

## Fibra para ruminantes: Aspecto nutricional, metodológico e funcional

Aldivan Rodrigues Alves<sup>1\*</sup>, Leonardo Augusto Fonseca Pascoal<sup>2</sup>, Gabriela Brito Cambuí<sup>3</sup>, Jaqueline da Silva Trajano<sup>3</sup>, Claudete Maria da Silva<sup>3</sup>, Glayciane Costa Gois<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Diretoria de Desenvolvimento ao Ensino, Instituto Federal do Maranhão - IFMA, Caxias, Maranhão, Brasil.*  
[aldivan.alves@ifma.edu.br](mailto:aldivan.alves@ifma.edu.br)

<sup>2</sup>*Centro de Ciências Humanas Sociais e Agrárias DAP/UFPB. Bananeiras, Paraíba, Brasil.* [leonardo@cchsa.ufpb.br](mailto:leonardo@cchsa.ufpb.br)

<sup>3</sup>*Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia CCA/UFPB/UFRPE/UFC. Areia, Paraíba, Brasil.*  
[gabyrcambui@yahoo.com.br](mailto:gabyrcambui@yahoo.com.br); [jakezootecnia@yahoo.com.br](mailto:jakezootecnia@yahoo.com.br); [claudete\\_m\\_silva@hotmail.com](mailto:claudete_m_silva@hotmail.com); [glayciane\\_gois@yahoo.com.br](mailto:glayciane_gois@yahoo.com.br)

**RESUMO.** A fibra representa um componente indispensável e um dos principais itens da dieta de ruminantes, que dependendo de suas características físicas e químicas pode interferir diretamente na fisiologia digestiva do rúmen. Na prática, a fibra no balanceamento das rações recebe termos diferenciados, de acordo com suas características de solubilidade e degradação. Dentre esses termos, inclui FB (fibra bruta), FDN (fibra em detergente neutro) e FDA (fibra em detergente ácido), sendo a FDN mais relacionado aos carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose e pectinas), o qual é mais utilizado por interferir no aproveitamento da dieta pelo animal, em que sua quantidade pode estimular ou inibir o consumo de alimento pelos ruminantes. Com base nas características físicas da FDN surgiram dois conceitos: FDN fisicamente efetiva (peFDN) relacionada ao tamanho da partícula e FDN efetiva (eFDN) relacionada a capacidade do alimento em manter o percentual de gordura do leite. O termo FDA refere-se a celulose, lignina, sílica e proteína, sendo utilizada para quantificar a hemicelulose por diferença da FDN. A fibra estimula a mastigação, serve como substrato aos microrganismos, contribui para manutenção dos padrões fermentativos e estabilidade do ambiente ruminal. Assim, a fibra na dieta de ruminantes quando não disponibilizada em quantidade e qualidade aos animais, pode comprometer o desempenho e interferir nas características dos seus produtos finais, além de causar distúrbios no metabolismo energético dos animais.

**Palavras chave:** Digestibilidade, metabolismo energético, produção animal

## Fiber ruminants: Nutritional, methodological and functional aspect

**ABSTRACT.** The fiber is an essential component and one of the main items in diet of ruminants, and their physical and chemical characteristics can directly affect the digestive physiology in the rumen. In the practice, the fiber in the balance of diets given different terms, according with their solubility and degradation characteristics. These terms, including FB (crude fiber), NDF (neutral detergent fiber) and ADF (acid detergent fiber), NDF being more related to structural carbohydrates (cellulose, hemicellulose and pectin), which is more used to interfere in the diet utilization by animal, their quantity can stimulate or inhibit food intake by ruminants. Based on the physical characteristics of NDF two new concepts were developed: physically effective NDF (peFDN) related to particle size and effective NDF (eFDN) related with the ability of food in maintained the percentage of fat in milk. The FDA refers to cellulose, lignin, silica and protein, and is used to estimated the hemicellulose by subtraction of ADF from NDF. The fiber stimulates chewing, serves as substrate for microorganisms, contribute to maintenance of the fermentative standards and rumen ambient stability. Thus, the fiber in diet of ruminants when not available in quantity and quality at animals may compromise the

performance and interfere in the final products characteristics, yonder cause disturbances in the energy metabolism of animals.

**Keywords.** Animal production, digestibility, energy metabolism

## Introdução

A fibra é uma substância formada por vários componentes químicos de composição conhecida, porém com uma estrutura tridimensional variada e pouco conhecida. No seu aspecto químico, a fibra é composta pela celulose, hemicelulose e lignina, embora este último trata-se de um composto fenólico e não carboidrato. Em princípios práticos, tem-se utilizado os termos fibra bruta (FB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Esses termos são utilizados para informar a qualidade das forragens, a ingestão da matéria seca, a digestibilidade e o valor nutritivo dos alimentos. A fibra para os animais ruminantes é compreendida como um conjunto de componentes dos vegetais que possui baixa digestibilidade e promovem ao rúmen equilíbrio em função da ruminação ([Calsamiglia, 1997](#)).

Para ruminantes, o termo FDN representa uma medida do conteúdo total da fibra insolúvel do alimento, o qual constitui o parâmetro mais usado para o balanceamento das dietas uma vez que interfere na sua qualidade ([Macedo Júnior et al., 2007](#)). [García et al. \(2007\)](#) também enfatizam que por suas características particulares, os níveis de participação de fibra nas dietas são muito amplos, o que pode ser justificado pela sua flexibilidade, como também, pela variabilidade das necessidades energéticas dos ruminantes; porém quando em excesso reduz a capacidade do consumo de alimento, digestibilidade, síntese de proteína microbiana e aporte de energia. Entretanto, quando o teor de fibra das dietas é baixo, inúmeras respostas podem ser desencadeadas, desde a alteração da fermentação no rúmen, acidose grave, o que pode resultar na morte do animal ([Mertens, 1997](#)). Ainda de acordo com este autor as características físicas da fibra, tais como, tamanho da partícula e densidade, podem influenciar a saúde animal, fermentação ruminal, metabolismo animal e produção de gordura do leite, independentemente da quantidade ou composição química medida de FDN. Entrento, [Varga et al. \(1998\)](#) citam que muitos fatores afetam os requisitos de fibra em vacas lactantes, incluindo a ingestão de matéria seca, quantidade e tipo de carboidratos não estruturais e estruturais da ração. Diante da

complexa relação existente no metabolismo da fibra e seus efeitos na alimentação, desempenho e saúde animal; este artigo tem como objetivo elaborar uma revisão sobre os aspectos nutricionais, metodológicos e funcionais da fibra na nutrição de ruminantes.

## Relações fisiológicas e digestivas da fibra em ruminantes

O aproveitamento de alimentos fibrosos pelos ruminantes está relacionado à síntese e secreção de enzimas pelos microrganismos do rúmen, promovendo a hidrólise da parede celular das plantas ([Martins et al., 2006](#)), pois segundo ([Tomme et al., 1995](#)), tanto na saliva como no suco pancreático dos mamíferos existem enzimas hidrolíticas (amilases) capazes de catalisar a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 do amido e do glicogênio, mas não das ligações  $\beta$ -1,4 da celulose, sendo assim alguns microrganismos, como os que habitam o rúmen de herbívoros, são capazes de hidrolisar as ligações  $\beta$ -1,4 da celulose e utilizá-la como fonte de energia.

A fibra é essencial para os ruminantes e ainda que seja fornecida em pequenas quantidades na dieta animal, esse teor tem a sua importância no que se refere à microbiota ruminal e seus processos fermentativos, corroborando com [Van Soest \(1994\)](#) quando o mesmo afirma que quantidade mínima de fibra é necessária para ter concentrações adequadas de microrganismos no rúmen a fim de promover o processo da fermentação, produção de saliva e movimentos ruminais. Além disso, a fibra é importante no metabolismo energético dos ruminantes, pois independentemente da fonte de carboidratos estes são fermentados pelos microrganismos e convertidos a ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente o acético, propiônico e butírico os quais podem corresponder de 60 a 80% das necessidades energéticas dos ruminantes, mas elevados teores de fibra podem diminuir a eficiência de utilização dos carboidratos e outros nutrientes ([Mertens, 1994](#), [Mertens, 1997](#)).

Apesar do papel importante que as populações de protozoários e fungos do rúmen têm na digestão da parede celular vegetal, são as bactérias os microrganismos mais ativamente

implicados neste processo. As bactérias são importantes qualitativamente, pela sua alta atividade enzimática, e quantitativamente, pela amplitude da sua repercussão devido à sua elevada concentração no rúmen. Tendo em conta o número ( $10^9$  células.ml<sup>-1</sup>) e a aptidão para hidrolisar a celulose, as três espécies bacterianas celulolíticas predominantes no rúmen são *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* e *Ruminococcus albus* ([Chesson & Forsberg, 1997](#), [Stewart et al., 1997](#), [Fonty et al., 1995](#)), as quais digerem a celulose em velocidade constantes de, 0,05 a 0,10 h<sup>-1</sup>, mais rápido do que praticamente qualquer outra espécie de bactérias celulolíticas ([Weimer, 1996](#)). Existem interações (promotoras de crescimento e antagonismo) entre o ecossistema da microbiota que são importantes para manter um equilíbrio no ambiente ruminal e garantir a maximização da atividade fermentativa no rúmen, mas diversos fatores podem interferir neste equilíbrio ([Kamra, 2005](#)), dentre eles a dieta do animal e sua fração de carboidratos. Por exemplo, verificou-se que o efeito dos carboidratos pela adição de amido parece envolver a competição por nutrientes essenciais entre grupos microbianos, resultando em maior proliferação dos microrganismos que degradam amido ([El-Shazly et al., 1961](#), [Mould et al., 1983](#)). Esta competição conduziria à preferência inicial pela utilização do amido como substrato energético no ambiente ruminal ([El-Shazly et al., 1961](#)), com a transformação gradativa da fibra em substrato energético predominante, à medida que se reduz a disponibilidade de amido ([El-Shazly et al., 1961](#), [Mertens & Loften, 1980](#), [Arroquy et al., 2004](#)), envolvendo, desta forma, mecanismos de regulação catabólica ([Russell & Baldwin, 1978](#)). Por outro lado, alguns autores têm reportado a inibição da atividade de enzimas fibrolíticas em função da presença de amido no meio ruminal ([Piwonka & Firkins, 1996](#)), fato que parece estar associado à liberação de compostos inibidores pelos microrganismos que degradam o amido ([El-Shazly et al., 1961](#)), os quais parecem ser de natureza protéica (bacteriocinas) ([Piwonka & Firkins, 1996](#), [Kalmokoff et al., 1996](#)).

Já os carboidratos constituintes da FDN têm baixa taxa de degradação e lenta taxa de passagem pelo retículo-rúmen e, desta maneira, dietas com altos teores de FDN promovem redução na ingestão de matéria seca total, em função da limitação provocada pelo enchimento do retículo-rúmen, limitando a expressão do

potencial genético do animal para produção. A taxa de passagem ou de trânsito refere-se ao fluxo de resíduos não digeridos pelo trato digestório; o fluxo ruminal inclui além da fibra indigestível, bactérias e outras frações não degradadas do alimento, sendo que a composição e o volume da dieta são variáveis externas que influenciam a digestão, a taxa de digestão e a reciclagem do conteúdo ruminal ([Van Soest, 1994](#)). [Kozloski et al. \(2006\)](#), em sua pesquisa sobre níveis de FDN na dieta de cordeiros avaliando consumo, digestibilidade e fermentação ruminal encontraram resultados indicando que o aumento do teor de FDN diminuiu o consumo de alimento e a oferta total de nutrientes ao animal; no entanto, a redução do consumo e digestibilidade foram mais evidentes somente pela inclusão do nível mais alto de FDN.

No entanto, fibra mais digestível pode estimular o consumo, pelo aumento da taxa de passagem, criando espaço para outra refeição ([Macedo Júnior et al., 2007](#)). Por outro lado, o processo fermentativo ruminal é altamente dependente do pH do meio, e este por sua vez, está diretamente relacionado com o teor de fibra efetiva da dieta ([Kozloski et al., 2006](#)). Segundo [Guillon & Champ \(2000\)](#), o trânsito mais acelerado da fibra está associado à diminuição do pH, aumentando a quantidade de substratos que chega ao cólon, bem como, provoca um aumento no volume fecal.

[Branco et al. \(2010\)](#) trabalhando com o efeito dos níveis de fibra em detergente neutro oriunda da forragem sobre a eficiência microbiana e os parâmetros digestivos em cabras leiteiras encontraram entretanto, para a dieta com 19% de FDN na forragem, um pH de 5,88 que foi atingido no tempo 16 horas. O pH ruminal é regulado por um sistema complexo que depende do nível de fibra na dieta, do resultado líquido entre a produção e a absorção dos AGCC, do fluxo de saliva e da sua capacidade de tamponamento do rúmen, de acordo com [Van Soest \(1994\)](#) o pH ideal no rúmen seria em média 6,8.

Além das características físicas e químicas da fibra, alguns fatores também podem comprometer sua digestibilidade como a interação com outros nutrientes. De acordo com [NRC \(2001\)](#) quando o teor de proteína bruta em nível abaixo de 7% na dieta como baixa disponibilidade de nitrogênio pode reduzir a

digestão da fibra, reduzir o consumo devido à lenta passagem dos alimentos pelo rúmen.

Os trabalhos atuais que abordam a fibra na dieta de ruminantes têm procurado associar sempre esta complexa influência de suas características físicas e químicas com a fisiologia dos ruminantes, assim como em não ruminantes diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para melhorar ainda mais a eficiência de utilização das fontes de fibra para ruminantes, em que, para [Beauchemin et al. \(2003\)](#) o uso de enzimas fibrolíticas exógenas podem contribuir para aumentar esta eficiência de utilização (em torno de 0,5 a 2,0 mg com base na matéria seca total da dieta), uma vez que, estas enzimas aumentam a digestibilidade da matéria seca e da fibra, melhorando conseqüentemente o desempenho animal ([Beauchemin et al., 2000](#), [Kung et al., 2000](#)). As enzimas comerciais utilizados na indústria de ração animal são produtos da fermentação microbiana, as quais são produzidas por um processo de fermentação em meio de cultura favorável ao seu crescimento ([Cowan, 1994](#)) provenientes de fungos (principalmente *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus niger*, *A. oryzae*) e bactérias (principalmente *Bacillus* spp.). Algumas dessas enzimas estudadas como aditivo na alimentação de ruminantes são produzidas para outros fins a exemplo das celulasas e xilanases que são usadas na indústria têxtil, de papel, petroquímica e alimentação humana. De acordo com [Beauchemin et al. \(2003\)](#) os resultados destes trabalhos, de modo geral, ainda são inconsistentes devido em parte ao processo de obtenção das enzimas, o nível e método de suplementação, bem como o nível de produtividade do animal e que a utilização destas enzimas como uma tecnologia consistente na alimentação de ruminantes ainda dependem de trabalhos futuros.

### Aspectos metodológicos

O conceito da fibra na alimentação animal, principalmente, ruminantes está diretamente relacionado com as características químicas e físicas desta fração, bem como, ao aspecto metodológico que quantifica ou determina este constituinte; pois de acordo com [Van Soest \(1994\)](#) há uma necessidade de se estabelecer *a priori*, uma definição nutricional relevante para que procedesse, então, aos esforços para obtenção de um método analítico capaz de produzir resultados válidos sobre o teor de fibra nos alimentos. Inicialmente, a fibra era analisada

pelo método proposto por Henneberg em 1864, denominado método de Weende. Este método tem como princípio a solubilização dos carboidratos contidos no alimento por tratamento sucessivo de uma solução ácida e alcali, em que, neste caso a fibra é representada pela celulose e lignina insolúvel e na solução alcali (embora se trate de um composto fenólico e não carboidrato). No entanto, a fibra não é um material uniforme nutricional, química ou fisiologicamente, assim a pectina, hemicelulose e lignina insolúvel em alcali não apresentam as mesmas características nutricionais implicando em um dos principais pontos negativos deste método ([Van Soest et al., 1991a](#)).

A fim de corrigir a limitação do método de Weende diversos estudos foram realizados posteriormente, tendo como foco, alterações nas soluções de digestão principalmente para solucionar a desvantagem da solução alcali que foi substituída por uma solução detergente capaz de solubilizar os componentes não fibrosos ([Van Soest, 1994](#)) surgiu por tanto os métodos de FDN e FDA atualmente de grande importância na nutrição de ruminantes, pois ao relacionarmos o aspecto nutricional ao metodológico veremos que a FDN corresponderá em grande parte aos carboidratos classificados como estruturais (CE), principalmente pectinas, celulose e hemicelulose ([Chase, 1993](#), [Hall, 2003](#), [Van Soest, 1994](#)), uma vez que a FDN compreende de hemicelulose, celulose e lignina com alguma contaminação de pectina, proteína e cinzas, já a FDA, por sua vez, corresponde a celulose, lignina, sílica e proteína servindo para quantificar a hemicelulose quando da sua diferença com a FDN, além disso, sequencialmente a FDA também se obtém a lignina e celulose isoladamente pelo método do permanganato ou ácido sulfúrico (Klason).

Em 2003, Hall subdividiu o total de carboidratos (CHO) presentes nas plantas nos seguintes componentes: A) carboidratos pertencentes ao conteúdo celular representados pelos ácidos orgânicos, monossacarídeos e oligossacarídeos, polímeros de natureza amilácea e frutanos; B) carboidratos estruturais ou pertencentes à parede celular vegetal que englobam as substâncias pécnicas, galactanos,  $\beta$ -glicanos, hemicelulose e celulose. Ainda, segundo [Hall \(2003\)](#), os carboidratos podem ser classificados em: CHO de natureza fibrosa e CHO não-fibrosos (CNF), sendo esta classificação associada ao método de FDN, em que, os de natureza fibrosa são aqueles

pertencentes à matriz lignificada insolúvel dos alimentos compreendidos pela celulose e hemicelulose, ou seja, CHOs insolúveis em solução de FDN e os não fibrosos estão englobados todos os demais carboidratos solúveis em solução de detergente neutro. Para este autor o termo CNF é mais bem empregado do que o termo carboidratos não estruturais. Os CNFs são constituídos de carboidratos que mesmo pertencendo à parede celular vegetal não se enquadram à definição formal de fibra para ruminantes como proposta por [Van Soest \(1994\)](#), onde a fibra é constituída por substâncias parcialmente digeríveis e que ocupam espaço no trato gastrointestinal dos animais.

Uma das principais alterações no método da FDN está na inclusão da  $\alpha$ -amilase para garantir a solubilização do amido, a fim de minimizar sua interferência e aumentar a eficiência do método ([Robertson & Van Soest, 1981](#)). Embora, haja o consenso global de que nos estudos da fibra e sua relação com a nutrição de ruminantes a fração representada pela FDN tem lugar de destaque. [Van Soest et al. \(1991b\)](#) enfatizaram sobre importância na diferenciação entre o amido, os açúcares e os polissacarídeos não amiláceos, pois estes apresentam diferenças nos padrões de fermentação ruminal, o que pode também refletir no aspecto metodológico. Além da FDN, os métodos de determinação da lignina também vêm sendo foco de estudos, pois este constituinte

apresenta correlação negativa com digestibilidade dos alimentos, em que, a lignificação da parede celular limita a digestão por vários mecanismos: o efeito tóxico aos microrganismos fibrolíticos; limitação da ação das enzimas fibrolíticas criada pela hidrofobicidade resultante da deposição dos polímeros de lignina com a maturidade da planta e impedimento físico causado pela ligação polissacarídeo-lignina o que limitaria o acesso das enzimas ([Hartley, 1972](#)). [Giger \(1985\)](#), [Giger-Reverdin et al. \(2002\)](#) em trabalhos sobre as diversas análises químicas da lignina classificou-as em duas principais categorias: métodos gravimétricos e métodos não gravimétricos. O primeiro grupo inclui o método da lignina insolúvel em solução a 72% de  $H_2SO_4$  – também conhecida por lignina ácida ou lignina “Klason” (LK) ([Van Soest, 1994](#)); oxidação da lignina pelo cloreto de sódio ([Collings et al., 1978](#)); oxidação pelo permanganato de potássio (Lper) ([Van Soest & Wine, 1968](#)); e solubilização da macromolécula em solução ácida de trietilenoglicol ([Edwards, 1973](#)). Os métodos não gravimétricos incluem aqueles por espectroscopia dos raios infravermelhos ([Norris et al., 1976](#)) e os baseados nas propriedades ópticas da lignina, tais como a técnica da lignina solúvel em brometo de acetila ([Morrison, 1972](#)). Na tabela 1, estão apresentados, de acordo com [Jung \(1997\)](#), os principais métodos utilizados no estudo da fibra para ruminantes e suas limitações:

Tabela 1. Uso e limitações dos métodos de análises da fibra e conteúdo celular de alimentos para ruminantes

Método de Análise	Fração no Alimento	Limitações do Método
Fibra Bruta	Parte da parede celular, celulose e lignina	Contaminação por polissacarídeos não-celulósicos e remoção de lignina
Fibra em Detergente Neutro (FDN)	Fração indigestível do alimento, grande parte da fração da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina)	Não solubilizar parte da pectina e a remoção da proteína e amido pode causar problemas
Fibra em Detergente Ácido (FDA)	Porção da parede celular: celulose e lignina	Parte da lignina é solubilizada
Lignina de Klason	Lignina	Contaminação por proteína e carboidratos

Um novo sistema na avaliação dos carboidratos tem sido utilizado, o CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System), o qual avalia as frações de carboidratos dos alimentos com a utilização de equações que levam em consideração a digestão e a taxa de

passagem dessas frações, ou seja, este sistema considera a dinâmica da fermentação ruminal ([Sniffen et al., 1992](#), [Russell et al., 1992](#), [Fox et al., 1992](#)). Para [Modesto et al. \(2004\)](#) o valor energético de um alimento (em que grande parte das exigências energéticas dos ruminantes são

atendidas pelos carboidratos) não depende apenas das quantidades dos diversos nutrientes em sua composição, mas sobretudo das frações desses nutrientes que o animal pode digerir e utilizar.

O sistema CNCPS desenvolvido por [Fox et al. \(1992\)](#), [Russell et al. \(1992\)](#), [Sniffen et al. \(1992\)](#) tem, basicamente, o objetivo de melhor avaliar as dietas completas, visando à minimização das perdas de nutrientes e à busca da maximização da eficiência de crescimento dos microrganismos no rúmen ([Van Soest, 1994](#)).

Os carboidratos podem ser classificados de acordo com a taxa de degradação, tal como acontece com as proteínas, sendo que a fração A (açúcar) é de alta degradação, fração B1 (amido e pectina) de média e a fração B2 (formada pela parede celular disponível) de baixa degradabilidade e a fração C que perfaz a parede celular indisponível (incluindo-se a lignina) ([Sniffen et al., 1992](#)). As frações A e B1 formam basicamente os carboidratos não estruturais (CNE), enquanto que os carboidratos estruturais (CE) formam as frações B2 e C ([Sniffen et al., 1992](#), [Russell et al., 1992](#), [Fox et al., 1992](#)). Conforme o [NRC \(2000\)](#), aproximadamente toda a fração A é degradada ao nível de rúmen, mas uma pequena quantidade pode escapar para o intestino sendo totalmente digerido nesta porção. Já a fração B1 possui uma degradabilidade ruminal variável, dependendo do nível de consumo, tipo de grão e tipo de processamento, a parte desta fração que escapa da degradação ruminal, possuindo, também, uma digestibilidade variável no intestino, dependendo do tipo de grão e tipo de processamento. A fração B2 é usada para prever a digestão ruminal da fibra e a digestibilidade intestinal, sendo que a porção que escapa do rúmen possui um valor de 20% de digestibilidade e por fim a fração C que é considerada como a fração de completa não degradabilidade no trato digestivo do animal.

A importância da determinação e da caracterização dos carboidratos ingeridos pelos ruminantes se baseia na classificação das bactérias ruminais quanto à utilização destes constituintes da parede celular vegetal e daqueles que se localizam no conteúdo celular com função não estrutural ([Russell et al., 1992](#)), sendo instrumento valioso para a formulação de rações que visem à maximização do crescimento microbiano ruminal e, conseqüentemente, à melhor predição do desempenho dos animais, notadamente em condições tropicais ([Malafaia et](#)

[al., 1998](#)). Para [Malafaia et al. \(1998\)](#) as análises de carboidratos deveriam fazer parte da rotina laboratorial, por serem simples, não onerosas, e permitirem avaliação mais correta dos alimentos, pois os dados resultantes permitem a utilização do CNCPS para melhor estimativa do desempenho animal, por proporcionarem o melhor atendimento do sincronismo da fermentação de proteínas e de carboidratos totais no rúmen.

Outro importante avanço no estudo da fibra e intimamente ligado a aspectos metodológicos em ruminantes está relacionado a características físicas da FDN. [Mertens \(1997\)](#) estabeleceu alguns conceitos e que mais recentemente têm sido foco de vários estudos, estes conceitos são FDN fisicamente efetiva (peFDN) e FDN efetiva (eFDN). A peFDN está relacionado principalmente o tamanho da partícula que estimula a atividade de mastigação e estabelece uma estratificação bifásica dos conteúdos ruminais (uma camada flutuante de grandes partículas em uma fase líquida com pequenas partículas). A mastigação é importante nutricionalmente devido a sua relação com a limitação física do consumo e a manutenção normal da fermentação no rúmen. Uma dieta rica em fibras resulta em maior tempo de ruminação o que conseqüentemente pode limitar o consumo voluntário de alimentos. Entretanto a salivação, como resultado da mastigação pode influenciar a produção de acetato um precursor da gordura do leite ([Lu et al., 2005](#)).

[Mertens \(1997\)](#) comenta que o aumento na quantidade de fibra na dieta de ruminantes estimula atividade de mastigação reduzindo a produção de substâncias ácidas, porém, quando o teor de fibra é deficiente, a mastigação é reduzida, ocasionando a uma menor secreção salivar tampão, o que reflete em um menor pH, alteração da fermentação ruminal, baixa produção de ácidos graxos voláteis, além de alterar o metabolismo dos animais e a síntese de gordura do leite. Este mesmo autor mencionou a importância de se desenvolver um novo sistema de exigência de fibra para vacas leiteiras, sugerindo que fossem envolvidas as características de cada ingrediente e também a realização de determinações quantitativas utilizando métodos laboratoriais de rotina. Esse método poderia estimar o valor de peFDN por meio de medidas físicas e químicas no laboratório, como concentração da fração FDN de determinado ingrediente e a proporção de

partículas que são retidas em uma peneira de 1,18 mm de porosidade. Este método laboratorial para estimar a peFDN foi estabelecido com base em três suposições: 1 – que o teor da fração FDN é uniformemente distribuído em todas as partículas do ingrediente; 2 – que a atividade de mastigação é igual para todas as partículas retidas em uma peneira de 1,18 mm de porosidade; 3 – a facilidade em reduzir o tamanho de partícula do ingrediente não é diferente entre fontes da fração FDN. O autor sugere que as dietas de vacas leiteiras deve conter 22,3% de FDNfe para garantir um atividade de mastigação de 150 min/kg de FDNfe para manter a função ruminal ideal (Mertens, 1997). Já o eFDN está relacionado ao somatório total da habilidade de um alimento repor a forragem ou fibra numa ração para que a porcentagem de gordura no leite produzida por vacas comendo um tipo de ração seja efetivamente mantida, e seu monitoramento pode ser realizado pela análise química do percentual de gordura no leite. As dietas com menos de 25% de FDN e 19% de FDN efetiva deprimem a porcentagem de gordura no leite de vacas. No balanceamento de rações para caprinos, principalmente, cabras leiteiras, se utiliza também desses estudos para a recomendação da quantidade mínima de FDN que deverá conter a ração. A FDNpe vai ser sempre ser menor que a FDN, no entanto, a eFDN pode ser menor ou maior que a concentração de FDN em um alimento como apresentado na figura 1 (Mertens, 2001)

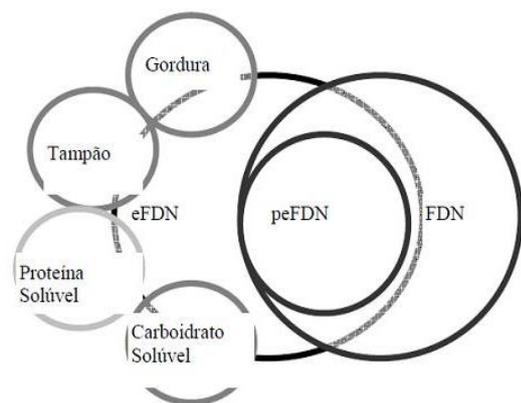


Figura 1. Ilustração das relações entre FDN, FDN fisicamente efetivo, e FDN efetivo (Mertens, 2001).

Yang & Beauchemin (2007) relatam que com o aumento na relação volumoso concentrado provoca um aumento no número de mastigações e o tempo de ruminação em dietas com alto percentual de volumosos, devido ao aumento do FDN consumido. Os autores testaram dois tamanhos de partículas para FDNfe 8,0 e 1,18 %

da MS, e eles observaram uma redução no tempo de mastigação com o aumento da FDNfe 8,0. A ingestão de FDNfe foi aumentada pelo aumento da proporção de forragem na dieta, aumentando a ingestão de FDNfe devido ao maior teor de FDN da dieta, indicando que o comprimento de corte da silagem pode ser tão importante quanto a proporção de forragem FDNfe ingerida. Estes resultados sugerem que a fibra fisicamente efetiva é um melhor indicador da atividade mastigatória do que o comprimento das partículas ou do FDN.

### Aspectos funcionais: a fibra e a qualidade de produtos em ruminantes

A formulação de dietas com adequados níveis de energia para atender às altas produções normalmente resulta em rações com altos níveis de grãos em detrimento à fibra, mas como mencionado anteriormente níveis mínimos deste constituinte representado pela FDN são exigidos em dietas para ruminantes. Os carboidratos estruturais devido a sua forma longa contribuem para uma maior estabilidade na fermentação ruminal. No entanto, carboidratos não estruturais, em especial aqueles facilmente degradáveis, podem ter influência negativa no ambiente do rúmen, resultando em modificações na composição do leite. Rações com alto teor de concentrados ricos em amido são relacionadas com alta produção de ácido propiônico e baixa produção de ácido acético no ambiente ruminal (Rocha Filho *et al.*, 1999). Formulação de dietas com base na fibra em detergente neutro (FDN) tem sido recomendada devido a relação positiva entre a fibra e o enchimento ruminal, bem como a relação negativa entre a densidade energética do alimento. A fim de se manter a função ruminal estável evitando uma queda no teor de gordura do leite (Branco *et al.*, 2011). A produção de leite parece ser um fator determinante da capacidade do rúmen, sendo responsável por 76% da variação total de enchimento. O limite físico do rúmen é elástico, tornando-se maior com a deficiência no atendimento das necessidades metabólicas (Tamminga *et al.*, 1990).

A produção de leite é o maior drenó metabólico das vacas em lactação e representa a sua capacidade em utilizar a energia (Tamminga *et al.*, 1990). Baseados em vários estudos com vacas alimentadas com dietas contendo alfafa e concentrado verificou-se que dietas com 25% de fibra em detergente neutro (FDN) e 19% de fibra em detergente neutro proveniente de forragens

resultam na similaridade de produção e composição ao leite de vacas alimentadas com altas concentrações de FDN ([Mertens, 1997](#)).

Os ácidos acéticos e butíricos são os principais precursores da gordura na glândula mamária. A maior disponibilidade de ácido acético e um melhor ambiente ruminal obtidos com a inclusão da polpa cítrica em substituição ao milho nas dietas de bovinos leiteiros, propiciam condições para elevação do teor de gordura do leite e produção de leite corrigida para gordura. [Scoton \(2003\)](#) trabalhando com substituição do milho moído com a polpa cítrica na dieta de vacas leiteiras observou que a substituição do milho e farelo de trigo por até 40% de polpa cítrica não afetou significativamente o balanço de ácidos graxos voláteis no rúmen, sendo que a concentração ruminal de ácido acético aumentou as proporções de ácidos propiônico e butírico diminuíram à medida que se aumentou a proporção de polpa cítrica na dieta. A polpa cítrica pode ser incluída em níveis elevados na dieta de bovinos leiteiros sem ocasionar problemas relacionados à fermentação e produção de leite.

[Mertens \(1994\)](#) sugere que uma dieta que possua 35% de FDN é capaz de estimular o máximo consumo de MS e fibra para vacas em lactação produzindo entre 25 a 30 litros de leite. O [NRC \(2001\)](#) verifica-se que na dieta deve constar entre 25 a 33% de FDN, dependendo da proporção de FDN oriunda da forragem ([Branco et al., 2011](#)). [Jobim et al. \(2011\)](#) em um estudo avaliando o desempenho de vacas em lactação recebendo diferentes volumosos (feno de alfafa, feno de tifton 85, silagem de milho) não constatou diferença para a produção de leite. A silagem de milho mostrou-se mais eficiente em relação à transformação de MS em leite. As vacas alimentadas com silagem de milho produziram 8,7% e 7,9% mais leite, por kg de MS ingerida, em relação àquelas alimentadas com feno de alfafa e feno de Tifton-85, respectivamente.

A gordura no leite é uma das respostas fisiológicas relacionadas à FDN da ração, mas, quando estudada sozinha, pode confundir efeitos físicos da FDN como mastigação, salivagem e tamponamento ruminal, com efeitos metabólicos causados por diferenças na composição química da ração. [Carvalho et al. \(2006\)](#) avaliando o desempenho produtivo de cabras leiteiras, enfatizaram que a dieta elaborada para conter 27% de FDN oriunda da forragem de boa

qualidade foi a que proporcionou a maior produção de leite corrigido para 3,5% de gordura. [Araujo et al. \(2008\)](#) trabalhando com ovelhas que consumiam dietas em que o feno de coast cross foi substituído por casca de soja, verificaram, nos picos de produção resultados de 1,28; 1,5; 1,79 e 1,72 kg de leite/dia para dietas com 0; 29,7; 62,0 e 97,3% de FDN não forragem, respectivamente.

A alimentação com carboidratos fermentáveis promove um pequeno aumento no teor de proteína do leite devido à maior produção de propionato no rúmen. O ácido propiônico é utilizado na biossíntese de glicose e galactose para a obtenção da lactose, sendo esta, a maior reguladora da osmolaridade do leite sintetizado pela glândula mamária, influenciando assim, a quantidade de leite secretada ([Rogers & Davis, 1982](#)). [Ipharraguerre & Clark \(2003\)](#) citam que com a substituição do milho grão por casca de soja em quantidades superiores a 25% da MS da dieta podem prejudicar a produção de proteína do leite, devido à menor ingestão de carboidratos não estruturais e aumento na ingestão de carboidratos fibrosos.

A fibra na dieta de animais confinados e destinados ao abate geralmente é reduzida, pois esses são alimentados com dietas com alto teor de concentrados e por um curto período de tempo. Embora dietas com até 100% de concentrado tenham sido utilizadas com sucesso para bovinos e ovinos de corte, a adição de uma fonte de fibra na proporção de 5 a 20% da MS da dieta faz com que ocorra uma melhoria no desempenho animal ([Cardoso et al., 2006](#)).

A energia é um importante parâmetro que determina a produtividade animal, no entanto, o valor energético das dietas pode ser reduzido a medida que ocorre aumento do nível de fibra, o que para animais ruminantes confinados provoca redução do ganho médio diário, na eficiência e conversão alimentar, elevando o número de dias para alcançar o peso de abate. [Cardoso et al. \(2006\)](#) trabalhando com cordeiros cruzamento Ile de France x Texel terminados em confinamento, recebendo dietas com 25, 31, 37 e 43% de FDN observou que o aumento do teor de fibra na ração promoveu uma diminuição nos pesos e rendimento de carcaça quente e fria. [Pires et al. \(2006\)](#) trabalhando com cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro também verificaram que a composição regional da carcaça e a composição tecidual da perna dos cordeiros não foram

influenciadas pelo aumento do teor de FDN das dietas. No entanto, [Silva et al. \(2011\)](#) estudando a inclusão do bagaço de caju, com teor de 81,8% de FDN na MS, na dieta de cordeiros e seu efeito no desempenho e características de carcaça encontraram consumo médio de 3,2% de peso vivo e ganho de peso médio diário de 117,5 g/dia, não encontrando diferença quando comprados aos animais que recebiam silagem de sorgo, mas os animais alimentados com o bagaço de caju obtiveram maior peso e rendimento de carcaça (quente e fria), bem como uma melhor conversão alimentar e mais rápida deposição de gordura.

### Considerações Finais

A fibra é um constituinte indispensável no manejo nutricional dos ruminantes, estando diretamente envolvida no metabolismo energético e na saúde dos animais, pela atuação direta na manutenção do ambiente ruminal. Pesquisas atuais ainda são necessárias para verificar a eficiência de utilização de enzimas exógenas na alimentação de ruminantes e para adequação dos métodos analíticos de determinação dessa fração, relacionado-os com os aspectos físicos e químicos da fibra ao seu efeito no desempenho animal.

### Referências Bibliográficas

- Araujo, R. C., Pires, A. V., Susin, I., Mendes, C. Q., Rodrigues, G. H., Packer, I. U. & Eastridge, M. L. (2008). Milk yield, milk composition, eating behavior, and lamb performance of ewes fed diets containing soybean hulls replacing coastcross (species) hay. *Journal of Animal Science*, 86, 3511-3521.
- Arroquy, J. I., Cochran, R. C., Villarreal, M., Wickersham, T. A., Llewellyn, D. A., Titgemeyer, E. C., Nagaraja, T. G., Johnson, D. E. & Gnad, D. (2004). Effect of level of rumen degradable protein and type of supplemental non-fiber carbohydrate on intake and digestion of low-quality grass hay by beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 115, 83-99.
- Beauchemin, K. A., Colombatto, D., Morgavi, D. P. & Yang, W. Z. (2003). Use of exogenous fibrolytic enzymes to improve feed utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 81, E37-E47.
- Beauchemin, K. A., Rode, L. M., Maekawa, M., Morgavi, D. P. & Kampen, R. (2000). Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science*, 83, 543-553.
- Branco, R. H., Rodrigues, M. T., Rodrigues, C., Silva, M., Leão, M. I. & Pereira, V. V. (2010). Efeito dos níveis de fibra em detergente neutro oriunda da forragem sobre a eficiência microbiana e os parâmetros digestivos em cabras leiteiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 372-381.
- Branco, R. H., Rodrigues, M. T., Silva, M., Rodrigues, C., Queiroz, A. & Araújo, F. (2011). Desempenho de cabras em lactação alimentadas com dietas com diferentes níveis de fibra oriundas de forragem com maturidade avançada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1061-1071.
- Calsamiglia, S. (1997). Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. *XIII Curso de Especialización FEDN*. Madrid.
- Cardoso, A. R., Pires, C. C., Carvalho, S., Galvani, D. B., Jochims, H. M. & Wommer, T. P. (2006). Consumo de nutrientes e desempenho de cordeiros alimentados com dietas que contêm diferentes níveis de fibra em detergente neutro. *Ciência Rural*, 36.
- Carvalho, S., Rodrigues, M. T., Branco, R. H. & Rodrigues, C. A. F. (2006). Consumo de nutrientes, produção e composição do leite de cabras da raça Alpina alimentadas com dietas contendo diferentes teores de fibra. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1154-1161.
- Chase, L. (1993). Starch digestion in the dairy cow: what are the limits? *Proceedings (USA)*, 1, 90-98.
- Chesson, A. & Forsberg, C. W. (1997). Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. *The rumen microbial ecosystem*. Springer.
- Collings, G. F., Yokoyama, M. T. & Bergen, W. G. (1978). Lignin as determined by oxidation with sodium chlorite and a comparison with permanganate lignin. *Journal of Dairy Science*, 61, 1156-1160.
- Cowan, W. D. (1994). Factors affecting the manufacture, distribution, application and overall quality of enzymes in poultry feeds. *Joint Proc. 2nd Int. Roundtable on Anim. Feed Biotechnol.—Probiotics, and Workshop on Anim. Feed Enzymes*. Ottawa.

- Edwards C. S. (1973). Determination of lignin and cellulose in forages by extraction with triethylene glycol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 24, 381-388.
- El-Shazly, K., Dehority, B. A. & Johnson, R. R. (1961). Effect of starch on the digestion of cellulose in vitro and in vivo by rumen microorganisms. *Journal of Animal Science*, 20, 268-273.
- Fonty, G., Jouany, J., Forano, E. & Gouet, P. (1995). L'écosystème microbien du réticulo-rumen. *Nutrition des Ruminants Domestiques*, 8, 299-347.
- Fox, D. G., Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Russell, J. B. & Van Soest, P. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *Journal of Animal Science*, 70, 3578-96.
- García, H. G., Rodríguez, A. A., Bejarano, J. C. E., SanMiguel, E. G., Licón, C. H. & Sánchez-Verín, C. V. (2007). Efecto de la suplementación con alfalfa sobre la concentración de ácidos grasos volátiles y el pH en el rumen de novillos alimentados con una dieta basal de paja de trigo. *Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*, 4, 11-19.
- Giger-Reverdin, S., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., Martin, O., Prado, I. N. & Müller, R. (2002). Intrinsic buffering capacity of feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 96, 83-102.
- Giger, S. (1985). Revue sur les méthodes de dosage de la lignine utilisées en alimentation animale. *Animals Zootechnie*, 34, 85-122.
- Guillon, F. & Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33, 233-245.
- Hall, M. B. (2003). Challenges with nonfiber carbohydrate methods. *Journal of Animal Science*, 81, 3226-3232.
- Hartley, R. D. (1972). p-Coumaric and ferulic acid components of cell walls of ryegrass and their relationships with lignin and digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23, 1347-1354.
- Ipharraguerre, I. R. & Clark, J. H. (2003). Soyhulls as an alternative feed for lactating dairy cows: a review. *Journal of Dairy Science*, 86, 1052-1073.
- Jobim, C. C., Ferreira, G. A., Bumbieris Júnior, V. H., Calixto Jr, M. & Santos, G. T. (2011). Cinética de degradação ruminal dos fenos de alfafa e tifton-85 e da silagem de milho. *Semina: Ciências Agrárias*, 32, 747-758.
- Jung, H. J. G. (1997). Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. *The Journal of Nutrition*, 127, 810S-813S.
- Kalmokoff, M., Bartlett, F. & Teather, R. (1996). Are ruminal bacteria armed with bacteriocins? *Journal of Dairy Science*, 79, 2297-2306.
- Kamra, D. N. (2005). Rumen microbial ecosystem. *Current Science*, 89, 124-135.
- Kozloski, G., Trevisan, L., Bonnacarrère, L., Härter, C., Fiorentini, G., Galvani, D. & Pires, C. (2006). Níveis de fibra em detergente neutro na dieta de cordeiros: consumo, digestibilidade e fermentação ruminal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58, 893-900.
- Kung, L., Treacher, R., Nauman, G., Smagala, A., Endres, K. & Cohen, M. (2000). The effect of treating forages with fibrolytic enzymes on its nutritive value and lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83, 115-122.
- Lu, C. D., Kawas, J. R. & Mahgoub, O. G. (2005). Fibre digestion and utilization in goats. *Small Ruminant Research*, 60, 45-52.
- Macedo Júnior, G. L., Zanine, A. M., Borges, I. & Pérez, J. R. O. (2007). Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. *Ciência Animal*, 17, 7-17.
- Malafaia, P. A. M., Valadares Filho, S. C., Vieira, R. A. M., Silva, J. F. C. & Pereira, J. C. (1998). Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 27, 790-796.
- Martins, A. S., Vieira, P. F., Berchielli, T. T., Prado, I. N., Canesin, R. C. & Setti, M. C. (2006). Taxa de passagem e parâmetros ruminais em bovinos suplementados com enzimas fibrolíticas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 1186-1193.
- 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, 2001. p.25-36.
- Mertens, D. R. (1994). Regulation of Forage Intake. In: Fahey, J. R. (ed.) *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 1463-1481.
- Mertens, D. R. & Loften, J. R. (1980). The effect of starch on forage fiber digestion kinetics in vitro. *Journal of Dairy Science*, 63, 1437-1446.
- Modesto, E. C., Santos, G., Vilela, D., Silva, D., Faustino, J., Jobim, C., Detmann, E., Zambom, M. & Marues, J. (2004). Caracterização químico-bromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26, 137-146.
- Morrison, I. M. (1972). Improvements in the acetyl bromide technique to determine lignin and digestibility and its application to legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Chichester, 23, 1463-1469.
- Mould, F., Ørskov, E. & Mann, S. (1983). Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10, 15-30.
- Norris, K. H., Barnes, R. F., Moore, J.E. & Shenk, J.S. (1976). Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. *Journal Animal Science*, 43, 889-897.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 7th rev. edn. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th rev. edn. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Pires, C. C., Galvani, D. B., Carvalho, S., Cardoso, A. R. & Gasperin, B. G. (2006). Características da carcaça de cordeiros alimentados com dietas contendo diferentes níveis de fibra em detergente neutro. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, 2058-2065.
- Piwonka, E. & Firkins, J. (1996). Effect of glucose fermentation on fiber digestion by ruminal microorganisms *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 79, 2196-2206.
- Robertson, J. B. & Van Soest, P. J. (1981). The detergent system of analysis and its application to human foods. *The analysis of dietary fiber in food*, 3, 123.
- Rogers, J. & Davis, C. (1982). Rumen volatile fatty acid production and nutrient utilization in steers fed a diet supplemented with sodium bicarbonate and monensin. *Journal of Dairy Science*, 65, 944-952.
- Russell, J. B. & Baldwin, R. (1978). Substrate preferences in rumen bacteria: evidence of catabolite regulatory mechanisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 36, 319-329.
- Russell, J. B., O'connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J. & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70, 3551-3561.
- Scoton, R. A. (2003). Substituição do milho moído fino por polpa cítrica peletizada e/ou raspa de mandioca na dieta de vacas leiteiras em final de lactação. *Departamento de Ciência Animal*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Silva, L., Oliveira, C., Rodrigues, F., Rodrigues, M., Beserra, F., Silva, A., Lemos, J., Fernandes, A. & Rondina, D. (2011). Desempenho e características da carcaça de cordeiros alimentados com bagaço de caju. *Archivos de Zootecnia*, 60, 777-786.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G. & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70, 3562-77.
- Stewart, C., Flint, H. & Bryant, M. (1997). The rumen bacteria. In: Hobson, P. N. & Stewart, C. S. (eds.) *The rumen microbial ecosystem*. Blackie Academic and Professional.
- Tamminga, S., Van Vuuren, A., Van der Koelen, C., Ketelaar, R. & van der Togt, P. (1990). Ruminal behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate

- ingredients in dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 38, 513-526.
- Tomme, P., Warren, R. & Gilkes, N. (1995). Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi. *Advances in Microbial Physiology*, 37, 1-81.
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. (1991a). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. (1991b). Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597.
- Varga, G., Dann, H. & Ishler, V. (1998). The use of fiber concentrations for ration formulation. *Journal of Dairy Science*, 81, 3063-3074.
- Weimer, P. J. (1996). Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? *Journal of Dairy Science*, 79, 1496-1502.
- Yang, W. & Beauchemin, K. (2007). Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science*, 90, 2826-2838.

Recebido em Março 20, 2016

Aceito em Abril 18, 2016

**License information:** This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited