

Importância da fibra alimentar na nutrição de animais não ruminantes

Importance of dietary fiber in non-ruminant animal nutrition

Fernanda Rodrigues Goulart¹, Taida Juliana Adorian², Patrícia Inês Mombach³ e Leila Picolli da Silva⁴

RESUMO

Por muito tempo, a fibra da dieta representou a porção inerte do alimento em razão do seu baixo teor de energia. Além disso, essa fração também foi considerada como nutriente indesejável na dieta de monogástricos, em razão, principalmente, dos efeitos negativos de sua presença, como seu efeito diluidor de energia. Porém, esses efeitos podem estar relacionados à quantificação errônea dessa fração. Quando as fibras são determinadas de forma correta e adicionadas em quantidades adequadas, os efeitos deste nutriente trazem vários benefícios aos animais. As fibras alimentares são formadas por polissacarídeos não amiláceos, dentre os quais podemos destacar a celulose, hemicelulose, pectinas, gomas, mucilagens, β -glicanas, entre outras. Frações essas que vêm recebendo grande atenção, devido às suas propriedades prebióticas. A principal ação prebiótica ocorre pela ativação do metabolismo de um grupo de bactérias benéficas do trato gastrointestinal, promovendo aumento na produção de ácidos graxos de cadeia curta e do número de vilos no íleo, o que permite aumento na área absorptiva intestinal e conseqüentemente melhora no desempenho animal.

Palavras-chave: Polissacarídeos não amiláceos. Promotor de crescimento. Prebióticos. Ácidos graxos de cadeia curta.

ABSTRACT

For a long time the dietary fiber represented the inert portion of food because of their low energy content. In addition, this fraction was also considered undesirable nutrients in monogastric diet, due mainly to the negative effects of their presence, as its dilutive effect of energy. However, these effects may be related to erroneous quantification of that fraction. When correctly determined and added in suitable amounts, the effects of this nutrient bring several benefits to the animals. Dietary fibers are formed by non-starch polysaccharides, among which we can highlight the cellulose, hemicellulose, pectins, gums, mucilages, β -glucans, among others. Fractions that has received much attention due to their prebiotic properties. The main prebiotic action occurs by activating the metabolism of a group of beneficial bacteria in the gastrointestinal tract, promoting an increase in the production of short chain fatty acids and number of villi in ileum allowing increase in area absorptive intestinal and therefore improve animal performance.

Keywords: Non-starch polysaccharides. Growth promoter. Prebiotics. Short chain fatty acids.

1 fegoulart13@yahoo.com.br - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria

2 taidajuliana@yahoo.com.br - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria

3 patimombach@hotmail.com - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria

4 leilasliva@yahoo.com.br - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria

1. Introdução

Historicamente, a importância da correta quantificação da fração de fibra dos alimentos e de seus efeitos digestivos e metabólicos vem sendo relegada a segundo plano na nutrição de animais não ruminantes. A maioria das abordagens quanto a essa fração ressaltam os aspectos negativos de sua presença na dieta de monogástricos. Porém, este quadro poderá ser totalmente reconsiderado se as abordagens forem estudadas de forma mais detalhada, a começar pela sua correta quantificação e qualificação na dieta, considerando aspectos de solubilidade e características físico-químicas. Com essa abordagem, os aspectos benéficos de seu uso poderão ser melhor visualizados, auxiliando no uso direcionado para melhoria de aspectos nutricionais, bem como, auxiliando no entendimento de efeitos conflitantes quanto à aplicação de agentes prebióticos nas rações de monogástricos.

A evolução científica sobre exigências de nutrientes e a possibilidade de quantificá-los pelas mais diversas metodologias analíticas fez com que a nutrição animal se tornasse fator preponderante na maximização de produtividade das distintas espécies zootécnicas. Nas últimas décadas, centenas de informativos científicos contribuíram efetivamente para que fossem atendidas demandas vitamínicas, minerais, aminoácidas e lipídicas, bem como vários aditivos foram incorporados às dietas a fim de melhorar as características de fabricação, conservabilidade e eficiência biológica. Porém, os carboidratos, moléculas que representam os grupamentos químicos de maior abundância nas dietas de não ruminantes, ainda são insuficientemente abordadas, principalmente quando se referem a carboidratos fibrosos.

Sabe-se que, desde seu processo de síntese e distribuição nos distintos órgãos da planta, passando pela ampla variabilidade molecular, aliada às transformações que podem ocorrer durante o processamento das rações, ocorrem transformações que influem decisivamente para seu aproveitamento como fonte energética, prebiótica ou promotora de fluxo intestinal. Essa constatação motiva a apresentação de uma revisão bibliográfica a fim de melhor entender aspectos relevantes da presença desse tipo de substâncias nas dietas de animais não ruminantes.

2. Histórico, definição e classificação da fibra alimentar

A fibra alimentar começou a ser estudada em meados de 1885, quando era considerada apenas como um componente alimentar sem valor nutritivo, que favorecia o peristaltismo no trato digestivo de humanos, aumentando assim o bolo fecal (POURCHET-CAMPOS, 1990). No entanto, mais recentemente, trabalhos vêm demonstrando a importância da fibra, tanto na nutrição humana como animal.

Primeiramente, Trowell (1974) definiu o conceito de fibra alimentar em base fisiológica como “o remanescente das células vegetais resistentes à digestão pelas enzimas digestivas do homem”. Logo em seguida, Trowell (1976) concluiu que essa definição não era adequada, pois excluía polissacarídeos adicionados à dieta, como os aditivos alimentares (ex.: gomas, celulose modificada). Sendo assim, expandiu o conceito da fibra e passou a defini-la como “polissacarídeos das plantas e lignina, que são resistentes à hidrólise pelas enzimas digestivas do homem”. Porém, atualmente, há diversas definições para a fibra alimentar.

A fibra tem sua origem principalmente da parede celular dos vegetais, estrutura bifásica (BACK KNUDSEN, 2001), formada por um conjunto altamente heterogêneo (MORGADO e GALZERENO, 2009). Essa fração consiste de uma mistura complexa de polímeros de carboidratos (polissacarídeos não amiláceos e oligossacarídeos) associados com outros componentes (Tabela 1). São resistentes à digestão enzimática no trato gastrointestinal de humanos e animais, e como resultado, chegam até o cólon intactos, servindo como substrato para fermentação bacteriana (VAN SOEST et al., 1991; BACH KNUDSEN, 2001; MONTAGNE et al., 2003; THEUWISSEN e MENSINK, 2008).

Tabela 1. Classificação de carboidratos que não são digeridos por enzimas endógenas de não ruminantes

Categoria	Resíduos monoméricos	Fontes
Polissacarídeos (Fibra alimentar)		
Amido resistente		
Amido fisicamente inacessível	Glicose	Grãos e sementes parcialmente moídos
Grânulos de amido resistente	Glicose	Batata crua, banana
Amido retrogradado	Glicose	Produtos amiláceos termicamente tratados
Polissacarídeos não amiláceos (PNA)		
Celulose	Glicose	Cereais e leguminosas
β -glicana	Glicose	Aveia, cevada e arroz
Arabinoxilanas	Arabinose, Xilose	Centeio, trigo, cevada
Arabinogalactanas	Galactose, arabinose	Co-produtos de cereais
Xiloglicanas	Xilose, glicose	Farelos de cereais
Ramnogalacturanas	Ácido urônico, rhamnose	Casca de ervilha
Galactanas	Galactose	Farelo de soja, polpa de beterraba
Frutanas	Frutose	Arroz
Mananas	Manose	Torta de coco,
Pectina	Ác. urônico, rhamnose	Maçã, polpa cítrica
Galactomananas	Galactose, manose	Goma guar
Oligossacarídeos		
Galactooligossacarídeos	Galactose, glicose, frutose	Farelo de soja, ervilha, farelo de canola
Frutooligossacarídeos	Frutose, glicose	Cereais, aditivos alimentares,
Transgalactooligossacarídeos	Galactose, glicose	Aditivo alimentar, produtos lácteos

Fonte: Montagne et al. (2003)

Cada tipo de fibra alimentar é classificado através dos seus resíduos de açúcar e a natureza de ligações entre eles (DAVIDSON e MCDONALD, 1998). Dividindo-se em duas frações em função de seu efeito fisiológico ou solubilidade em água: fibra insolúvel e fibra solúvel. As plantas geralmente contêm uma mistura de ambas as frações, em uma taxa que varia conforme o tipo e estágio de maturação (MONTAGNE et al., 2003). A fração insolúvel é formada por celulose, hemicelulose insolúvel e lignina. Já a fibra solúvel inclui pectinas, gomas, mucilagens e alguns tipos de hemiceluloses e polissacarídeos de reserva da planta (THEUWISSEN e MENSINK, 2008; MORGADO E GALZERANO, 2009). Essa fração tem como característica positiva regular a digestão e absorção intestinal na dieta de animais, retardando o esvaziamento gástrico e a absorção de glicose, além de reduzir o colesterol no sangue de monogástricos. Já a fração insolúvel apresenta como particularidades aumentar o bolo alimentar, diluindo os nutrientes e acelerando o trânsito gastrintestinal (GUTKOSKI e TROMBETA, 1999).

3. Métodos para determinação da fibra alimentar

Várias propostas analíticas são encontradas para determinação da fibra alimentar dos alimentos, elas dividem-se em três grandes grupos que serão abordados abaixo, sendo eles: gravimétricos, enzimático-gravimétricos e enzimático-químicos.

Métodos gravimétricos: Esse grupo inclui quatro principais métodos. O método de Weende é o método gravimétrico mais antigo de determinação de fibra bruta. Nesse procedimento, há degradação de toda fibra solúvel e quantidade significativa de fibra insolúvel, consistindo na digestão ácida e alcalina da amostra (WILLIAMS; OLMSTED, 1935). O método Henneberg é semelhante ao de Weende, com digestão ácida e alcalina, porém é realizada uma filtração entre as duas etapas (HENNEBERG, 1859). Já o método de Van Soest (VAN SOEST, 1967), também denominado como método de fibra detergente neutra (FDN), considera que a fibra pode ser quantitativa e especificamente separada dos outros componentes do alimento por ebulição com solução detergente em pH neutro. Nesse método, as fibras insolúveis são separadas por filtração e as fibras solúveis são perdidas durante o processamento e descartadas. E, para finalizar, tem-se o método de Goering e Van Soest (1970), denominado de fibra detergente ácido (FDA), no qual a fibra é separada por solução detergente em pH ácido.

Métodos enzimático-gravimétricos: Compreende uma diversidade de métodos, entre eles o Método da fibra detergente neutro enzimática (FDN enzimático), que é baseado no método proposto por Van Soest (1967), com modificações que incluem uma etapa de digestão enzimática após a etapa de filtração, há diversas variações de procedimento para esse método, propostas por uma grande diversidade de autores. Método da fibra detergente ácido (FDA) enzimático, que se baseia na utilização do resíduo obtido no método FDN enzimático, ao qual é adicionada solução detergente ácido (FREITAS, et al., 2011). Métodos de determinação de lignina e celulose, pentose, até chegar ao método de fibra alimentar total, adotado pela AOAC International em 2005. Esse método é considerado o mais completo, pois considera também alguns polissacarídeos solúveis, os quais se perdem na análise de fibra em detergente neutro. Ele consiste na digestão enzimática, seguida de precipitação etanólica da fibra solúvel e correção do resíduo resultante para cinzas e proteína (ELLEUCH et al, 2011).

Métodos enzimático-químicos: Consistem na separação dos componentes da fibra, por intermédio da hidrólise dos polímeros, seguida da determinação de seus resíduos por Espectrofotometria ou Cromatografia. Existe uma variedade muito grande de métodos, sendo que os principais serão comentados abaixo. O método Uppsala (THEANDER, 1989) de determinação de fibra alimentar total usa a caracterização dos seus açúcares constituintes por cromatografia gasosa. O teor de fibra equivale à soma de açúcares neutros, ácidos urônicos, amido resistente e lignina. O método de Englyst (ENGLYST; CUMMINGS, 1984) baseia-se na definição proposta pelos autores de que a fibra alimentar seja definida como polissacarídeos não amido (NSP) do trato digestivo de humanos. Com esse método, podem-se obter valores de NSP total, solúvel e insolúvel, assim como o conteúdo de celulose, ácidos urônicos e açúcares neutros, proporcionando informação sobre a composição química da fibra. Além desses, a fibra ainda pode ser determinada pelo Método colorimétrico rápido de NSP total (ENGLYST; CUMMINGS, 1984; ENGLYST et al., 1992), Método do NSP solúvel e insolúvel (ENGLYST; CUMMINGS, 1984; ENGLYST et al., 1992), Método Southgate (1969, 1981), Método de Selvendran e Du Pont (1980), Método de Theander e Aman (1982), Método de Theander e Westerlund (1986), entre outros.

4. Efeito prebiótico da fibra alimentar

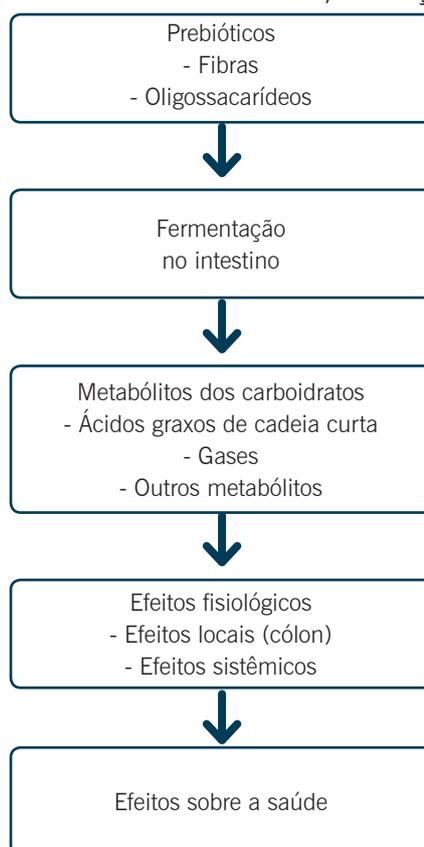
Por muitos anos, a fibra alimentar foi considerada como um nutriente indesejável na dieta de monogástricos, sendo relatados principalmente os efeitos negativos de sua presença, como seu efeito diluidor de energia. Porém, esses efeitos podem estar relacionados à quantificação errônea dessa fração, uma vez que algumas metodologias subestimam a quantidade real de fibra alimentar presente nos alimentos, por consequência a quantidade realmente adicionada às dietas são extre-

mamente altas. Quando determinadas de forma correta e adicionadas em quantidades adequadas, os efeitos desse nutriente trazem vários benefícios aos animais. Adorian et al. (2015) questionaram o efeito da fibra alimentar em dietas para peixes, constatando que essa fração pode melhorar o desempenho animal, atuando como promotor de crescimento. Da mesma forma, Goulart et al. (2015) demonstraram que diferentes concentrados de fibra alimentar suplementados a dietas de jundiás (*Rhamdia quelen*) proporcionam efeito semelhante ao proporcionado pela utilização de prebióticos comerciais.

Sabe-se que a composição das dietas possui grande influência sobre a saúde do intestino dos animais, incluindo efeitos sobre a proliferação de bactérias benéficas e patogênicas. Nesse caso, a fibra alimentar é o componente da dieta com maior importância nesse aspecto (MONTAGNE et al., 2003), uma vez que seu consumo traz vários efeitos benéficos que podem ser comparados àqueles proporcionados pelos prebióticos comerciais usualmente adicionados a dietas de suínos, aves e peixes.

No cólon, as fibras solúveis são fermentadas por bactérias intestinais, contribuindo com a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), predominantemente acetato, propionato e butirato, além de H_2O e vários gases, como CO_2 , H_2 , CH_4 . Cerca de 95% dos AGCC produzidos no cólon são rapidamente absorvidos pelo lúmen intestinal antes de chegar ao reto, contribuindo com a saúde do animal (MONTAGNE et al., 2003) (Figura 1).

Figura 1 - Reações de prebióticos com a microbiota intestinal, em relação a seus efeitos sobre a saúde.



Fonte: Adaptado de Puupponen-Pimiä et al. (2002).

Os AGCC atuam como fonte de energia para a mucosa intestinal, além de protegerem os animais contra várias doenças, bem como, diarreias e inflamações intestinais (FOOD INGREDIENTS BRA-

SIL, 2008). Cada AGCC possui funções específicas no organismo, o propionato tem como função reduzir o pH no colón, manter o equilíbrio da microflora intestinal, estimular a absorção de sódio e água e, além disso, é transformado em glicose no fígado; o butirato aumenta o fluxo sanguíneo e a produção de muco, estimula a proliferação celular epitelial e é a principal fonte de energia para os colonócitos; e o acetato serve como fonte de energia para o tecido muscular e estimula a produção de secreção pancreática e outros hormônios (DAVIDSON, 1998; CATALANI et al., 2003; MONTAGNE et al., 2003).

Em meio ácido, os AGCC são capazes de impedir o desenvolvimento de algumas bactérias patogênicas no intestino, como, *Salmonella*, *Clostridium*, *Escherichia coli* e *Clostridium difficile* (MONTAGNE et al., 2003). Outro efeito benéfico é a promoção de melhorias da morfologia do intestino, pois geram aumento da área de absorção e renovação de células epiteliais, atuando também como imunestimulantes. Assim, a manipulação das dietas visando à utilização de quantidades equilibradas de fibra alimentar pode proporcionar tais efeitos, sem a necessidade da suplementação de aditivos que agem nesse sentido.

5. Frações de fibra que exercem efeito prebiótico

Os ingredientes usualmente utilizados na formulação das dietas para monogástricos contêm fibra alimentar em sua constituição, porém o que determina os efeitos causados pelo consumo destes são sua origem, composição, estrutura química e propriedades físico-químicas. Além disso, algumas frações de fibra específicas podem ser isoladas e suplementadas às dietas, mas nem sempre seus efeitos são claros ou equivalentes à mesma quantidade dessa fração, fornecida via ingrediente natural. As frações de fibra mais utilizadas e estudadas para animais monogástricos são abordadas abaixo.

β-glicana: é uma fração fibrosa encontrada em cereais, leveduras, bactérias, algas e cogumelos (THEUWISSEN e MENSINK, 2008). Constitui-se de um esqueleto linear central de unidades de glicose, comumente formada por dois tipos de β -glicanas (β -1,3 e β -1,4), porém, em ingredientes como levedura, são encontradas ligações do tipo β -1,6 glicana ao invés de β -1,4 (FLEURI e SATO, 2005). A inclusão de β -glicana na dieta está associada com a redução de colesterol do plasma e melhor controle pós-prandial dos níveis de glicose no soro (SINHA et al., 2011). Além disso, é considerada como potente imunestimulante para mamíferos e peixes. Para os últimos, a β -glicana pode ativar macrófagos, aumentando sua capacidade de matar patógenos, além de ter efeito protetor contra uma grande variedade de bactérias patogênicas como *Aeromonas Hydrophila*, *Edwardsiella tarda* e *Vibrio salmonicida* (MISRA et al., 2006).

O efeito positivo da suplementação dessa fração na dieta de leitões foi relatado por Li et al. (2006), onde a adição de 50 ppm de β -glicana na dieta levou a um aumento de 12,7% no ganho de peso, corroborando com esses resultados. Na nutrição de aves, produtos contendo β -glucanas são indicados como aditivo com funções probióticas, prebióticas e simbióticas que auxilia na resistência à exposição infecciosa e na indução do sistema imune no trato gastrointestinal, o qual exerce um papel importante na proteção dos animais às infecções, pois vários mecanismos da imunidade inata cooperam com a ativação da imunidade adaptativa (MESTECKY, 1987; BRANDTZAEG, 2007).

Mananas: são carboidratos complexos derivados da parede celular de leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, contendo D-manose, glicose e proteína (SPRING, 2000). Segundo Schwarz et al. (2010), a inclusão de mananoligossacarídeos (MOS) reflete em melhores resultados de conversão alimentar, taxa de eficiência proteica, teores de proteína e extrato etéreo na carcaça e altura das vilosidades intestinais em juvenis de tilápias do nilo. Alguns pesquisadores demonstraram que a passagem desses pelo lúmen intestinal provoca um potente estímulo do sistema imunológico inato na mucosa

intestinal (JOHNSON & GEE, 1986; ROSS *et al.*, 2002.). No caso de peixes, a quantidade de MOS adicionado em estudos realizados com diferentes espécies é bem variada, o que pode depender tanto do efeito esperado dessa inclusão, como do hábito alimentar da espécie estudada.

Para frangos de corte, estudos mostram que o MOS pode melhorar o desempenho produtivo (FRITTS & WALDROUP, 2003; HOOGE *et al.*, 2003; JAMROZ *et al.*, 2004; SIMS *et al.*, 2004) e o rendimento de carcaça (DEMIR *et al.*, 2001), através de seus efeitos positivos sobre a microbiota intestinal e sistema imune e por diminuir a colonização de bactérias patogênicas, uma vez que essa suplementação pode aumentar a população cecal de lactobacilos e de bifidobactérias e reduzir a concentração de *Escherichia coli* (BAURHOO *et al.*, 2007). Os MOS têm sido associados à manutenção da integridade da mucosa intestinal, por aumentarem a altura de vilos (LJI *et al.*, 2001) em diferentes partes do intestino delgado. LODDI (2003) utilizou 0,1% de MOS em dietas para frangos e relatou que, nessas aves, os vilos eram mais altos e com maior perímetro, comparados com aves que consumiram dietas sem aditivos. Tais incrementos são importantes, pois sabe-se que as vilosidades desempenham importante papel no processo de absorção de nutrientes no intestino delgado, sendo que o aumento dessa estrutura proporciona maior superfície de contato e, como consequência, pode haver aumento na absorção dos nutrientes no lúmen intestinal (GARTNER & HIATT, 2001).

Frutanas: são carboidratos contendo múltiplas unidades de frutose, que podem ser subdivididos em frutooligossacarídeos (FOS) e inulina. Estes também podem ser obtidos de forma sintética, pela polimerização direta de alguns dissacarídeos, por meio do fracionamento da parede celular de leveduras ou fermentação de polissacarídeos (MANLEY & RICHARDS, 1994). Segundo Passos & Park (2003) os FOS são conhecidos como prebióticos, por promoverem o crescimento intestinal de probióticos, como *Acidophilus*, *Bifiduse Faecium*, promovendo estabilidade e aumentando a proliferação dessas bactérias benéficas no trato digestório do hospedeiro. A incorporação de FOS na dieta intensifica a viabilidade e adesão dessas bactérias benéficas no trato gastrointestinal, mudando a composição de sua microbiota. Ao mesmo tempo, bactérias patogênicas, incluindo *Escherichia coli*, *Clostridium perfrigen* e outras, têm sido inibidas concomitantemente (GIBSON & ROBERFROID, 1995).

Diferentes níveis de frutoligossacarídeo (0,0; 0,2; 0,4 e 0,6%) utilizados em rações para leitões, causaram efeito quadrático para o consumo diário de ração dos 36 aos 50 dias de idade, com ponto ótimo de 0,29% para a inclusão de frutoligossacarídeo. O mesmo foi observado para o ganho diário de peso, dos 21 aos 35 dias de idade, com ponto máximo de suplementação de 0,31% (BUDIÑO *et al.*, 2010). Yasuda *et al.* (2006) observaram que a utilização de inulina como ingrediente funcional melhora a absorção e a utilização de ferro presentes em dietas para leitões, aumentando as concentrações de hemoglobinas em até 28 % com a utilização de 4 % de inulina na dieta. Já em dietas de frangos de corte do primeiro aos 21 dias de idade, a suplementação de inulina proporcionou um aumento na colonização de bactérias benéficas no intestino grosso das aves, atuando como substrato no desenvolvimento, principalmente de *Bifidobacteria* e *Lactobacillus*, microrganismos que favorecem o aproveitamento e absorção dos nutrientes da dieta, podendo assim ter melhorado o ganho de peso final das aves (SILVA *et al.*, 2011).

Gomas e mucilagens: apresentam composição monossacarídica rica em xilose, galactose e arabinose (QIAN *et al.*, 2012), sendo amplamente empregadas como aditivos por contribuírem com o crescimento de bifidobactérias em nível intestinal (RINGO *et al.*, 2010). Estudos foram realizados para conhecer seus efeitos na digestibilidade dos nutrientes (LEENHOUWERS *et al.*, 2006; SINHA *et al.*, 2011; Storebakken, 1985; STOREBAKKEN & AUSTRENG, 1987; YAMAMOTO & AKIYAMA, 1995). Devido ao aumento da viscosidade da digesta, tais estudos encontraram alterações na morfologia e fisiologia do intestino e interação com o metabolismo de nutrientes da dieta devido à diminuição da taxa de esvaziamento gástrico. Na nutrição, as gomas e mucilagens também desempenham papel

importante como aglutinante, reduzindo o desperdício da alimentação (AMIRKOLAIE et al, 2005).

Em um estudo com tilápia (*Oreochromis niloticus*), a adição de goma guar e celulose na dieta reduziu significativamente a digestibilidade da energia, porém não afetou digestibilidade da proteína (AMIRKOLAIE et al., 2005). Por outro lado, em trabalho realizado por Goulart (2012), apesar de não significativo, os animais que receberam a dieta com linhaça *in natura* apresentaram maior ganho de peso em relação ao grupo controle e isso pode ter ocorrido pelo fato de a goma presente na linhaça ter exercido um possível efeito prebiótico, estimulando o crescimento e a atividade de bactérias benéficas, refletindo-se de forma desejável no desempenho animal.

Além das frações de fibra tratadas acima, outros componentes menos estudados para monogástricos, como as pectinas e amido resistente, podem exercer efeitos positivos quando adicionadas as dietas. O uso de pectinas, gomas, amido resistente e celulose tem resultado em melhor absorção de minerais tais como Ca, Mg e Fe, pois componentes fibrosos estimulam a proliferação das células epiteliais no ceco-cólon, reduzem o pH luminal por meio da fermentação pela microbiota do intestino grosso e aumentam a produção de AGCC. Os AGCC e o baixo pH podem, por sua vez, dissolver sais minerais insolúveis e aumentar sua absorção pela via paracelular (TUNGLAND & MEYER, 2002).

6. Considerações finais

A origem, composição, estrutura química e características físico-químicas são características que influenciam diretamente nas propriedades funcionais da fibra alimentar. A discordância entre estudos com fibra alimentar deve-se a diferenças na complexidade, solubilidade, nível de inclusão e espécie animal estudada. Sendo assim, mais estudos são indispensáveis para elucidar o melhor nível de inclusão em função da seletividade da microbiota intestinal de cada animal.

Referências

- ADORIAN, T. J. et al. Dietary fiber in the nutrition of silver catfish: prebiotic or antinutrient? **Animal Feed Science and Technology**, v. 209, p. 167–173, nov. 2015.
- AMIRKOLAIE, K. A. et al. Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Research**, v. 36, n. 12, p. 1157-1166, set. 2005.
- BACH KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of “dietary fibre” analyses. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, n. 1-2, p. 3-20, mar. 2001.
- BAURHOO, B. et al. Cecal populations of lactobacilli and bifidobacteria and *Escherichia coli* populations after *in vivo* *Escherichia coli* challenge in birds fed diets with purified lignin or mannan oligosaccharides. **Poultry Science**, v. 86, n. 12, p. 2509-2516, dez. 2007.
- BRANDTZAEG, P. Induction of secretory immunity and memory at mucosal surfaces. **Vaccine**, v. 25, n.30, p. 5467-5484, jul. 2007.
- BUDIÑO, F. E. L.; JÚNIOR, F. G. C.; OTSUK, I. P. Adição de frutoligossacarídeo em dietas para leitões desmamados: desempenho, incidência de diarreia e metabolismo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 10, p. 2187-2193, out. 2010.
- CATALANI, L. A. et al. Fibras alimentares. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 18, n.4, p.178-182, 2003.
- DAVIDSON, M.; MCDONALD, A. Fibre: forms and functions. **Nutrition Research**, v.18, n. 4, p. 617-662, abr. 1998.
- DEMIR, E.; SEKEROGLU, A.; SARICA, S. Comparison of the effects of flavomycin, mannan oligosaccharide and probiotic addition to broiler diets. **British Poultry Science**, v. 42, Suppl.1, p. S89-S90, 2001.
- ELLEUCH, M. et al. Dietary fibre and fibre-rich products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. **Food Chemistry**, v. 124, n. 2, p. 411-421, jan. 2011.
- ENGLYST, H. N.; CUMMINGS, J. H. Simplified method for the measurement of total non-starch polysaccharides by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. **Analyst**, v. 109, n. 7, p. 937-942, 1984.
- ENGLYST, H. N. et al. Determination of dietary fiber as non-starch polysaccharides by gas-liquid chromatography. **Analyst**, v. 117, n. 11, p. 1707-1714, 1992.
- FLEURI, L. F.; SATO, H. H. Produção, purificação, clonagem e aplicação de enzimas líticas. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 871-879, out. 2005.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Dossiê de fibras alimentares. **Revista-FI**. n. 3, p. 42-65, 2008. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/63.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2015.

FRITTS, C. A.; WALDROUP, P. W. Evaluation of Bio-Mos® mannan oligosaccharide as a replacement for growth promoting antibiotics in diets for turkeys. **International Journal of Poultry Science**, v. 2, n. 1, p. 19-22, 2003.

FREITAS, S. C. et al. **Coletânea de métodos analíticos para determinação de fibra**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 113p.

GARTNER, L. P.; HIATT, J. L. **Color textbook of histology**. 2. ed. Baltimore: Saunders, 2001. 592p.

GIBSON, G. R., ROBERFROID, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introduction to the concept of probiotics. **Journal of Nutrition**, v. 125, n. 6, p. 1401-1412, jun. 1995.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analysis: apparatus, reagents, procedures and some applications**. Washington, DC: USDA, 1970. (Agriculture handbook, n. 379).

GOULART, F.R. **Farelo de linhaça in natura e demucilada como fonte proteica na dieta de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*)**. 2012. 91f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GOULART, F. R. et al. Effects of dietary fiber concentrates on growth performance and digestive enzyme activities of jundiá (*Rhamdia quelen*). **Aquaculture Nutrition**, dez. 2015.

GUTKOSKI, L. C.; TROMBETTA, C. Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa* L). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, set./dez. 1999.

HENNEBERG, W. Ueber den heuwert der futterstoffe. **Bundesamt für Landwirtschaft**, v. 7, n. 3, p. 299, 1859.

HOOGE, D. M. et al. Effect of dietary mannan oligosaccharide, with or without bacitracin or virginiamycin, on live performance of broiler chickens at relatively high stocking density on new litter. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 12, n. 4, p. 431-467, 2003.

IJI, P. A.; SAKI, A. A.; TIVEY, D. R. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. **Animal Feed Science and Technology**, v. 89, n. 1, p. 175-188, fev. 2001.

JAMROZ, D. et al. Response of broiler chickens to the diets supplemented with feeding antibiotic or mannan oligosaccharides. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**, v. 7, n. 2, 2004.

JOHNSON, I. T.; GEE, J. M., Gastrointestinal adaptation in response to soluble non-available polysaccharides in the rat. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 55, n. 3, p. 497-505, mai. 1986.

LEENHOUWERS, J. I. et al. Digesta viscosity, nutrient digestibility and organ weights in african catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets supplemented with different levels of a soluble non-starch polysaccharide. **Aquaculture Nutrition**, v. 12, n. 2, p. 111-116, abr. 2006.

LI, J. et al. Effects of β -glucan extracted from *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance and immunological and somatotropic responses of pig challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 9, p. 2374-2381, set. 2006.

LODDI, M. M. **Probióticos, prebióticos e acidificante orgânico em dietas para frangos de corte**. 2003, 52 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2003.

MANLEY, H. M.; RICHARDS, G. N. Nutritional gains from sucrose caramels, a synopsis of the potential. **International Sugar Journal**, v. 96, p.1144, 1994.

MESTECKY, J. The common mucosal immune system and current strategies for induction of immune responses in external secretions. **Journal Clinical Immunology**, v. 7, n. 4, p. 265-276, jul. 1987.

MISRA, C. K. et al. Effect of long term administration of dietary β -glucan on immunity, growth and survival of *Labeo rohita* fingerlings. **Aquaculture**, v. 255, n. 1-4, p. 82– 94, mai. 2006.

MONTAGNE, L; PLUSKE, J. R.; HAMPSON, D. J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. **Animal Feed Science and Technology**, v.108, n. 1-4, p. 95–117, ago. 2003.

MORGADO, E; GALZERANO, L. Fibra na nutrição de animais com fermentação no intestino grosso. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 10, n. 7, p. 1-13, jul. 2009.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligossacarídeo: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.

POURCHET-CAMPOS, M. A. Fibra: a fração alimentar que desafia estudiosos. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v. 2, p. 53-63, 1990.

PUUPPONEN-PIMIÄ, R. et al. Development of functional ingredients for gut health. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 3-11, jan. 2002.

QIAN, K.Y. et al. Flaxseed gum from flaxseed hulls: extraction, fractionation, and characterization. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 2, p. 275-83, ago. 2012.

RINGO, E. et al. Prebiotics in aquaculture: a review. **Aquaculture Nutrition**, v. 16, n. 2, p. 117–136, abr. 2010.

ROSS, S. A. et al. Isolation of a galactomannan that enhances macrophage activation from the edible fungus *Morchella esculenta*. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, Cambridge, v. 50, n. 20, p. 5683–5685, set. 2002.

SCHWARZ, K. K. et al. Mananoligossacarídeos em dietas para juvenis de tilápias do Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 197-203, 2010.

SELVENDRAN, R. R.; DU PONT, M. S. Simplified methods for the preparation and analysis of dietary fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, n. 11, p. 1173-1182, nov. 1980.

SINHA, A. K. et al. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition – A review. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1409–1426, ago. 2011.

SILVA, W. T. M. et al. Avaliação de inulina e probiótico para frangos de corte. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 19-24, 2011.

SIMS, M. D. et al. Effects of dietary mannan oligosaccharide, bacitracin methylene disalicylate, or both on the live performance and intestinal microbiology of turkeys. **Poultry Science**, v. 83, n. 7, p. 1148-1154, jul. 2004.

SOUTHGATE, D. A. T. Determination of carbohydrates in foods. II. Unavailable carbohydrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 331, jun. 1969.

SOUTHGATE, D. A. T. Use of the Southgate method for unavailable carbohydrates in the measurement of dietary fiber. In: JAMES, W. P. T.; THEANDER, O. (Ed.). **The analysis of dietary fiber in food**. New York: M. Dekker, 1981. p. 1-19.

SPRING, P. Yeast's secret weapon aids animal production. In: SIMPÓSIO SOBRE ADITIVOS ALTERNATIVOS NA NUTRIÇÃO ANIMAL, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2000. p.41-50.

STOREBAKKEN, T. Binders in fish feeds: I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout. **Aquaculture**, v. 47, n. 1, p. 11–26, jul. 1985.

STOREBAKKEN, T.; AUSTRENG, E. Binders in fish feeds: II. Effect of different alginates on digestibility of macronutrients in rainbow trout. **Aquaculture**, v. 60, n. 2, p. 121–131, fev. 1987.

THEANDER, O.; AMAN, P. Studies in dietary fiber: a method for the analysis and chemical characterization of total dietary fiber. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 33, n. 4, p. 340, 1982.

THEANDER, O.; WESTERLUND, E. Effects of individual components of dietary fiber. In: SPILLER, G. A. (Ed.). **Handbook of dietary fiber in human nutrition**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986. p. 57-75.

THEANDER, O. Plant cell walls – their chemical properties and rumen degradation. In: NOLAN, J. V.; LENG, R. A.; DEMEYER, D. I. (Ed.). **The role of protozoa and fungi in ruminant digestion**. Armidale, AV: Penambul Books, 1989. p. 1-11.

THEUWISSEN, E; MENSINK, R. P. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. **Physiology & Behavior**, v. 94, n. 2, p. 285–292, mai. 2008.

TUNGLAND, B. C.; MEYER, D. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 1, n. 3, p. 73-92, out. 2002.

TROWELL, H. Definitions of fibre. **The lancet**, v. 23, n. 1, mar. 1974.

_____. Dietary fibre redefined. **The lancet**, v.1, n. 1, mai. 1976.

VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feeds analysis and its applications to forages. **Journal of Animal Science**, v. 26, n. 1, p. 119-128, 1967.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, out. 1991.

WILLIAMS, R. D.; OLMSTED, W. H. A biochemical method for determining indigestible residue (crude fiber) in feces: lignin, cellulose, and non-water-soluble hemicelluloses. **Journal of Biological Chemistry**, v. 108, n. 3, p. 653-666, 1935.

YAMAMOTO, T.; AKIYAMA, T. Effect of carboxymethyl cellulose, α -starch, and wheat gluten incorporated in diets as binders on growth, feed efficiency, and digestive enzyme activity of fingerling Japanese flounder. **Fisheries Science**, v. 61, n. 2, p. 309-313, 1995.

YASUDA, K. et al. Supplemental dietary inulin affects the bioavailability of iron in corn and soybean meal to young pigs. **The Journal of Nutrition**, v.136, n. 12, p.3033–3038, dez. 2006.