trends Food Sci. Tech.**, Ontario, v.11, n.4-5, p.136-144, 2000.
- MOORE, J.E.; MOTT, G.O. 1973. Structural inhibitors of quality in tropical grasses. In: ANTIQUALITY COMPONENTS OF FORAGES (MATCHES, A. ed.). **Crop. Sci. Soc. of America**, Madison, WI, CSSA Spec. Pub. 4, p.53, 1973.
- MORRISON, I.M. 1972. Improvements in the acetyl bromide technique to determine lignin and digestibility. **J. Sci. Food Agric.**, v.23, p.1463, 1972.
- MURPHY, M.R.; BALDWIN, R.L.; KOONG, J.L. Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. **J. Anim. Sci.**, v.55, p.411-421, 1982.
- NOCEK, J.E. Bovine acidosis: Implications on laminitis. **J.Dairy Sci.**, v.80, p.1005, 1997.
- NOCEK, J.E.; TAMMINGA, S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. **J. Dairy Sci.**, v.74, p.3598, 1991.

- OSBOURN, D.F.; TERRY, R.A.; OUTEN, G.E.; et al. 1974. The significance of a determination of cell walls as the rational basis for nutritive evaluation of forages. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, XII, **Proc.**, v.3, p.374, 1974.
- PHILIPSON, A.T. **Physiology of digestion and metabolism in the ruminant**. Newcastle-upon-Tyne, England: Orion Press, 1970. 422p.
- PROSKY, L.; ASP, G.N.; SCHWEIZER, T.F.; et al. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: collaborative study. **J. Assoc. Anal. Chem. Int.**, Washington, v.75, n.2, p.360-367, 1992.
- PROSKY, L.; ASP, N.G.; FURDA, I.; DeBRIES, J.W.; SCHWEIZER, T.F.; HARLAND, B.F. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: interlaboratory study. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, v.67, p.1044, 1984.
- REFSTIE, S.; SVIHUS, B.; SHEARER, K.D.; et al. Nutrient digestibility in atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soyabean products. **Anim. Feed Sci. and Techn.**, Amsterdam, v.79, n.2, p.331-345, 1999.
- REID, R.L.; JUNG, G.A.; THAYNE, W.V. 1986. Relationship between nutritive quality and fiber components of cool season and warm season forages: A retrospective study. **J. Anim. Sci.**, v.66, p.1275, 1986.
- ROBERTSON, J.B.; VAN SOEST, P.J. 1981. The detergent system analysis and its application to human foods. In: THE ANALYSIS OF DIETARY FIBER IN FOOD (JAMES, W.P.T.; THEANDER, O. ed.). Marcel Dekke Inc. New York, p.123, 1981.
- SAKATA, T. Stimulatory effect of short-chain fatty acids on epithelial cell proliferation in the rat intestine: a possible explanation for trophic effects of fermentable fibre, gut microbes and luminal trophic factors. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.58, n.1, p.95-103, 1987.
- SHAVER, R.D.; NYTES, A.J.; SATTER, L.D.; JORGENSEN, N.A. Influence of feed intake, forage physical form, and feces of dairy cows. **J. Dairy Sci.**, v.71, p.1566, 1988.
- SOUTHGATE, D.A.T. 1969. Determination of carbohydrates in foods: II. Unavailable carbohydrates. **J. Sci. Food Agric.**, v.20, p.331.
- STEPHEN, A.M.; CUMMINGS, J.H. Water-holding by dietary fibre *in vitro* and its relationship to faecal output in man. **Gut**, London, v.20, n.5, p.722-729, 1979.
- SUDWEEKS, E.M.; ELY, L.O.; MERTENS, D.R.; et al. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: roughages value index system. **J. Anim. Sci.**, v.53, p.1406, 1981.
- TAMMINGA, S.; VAN VUUREN, A.M.; VAN DER KOELEN, C.J.; et al. 1990. Ruminant behavior of structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. **Neth. J. Agric. Sci.**, v.38, p.513-526, 1990.
- THEANDER, R.O.; WESTERLUND, E. Studies on dietary fibre. III. Improved procedures for analysis of dietary fiber. **J. Agric. Food Chem.**, v.34, p.330, 1986.
- UNDERSANDER, D. ; MERTENS, D.R. ; THIEUX, N. National Forage Testing Association (Recommends) . **Forage Analysis Procedures**, Denver, Co., 1993.

- VAN SOEST, P.J. 1963. Use of detergent in the analysis of fibrous feeds: preparation of fiber residues of low nitrogen content. *A.O.A.C.*, v.46, p.825, 1963.
- VAN SOEST, P.J. 1965. Symposium on factors influencing the voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. *J. Anim. Sci.*, v.24, p.834, 1965.
- VAN SOEST, P.J. 1967. Development of comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *J. Anim. Sci.*, v.26, p.1116, 1967.
- VAN SOEST, P.J. 1982. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. O. & B. Books, Inc., Corvallis, OR, 1982.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**, 2nded. Cornell University Press, Ithaca, NY, 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. 1980. **Systems of analysis for estimating fibrous feeds**. In: STANDARDIZATION OF ANALYTICAL METHODOLOGY FOR FEEDS (PIGDEN, W.J.; BALCH, C.C.; GRAHAM, M. ed.). Int. Dev. Res. Cen., Ottawa, Ont. Canada, p.49, 1980.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, v.74, p.3583, 1991.
- VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. A.O.A.C.*, v.50, p.50, 1967.
- VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with permanganate. *J. A.O.A.C.*, v.51, p.780, 1968.
- VANDERHOOF, J.A. Immunonutrition: the role of carbohydrates, *Nutr. Res.*, New York, v.14, n.7/8, 1998.
- VARGA, G. A Fiber in the ration :How effective should it be? In: Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. **Proceedings...** Cornell Univ., Ithaca,NY, p. 117, 1997.
- VARGA, G.A.; DANN, H.M.; ISHLER, V.A. 1998. The use of fiber concentrations for ration formulation. *J. Dairy Sci.*, v.81, n.11, p.3063-3074, 1998.
- VARGA, G.A.; DANN, H.M.; ISHLER, V.A. The Use of Fiber Concentrations for Ration Formulation. *J. Dairy Sci.* v.81, p.3063, 1998.
- VAUGHAN, K.K.; SWAIN, S.M.; ARMENTANO, L.E. Effectiveness of FDN from ground corn cobs and wheat middlings compared to alfalfa silage. *J. Dairy Sci.*, v.74(suppl. 1), p.220, 1991.
- WALDO, D.R. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. *J. Dairy Sci.*, v.69, p.617, 1986.
- WARNER, A.C.I. Rate of passage of digesta through the gut of mammals and birds. *Nutr. Abstr. Rev.* (Series 'B'), Farnham Royal, v.51, n.12, p.789-975, 1981.
- WARPECHOWSKI, M.B. **Efeito da fibra insolúvel da dieta sobre a passagem no trato gastrointestinal de aves intactas, cecectomizadas e fistuladas no íleo terminal**. 1996. 125p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WEISS, W.P. Predicting energy values of feeds. *J. Dairy Sci.*, v.76, p.1802, 1993.

- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; St PIERRE, N.R. A theoretically based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Anim. Feed Sci. Technol**, v.39, p.95, 1992.
- WEISS, W.P.; ERICKSON, D.O.; ERICKSON, G.M.; FISCHER, G.R. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows. **J. Dairy Sci**, v.72, p.980, 1989.
- WELCH, J.C.; SMITH, A.M. 1970. Forage quality and rumination time in cattle. **J. Dairy Sci.**, v.53, p.797, 1970.
- WENK, C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. **An. Feed Sci. Tech.**, Amsterdam, v.90, n.1, p.21-33, 2001.
- ZHAO, X.; JORGENSEN, H.; EGGUM, B.O. The influence of dietary fibre on body composition, visceral, organ weight, digestibility and energy balance in rats housed in different thermal environments. **Br. J. Nutr.**, Cambridge, v.73, n.5, p.687-699, 1995.