

POLISSACARÍDEOS NÃO AMILÁCEOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES - REVISÃO

Fábio Meurer¹
Carmino Hayashi²

MEURER¹, F.; HAYASHI², C. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de peixes - revisão. *Arq. ciên. vet. zool. UNIPAR*, 6(2): p. 127-138, 2003.

RESUMO: Os polissacarídeos não amiláceos são componentes das paredes celulares presentes em alimentos de origem vegetal comumente encontrados em rações para peixes. Estes elementos são geralmente a celulose, hemicelulose e pectinas, os quais podem diminuir o desempenho animal, dependendo de sua concentração. Não podem ser degradados por enzimas endógenas, porém o são, numa extensão variável, por microorganismos presentes em seu trato digestivo. Estes elementos afetam a digestibilidade dos nutrientes e modificação no tempo de permanência do alimento no trato digestivo. O maior problema apresentado por esta categoria de componentes é a sua ampla variabilidade e conseqüentes efeitos sobre o desempenho animal. A utilização de enzimas exógenas e técnicas de processamento dos alimentos têm sido adotadas para reduzir os efeitos negativos dos polissacarídeos não amiláceos.

PALAVRAS-CHAVE: celulose, hemicelulose, pectina, polissacarídeos não amiláceos

NON-STARCH POLYSACCHARIDES IN FISH NUTRITION - A REVIEW

MEURER¹, F.; HAYASHI², C. Non-starch polysaccharides in fish nutrition - A Review. *Arq. ciên. vet. zool. UNIPAR*, 6(2): p. 127-138, 2003.

ABSTRACT: Non-starch polysaccharides (NSP) are the cell wall constituents present in vegetal origin feeds commonly found in fish foods. These elements are generally cellulose, hemicelulose, and pectin, which can, in function of your concentration rate, decrease the animal performance. The NSP can't be digested by endogenous enzymes, but they are, in a variable ratio, by microorganisms existing in its digestory tract. The NSP are generally related with decrease of feed digestibility and modifications on diet digestory tract permanence. The highest problem of NSP components is your great variety and consequent effects on animal performance. Exogenous enzymes utilization and diet processament have been done to decrease NSP antinutricional effects.

KEY WORDS: cellulose, hemicelulose, pectin, non-starch polysaccharides

POLISACÁRIDOS NO ALMIDONES EN LA NUTRICIÓN DE PECES - REVISIÓN

MEURER¹, F.; HAYASHI², C. Polisacáridos no almidones en la nutrición de peces - Revisión. *Arq. ciên. vet. zool. UNIPAR*, 6(2): p. 127-138, 2003.

RESUMEN: Los polisacáridos no almidones son componentes de las paredes celulares presentes en alimentos de origen vegetal comunmente encontrados en ración para peces. Estos elementos son generalmente la celulosa, hemicelulosa y pectinas. Estos elementos pueden, en relación a su concentración, disminuir el desempeño animal. No pueden ser degradados por encimas endógenas, sin embargo lo son, en una extensión variable, por microorganismos presentes en sus tubos digestivos. Estos elementos están ligados, generalmente, a la disminución de la digestibilidad de los nutrientes y a la modificación en el tiempo de permanencia de los alimentos en el tubo digestivo. El mayor problema presentado por esta categoría de componentes es su amplia variabilidad y consecuentes efectos sobre el desempeño animal. La utilización de encimas exógenas y el procesamiento más detallado de los alimentos, ha sido hecho para atenuar los efectos antinutricionales.

PALABRAS-CLAVE: celulosa, hemicelulosa, pectina, polisacáridos no almidones

Introdução

Com o crescente desenvolvimento da aquicultura mundial nos últimos anos, em particular da piscicultura, faz-se necessário a procura de substitutos à farinha de peixe, a qual é largamente utilizada pela indústria de rações, visto que, além dos problemas como o elevado preço e excesso de fósforo (NRC, 1993), a falta deste alimento é previsível (BOOTH *et al.*, 2001). Como substituto deste ingrediente

tem-se buscado utilizar alimentos protéicos de origem vegetal (EL-SAYED, 1999; BUREL *et al.*, 2000; SIDDHUARAJU & BECKER, 2001). Além do motivo acima exposto, a necessidade de se baratear as rações para peixes faz com que se procure incluir alimentos de origem vegetal ricos em amido em substituição aos protéicos, em níveis que não causem danos ao desempenho dos mesmos (GOUVEIA & DAVIES, 2000).

Entretanto o uso de alimentos de origem vegetal na

¹ Zootecnista MSc., Professor Assistente do Curso de Medicina Veterinária da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Campus Toledo. Av. da União, 500, Jardim Coopagro, CEP 82902-532, fmeurer@rla01.pucpr.br.

² Prof. Titular do Depto de Biologia UEM. Maringá-Paraná. chayashi@uem.br

formulação de rações para peixes apresentam restrições quanto ao conteúdo de fatores antinutricionais presentes, dentre os quais podem ser destacados os polissacarídeos não amiláceos (PNAs) (BEDFORD, 1995; BOOTH, *et al.*, 2001; SIDDHUARAJU & BECKER, 2001). Os PNAs compreendem uma ampla gama de classes de polissacarídeos como por exemplo a celulose, hemicelulose, pectina, quitina, entre outros (BEDFORD, 1995; ASP, 1996).

A dificuldade da análise destes componentes, que exigem metodologias onde são empregados reagentes de alto custo, como enzimas e aparelhos sofisticados, somados a ampla variação destes entre plantas e seus cultivares, aliados ao grande número de espécies de peixes criadas comercialmente, dificultam a determinação dos seus efeitos sobre a nutrição destes.

Devido aos poucos estudos do efeito dos PNAs na nutrição de peixes se faz necessário a utilização de dados de monogástricos como os suínos e frangos, para que se possa fazer inferências em possíveis efeitos deletérios destes componentes em peixes.

O estudo dos PNAs pode se confundir com os estudos relacionados à fibra bruta e também à fibra em detergente neutro e ácido, pois excetuando-se a lignina, a hemicelulose e a celulose fazem parte dos PNAs. Uma das dificuldades encontradas no estudo de PNAs é justamente a quantidade, variabilidade da natureza destes carboidratos, a sua influência nos processos digestivos e portanto no desempenho dos animais.

Em monogástricos, a fibra é responsável por uma pequena parcela da energia da dieta, o que se faz através da digestão desta por microorganismos, no intestino grosso e ceco (LASSITER & EDWARDS, 1982). A importância desta no total do requerimento energético varia bastante conforme a espécie, a idade e o estado fisiológico dos animais, e em alguns cultivos sua presença fica condicionada a variação da sua concentração no alimento. De acordo com PEREIRA-FILHO (1992), os resultados de pesquisas sobre o efeito de diferentes níveis de fibra bruta na dieta de peixes são contraditórios.

A fibra influencia a motilidade do trato digestivo e conseqüentemente sobre a velocidade de trânsito do alimento pelo mesmo (LASSITER & EDWARDS, 1982; ARGENZIO, 1988; SHIAU, 1997; MEURER *et al.*, 2001). Os efeitos dos PNAs na nutrição, geralmente recaem na diminuição da digestibilidade dos nutrientes, aumento da viscosidade do bolo alimentar, efeito na velocidade de trânsito do alimento, diminuição dos níveis séricos de glicose e colesterol, e conseqüente diminuição do desempenho (BEDFORD, 1995; ASP, 1996). Entretanto o processamento e principalmente a utilização de enzimas nas rações parecem ter algum efeito na diminuição destas características deletérias destes componentes alimentares (BEDFORD, 1995).

O objetivo desta revisão bibliográfica é fornecer subsídios para um melhor conhecimento dos PNAs, em relação a sua variabilidade, análise e efeito sobre a nutrição de peixes, utilizando para isto, dados de outros animais monogástricos.

Revisão de Literatura

Polissacarídeos não amiláceos

Os PNAs podem ser compostos por celulose, hemiceluloses, pectinas, b-glucanos, gomas, mucilagens,

polissacarídeos de algas e frutanas (ASP, 1996). De maneira geral, não podem ser digeridos por animais monogástricos, onde estão incluídos os peixes, sendo digeridos nestes animais por microorganismos presentes no trato gastrointestinal ou por enzimas exógenas previamente incorporadas nas rações (BEDFORD, 1995; GDALA *et al.*, 1997a; YIN *et al.*, 2000; FREIRE *et al.*, 2000; BACH KNUDSEN, 2001).

A celulose é o material orgânico natural mais abundante do planeta (LEHNINGER *et al.*, 1995; BULLOCK *et al.*, 2000), sendo o principal constituinte da parede celular de plantas (LASSITER & EDWARDS, 1982; MAYNARD *et al.*, 1984). É um polissacarídeo linear que possui como unidade monomérica a glicose ligada por uma ligação glicosídica $\beta(1\rightarrow4)$ e devido a estas ligações, as cadeias de glicose assumem uma conformação alongada e agregam-se lado a lado formando fibrilas insolúveis, estas fibrilas por sua vez dispõem-se em camadas entrecruzadas, o diâmetro destas microfibrilas variam de 3 a 10 nm (HARRIS & FERGUSON, 1999) e podem ser impregnadas com uma matriz cimentante formada por polissacarídeos de diferentes tipos e uma substância polimérica denominada lignina.

A degradação da celulose depende da enzima celulase, que hidroliza as ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$, expondo as unidades de glicose para a absorção, entretanto o trato digestório digestivo dos vertebrados não secreta esta enzima (LEHNINGER, 1991), sendo esta dependente exclusivamente de fontes exógenas, tais como os microorganismos presentes no trato gastrointestinal, principalmente no intestino grosso e ceco.

As hemiceluloses foram definidas como uma parede celular de polissacarídeos que são solúveis em álcalis diluídos e não em água e que podem ser hidrolizados em monossacarídeos, sendo estas unidades compostas por hexoses, pentoses (DZIUK, 1988), freqüentemente ácido urônico (MACDONALDS *et al.*, 1981). De acordo com MAYNARD *et al.* (1984), a molécula predominante é o xiloglucano, a qual é constituída de uma cadeia de moléculas de D-glicose com ligações $\alpha(1-4)$ e com ramificações terminais de xilose com ligações $\alpha(1-6)$. As hemiceluloses estão associadas com a celulose nas plantas, perfazendo 30-40% da matéria seca da parede celular (ANDRIGUETTO *et al.*, 1981).

Em relação a celulose ela é mais digestível (MAYNARD *et al.*, 1984), entretanto sendo esta digestão feita por microorganismos do trato gastrointestinal dos animais. As hemiceluloses podem ser classificadas em dois tipos as xilanas e glico galactogluco-mananas (MACDONALDS *et al.*, 1981), já de acordo com ASP (1996) podem ser do tipo A, B e C, dependendo da sua solubilidade em diferentes pHs.

A pectina é encontrada, geralmente, na lamela média das células vegetais, mas também está infiltrada na própria parede celular; ela consiste em um polímero endurecido, cujas unidades monoméricas são o ácido D-galacturônico ligados por ligações $\alpha(1-4)$, intercalados por unidades de ramnose com ligações $\alpha(1-2)$. Pode ser facilmente extraída com água, quente ou fria, formando uma geléia; nos animais não existe enzima que a hidrolise e a sua digestão é feita apenas por microorganismos (MAYNARD *et al.*, 1984).

O único exemplo conhecido de homopolissacarídeo contendo glucosamina, é a quitina, um polímero linear de acetil-D-glucosamina. É amplamente encontrado nos animais

inferiores, sendo particularmente abundante nos crustáceos, também encontrado no reino *fungi* e em algumas algas verdes (MACDONALDS *et al.*, 1981).

A quitina é um PNA que não se encaixa dentro dos alimentos de origem vegetal, entretanto é o componente principal do exoesqueleto de insetos e crustáceos, perfazendo cerca de 50 a 80% da matéria orgânica destes, além de fazer parte da parede celular de fungos e leveduras (SHIAU e YU, 1999); a quitosana é um produto da quitina também utilizado na nutrição de peixes e no seu manejo (BULLOCK, *et al.*

2000).

Os PNAs, junto com a lignina, amido resistente a digestão, oligossacarídeos não digestíveis, ceras e alguma proteína indigestível fazem parte da fração denominada fibra dietária (FERGUSON, *et al.* 1993; NAGENGAST, *et al.* 1995; HARRIS & FERGUSON, 1999; BACH KNUDSEN, 2001; WENK, 2001). Os PNAs são encontrados principalmente como componentes da parede celular, que por sua vez variam (Tabelas 1 e 2) em relação as espécies, tecidos e idade da planta (BACH KNUDSEN *et al.* 2001).

Tabela 1 - Conteúdo de polissacarídeos e lignina de alguns alimentos (% da matéria seca)

	Amido	PNC ³		Celulose	PNA-T ⁴	Lignina	FD ⁵
		Solúvel	Insolúvel				
Milho	69,0	0,9	6,6	2,2	9,7	1,1	10,8
Trigo	65,1	2,5	7,4	2,0	11,9	1,9	13,8
Centeio	61,3	4,2	9,4	1,6	15,2	2,1	17,4
Cevada ¹	58,7	5,6	8,8	4,3	18,7	3,5	22,2
Cevada ²	64,5	5,0	6,4	1,0	12,4	0,9	13,3
Aveia ¹	46,8	4,0	11,0	8,2	23,2	6,6	29,8
Aveia ²	55,7	5,4	4,9	1,4	11,6	3,2	14,8
Farelo de Trigo	22,2	2,9	27,3	7,2	37,4	7,5	44,9
Casca de Aveia	21,3	1,3	29,5	19,6	50,5	14,8	65,3
Farelo de Soja	2,7	6,3	9,2	6,2	21,7	1,6	23,3
Farelo de Canola	1,8	5,5	12,3	5,2	22,0	13,4	35,4
Peas	45,4	5,2	7,6	5,3	18,0	1,2	19,2
Polpa de Beterraba	0	40,7	17,7	19,5	77,9	3,5	81,4

Fonte: BACH KNUDSEN *et al.*, (2001). ¹ Com casca. ² Sem casca. ³ Polissacarídeo Não Celulósico. ⁴ Polissacarídeos Não Amiláceos Totais. ⁵ Fibra Dietária.

Os monômeros constituintes dos PNAs são as pentoses: arabinose e xilose; as hexoses: glicose, galactose e manose; 6-deoxihexoses: ramnose e fucose, e os ácidos urônicos: glicurônico e galacturônico. Os principais polissacarídeos

da parede celular são a celulose, arabinoxilanos, D-glucanos de ligações mistas b (1@3) (1@4) (b-glucanos), xiloglicanas, ramnogalacturonas e arabinogalactanas (BACH KNUDSEN, 2001).

Tabela 2 - Composição (g/Kg) em monossacarídeos de baixo peso molecular (MBPM), amido, celulose, polissacarídeos não celulósicos (PNC), PNA total, lignina (Método Klason) e fibra dietária

	Trigo	Cevada	Farelo de Soja	Farelo de Canola	Peas
MBPM					
Frutose	1	1	2	1	<1
Glicose	T	T	3	2	<1
Sucrose	8	11	49	72	26
Rafinose	5	5	11	4	4
Estaquiase	0	0	41	13	17
Açúcares totais	15	18	111	94	50
Amido	669	547	12	11	415
PNA					
Celulose	18	45	72	65	64
PNC	100(21) ¹	152(37)	152(28)	154(36)	146(44)
Ramnose	0(0)	0(0)	2(1)	2(1)	1(1)
Fucose	0(0)	0(0)	4(1)	2(1)	0(0)
Arabinose	28(6)	30(3)	28(4)	49(12)	34(17)
Xilose	46(7)	63(2)	20(0)	19(2)	13(0)
Manose	2(<1)	4(1)	14(2)	6(1)	2(1)
Galactose	4(3)	4(1)	45(8)	22(5)	8(5)
Glicose	16(4)	46(28)	4(1)	8(1)	62(2)
Ácidos Urônicos	4(2)	6(2)	35(13)	46(15)	27(18)
PNA total	118	198	224	219	211
Lignina	13	36	7	72	3
Fibra dietária	130	234	231	291	214

Adaptado de GDALA *et al.* (1997). ¹ Valores entre parênteses correspondem aos elementos solúveis

A natureza da celulose varia pouco entre as plantas, entretanto, a matriz amorfa geralmente varia bastante em relação ao tecido da planta e entre as espécies de vegetais. Em cereais, que são plantas monocotiledôneas, os principais componentes da parede celular são as arabinoxilanas, celulose e b-glucanos. Nas dicotiledôneas são encontrados altos níveis de substâncias pécicas (BACH KNUDSEN, 2001). CUI *et al.* (2000) demonstraram haver diferenças quanto a estrutura e propriedades físico-químicas da fração b-D-glucano do trigo em relação a cevada e aveia e concluíram que este material possui uma estrutura mais regular que os outros, podendo ser responsável por sua maior viscosidade e menor solubilidade.

A variação dentro dos cultivares podem ser tanto em quantidade de determinado tipo de PNA, quanto em termos de PNAs totais, ou ainda quanto as características físicas como por exemplo, o tamanho e complexidade dos polímeros. HAN (2000) estudando as características das arabinoxilanas de três cultivares de cevada, Robust A, Robust AB e Excel, não

encontraram diferença significativa entre as quantidades de PNAs totais, arabinoxilanas e b-glucanos entre os cultivares, entretanto a quanto ao comprimento das cadeias de (1 \rightarrow 4)-xilano foram significativamente ($P < 0,05$) mais compridas nos cultivares Robust A e AB que no cultivar Excel. De acordo com AUSTIN *et al.* (1999), estudando 12 amostras de diferentes cultivares de trigo, houveram diferenças quanto ao conteúdo de PNA total e monossacarídeos (Tabela 3) e também uma variação na estrutura tridimensional das arabinoxilanas, ao contrário dos b-glucanos, possuíam uma estrutura mais ramificada e pouco variável.

RESFIE *et al.* (1999) demonstraram haver diferença entre as frações da fibra de alimentos derivados da soja (Tabela 4). Já FÉRVIER *et al.* (2001) encontraram diferenças no conteúdo das frações fibrosas de farelos de algodão (Tabela 5). Henry (1988) citado por HAN (2000) verificaram pequenas diferenças nas propriedades químicas e físicas da parede celular de cultivares de cevada. HADIMANI *et al.* (2001) encontraram variações na quantidade e composição dos PNAs de três cultivares diferentes de milho.

Tabela 3 - Conteúdo (g/kg) de PNA total e monossacarídeos totais das amostras de trigo¹

	Arabinose	Xilose	Manose	Galactose	Glicose	Ác. urônico	-glucanos	PNAt
A	16,9	29,0	2,6	4,1	31,7	3,8	5,9	88,1
B	24,0	48,1	2,3	4,8	34,4	4,1	6,7	117,5
C	26,3	47,4	1,8	3,5	40,1	4,0	6,7	123,1
D	18,4	25,9	2,0	3,7	32,0	3,8	5,8	85,5
E	12,4	26,9	1,7	3,5	39,3	4,4	6,2	88,0
F	24,9	45,1	1,9	4,1	37,3	3,6	7,1	117,0
G	12,7	24,1	2,0	3,1	36,9	3,8	6,0	82,6
H	27,1	53,9	2,0	3,3	39,0	4,0	7,2	129,2
I	18,8	33,6	2,2	3,9	36,2	3,9	5,8	98,6
J	17,4	28,4	2,1	3,3	33,0	3,5	5,6	87,6
K	23,0	43,5	2,4	3,7	34,7	3,6	6,5	110,8
L	26,5	47,7	2,2	4,1	39,1	4,1	7,2	123,5

Adaptado de AUSTIN *et al.* (1999).¹ (por hidrólise do resíduo livre de amido)

Tabela 4 - Composição das frações fibrosas de alimentos derivados do soja (g/Kg da Matéria Seca).

Alimento	Proteína isolada de soja	Concentrado protéico de soja	FSBNO ¹	Farelo de soja
Amido	2	22	15	18
Fibra bruta	2,1	28,4	2,1	61,4
Fibra dietária solúvel	0	26	35	32
Fibra dietária total	74	224	221	242

Adaptado de RESFIE *et al.* (1999).¹ Farelo de soja com baixo teor de oligossacarídeos

Tabela 5 - Composição das frações fibrosas de diferentes farelos de algodão (g/Kg da Matéria Seca).

Farelo de algodão	A	B	C	D	E
PCIA ¹	213	342	400	422	336
FDN ²	273	286	344	419	475
FDA ³	143	179	206	242	186
LDA ⁴	73	74	80	97	82

Adaptado de FÉRVIER *et al.* (2001).¹ Parede celular insolúvel em água. ² Fibra em Detergente Neutro. ³ Fibra em detergente ácido.

⁴ Lignina em detergente ácido

Os PNAs não estão distribuídos uniformemente no grão vegetal, existe uma variação do tipo e da quantidade de PNAs em relação ao tecido do mesmo. BACH KNUDESEN *et al.*

(1995), estudando as diversas frações do grão de trigo (Tabela 6) encontrou diferenças na quantidade e no tipo de PNA (Tabela 7), diminuindo a quantidade de PNAs totais a medida que se analisava frações mais internas do grão.

Tabela 6 - Distribuição morfológica (g/kg) de cada fração do grão de trigo

Fração rica em	Nome da fração	Nível de descorticação (g/kg)	
		Média	Amplitude
Pericarpo/tegumento	F1	24	0-47
Aleurona	F2	84	48-120
Aleurona/Endosperma	F3	162	121-203
Endosperma	F4	241	204-279
Endosperma	F5	325	280-371
Endosperma	F6	686	372-1000

Adaptado de BACH KNUDSEN *et al.* (1995)

Tabela 7- Carboidratos e Lignina (g/kg) do grão de trigo e de seis frações

	Grão	F1	F2	F3	F4	F5	F6
MBPM							
Frutose	1	3	1	1	1	1	1
Glicose	1	3	2	1	1	1	1
Sucrose	6	7	12	12	9	7	3
Maltose	1	1	1	1	1	2	1
Rafinose	5	8	11	9	7	6	3
Maltotriose	T	T	T	T	T	T	T
Açúcares totais	13	22	26	24	19	17	8
Amido	622	194	387	525	606	666	761
PNA							
Celulose	19	130	39	18	12	9	6
PNC	84(28)	309(47)	165(19)	107(25)	79(23)	67(24)	57(21)
Arabinose	25(7)	107(8)	50(5)	31(7)	24(6)	18(6)	15(6)
Xilose	41(11)	141(11)	80(7)	53(11)	39(10)	32(10)	27(9)
Manose	3(1)	03(1)	2(1)	1(1)	1(1)	1(1)	2(1)
Galactose	4(2)	11(2)	6(2)	4(2)	4(2)	3(2)	3(2)
Glicose	10(6)	29(23)	18(3)	13(4)	10(4)	9(5)	8(3)
Ácidos Urônicos	3(1)	17(1)	8(1)	5(1)	3(1)	2(1)	1(<1)
PNA total	103(28)	439(47)	204(19)	125(25)	91(23)	76(24)	63(21)
Lignina	15	71	37	17	8	6	10
Fibra dietária	118(28)	509(47)	241(19)	142(25)	99(23)	82(24)	73(21)

Adaptado de BACH KNUDSEN *et al.* (1995)

O processamento pode ou não levar a modificação no padrão de PNA do alimento, SÁNCHEZ-CASTILLO *et al.* (1999) citam que o impacto do processamento na quantidade de PNAs dos alimentos em alguns casos chega a ser extraordinário e que o aumento do refino dos alimentos representam uma redução marcante nos níveis de PNAs. SAGUM & ARCOT (2000) demonstraram pequenas mudanças no conteúdo total de PNA de três diferentes variedades de arroz quando submetidos ao umedecimento ou ao cozimento com pressão, entretanto todas as variedades, quando submetidas a este processamento tiveram aumento na fração solúvel de PNAs.

Todavia CANIBE e BACH KNUDSEN (1997) não evidenciaram diferenças na concentração e constituição de PNAs do "peas" (*Pisum sativum*) após tostagem. REFSTIE *et al.* (1999) citam que os diferentes processamentos do soja podem alterar o conteúdo de PNAs. AUSTIN *et al.* (1999) citam a possibilidade de que durante a fase de armazenagem a ação de enzimas endógenas dos grãos podem levar a uma lenta degradação dos PNAs.

Análise de PNAs

O método mais antigo e também mais comum de se medir a fibra em alimentos é o método da fibra bruta descrito

por Holmneberg and Stohmann (1859) citado por BACH KNUDSEN (2001), o qual tem sido utilizado desde a metade do século XVIII. Emprega-se uma extração sequencial com ácido e álcali diluídos seguidos por uma determinação gravimétrica do resíduo após secagem. Devido à ocorrência da solubilização de polissacarídeos estruturais e lignina, este método determina apenas uma pequena fração dos componentes da fibra. A fração fibra bruta dos alimentos é composta principalmente de celulose, lignina e uma pequena quantidade de hemicelulose e substâncias pecticas (LARBIER & LECLERCQ, 1992).

Os métodos dos detergentes desenvolvidos por Van Soest e colaboradores, para alimentos ricos em fibras, forneceram uma alternativa mais adequada (Van Soest, 1963; Van Soest & Wine, 1967; Van Soest *et al.*, 1991; citados por BACH KNUDSEN, 2001). Este método mede a fração da fibra que é insolúvel em detergentes neutros (FDN: fibra em detergente neutro) e em detergentes ácidos (FDA: fibra em detergente ácido). A FDN contém hemicelulose, celulose e lignina, enquanto a FDA contém a celulose e a lignina e por diferença se calcula a hemicelulose. Entretanto tem sido demonstrado que os PNAs solúveis e substâncias pecticas insolúveis são perdidas no procedimento da FDN, o amido e a proteína podem contaminar a FDN e alguma hemicelulose

pode permanecer na fração FDA.

Durante as duas últimas décadas tem havido um rápido desenvolvimento de métodos eficazes e reproduzíveis de determinação da fibra dietária (CANIBE & BACH KNUDSEN, 1997). De acordo com ASP (1996) e BACH KNUDSEN (2001), os principais protocolos são os métodos gravimétricos enzimáticos ou não-enzimáticos da "Association of Official Analytical Chemists" (AOAC) e os procedimentos enzimático-químico Englyst e Uppsala.

No primeiro método, todos os componentes não fibrosos são removidos da amostra, sendo os açúcares de baixo peso molecular e lipídeos por extração, o amido e a proteína por degradação enzimática, o resíduo pesado e corrigido para cinza e proteína. O segundo método é a medida direta dos constituintes da fibra dietária logo após a extração dos açúcares de baixo peso molecular e lipídeos, remoção enzimática do amido e proteína, pela hidrólise dos polissacarídeos da fibra dietária e a determinação dos seus resíduos de monossacarídeos por cromatografia gasosa, cromatografia líquida de alta performance ou colorimetria. Os métodos enzimático-químicos levam ao conhecimento da composição monomérica dos PNAs e divide-o em frações solúveis e insolúveis, o qual permite uma visão geral das propriedades funcionais da fibra.

Os dois últimos métodos, Englyst e Uppsala, são bastante semelhantes, entretanto existem duas importantes diferenças. A primeira é que no método Englyst emprega-se a solubilização com dimetilsulfóxido (DMSO), removendo o amido resistente a degradação, o qual é considerado na fibra dietária pelo método Uppsala. O segundo é que a lignina é incluída na fibra dietária pelo método Uppsala. Portanto, o método Englyst objetiva quantificar apenas os PNAs (ASP, 1996).

Características físico-químicas dos PNAs e suas relações com a digestão

A localização química e física dos PNAs na parede celular têm uma grande influência nas propriedades físico-químicas destes e conseqüente ação no trato gastrointestinal. A parede celular é uma estrutura bifásica onde as microfibrilas de celulose formam um esqueleto rígido que é embebido numa matriz gelatinosa de polissacarídeos não celulósicos e glicoproteínas (BACH KNUDSEN, 2001).

As principais características físico-químicas dos PNAs de significância nutricional são as propriedades de hidratação e viscosidade. As propriedades físico-químicas estão ligadas ao tipo de polímeros que fazem parte da parede celular e sua associação intramolecular.

As propriedades de hidratação são caracterizadas pela capacidade de dilatação (inchamento), solubilidade, capacidade de apreensão de água e capacidade de ligação com a água. A primeira parte de solubilização dos polímeros é a dilatação em que ocorre a entrada de água expandindo as macromoléculas até a sua extensão total e dispersão, quando então são solubilizadas. A dilatação dos PNAs na água varia, por exemplo, a pectina dilata bastante, mas quando contém substâncias menos hidrofílicas dilata muito menos.

A solubilização não é possível em casos de polissacarídeos que adotam estruturas regulares e ordenadas (celulose, arabinóxilanas regulares), pois as estruturas lineares aumentam a força das ligações não covalentes, as quais

estabilizam a conformação ordenada. Sob estas condições somente a dilatação pode acontecer (BACH KNUDSEN, 2001).

A capacidade de apreensão e ligação com a água também são utilizadas para descrever as propriedades de hidratação e tem sido utilizadas na literatura, de maneira intercambiável, como reflexo da habilidade da fonte de fibra em incorporar água na sua matriz. A capacidade de ligação com a água é determinada pela estrutura físico-química das moléculas, do pH e de concentração de eletrólitos do fluido que a circunda, portanto, durante a passagem através do trato gastrointestinal os PNAs podem dilatar de uma maneira variável. A capacidade de ligação da água é relativamente maior nos PNAs insolúveis que dos solúveis (BACH KNUDSEN 2001).

A viscosidade de uma solução é resultado de uma grande rede intermolecular, que aprisiona água em seu interior (AUSTIN *et al.*, 1999). A maioria dos polissacarídeos dá aspecto viscoso a soluções, quando dissolvidos na água. A viscosidade depende primeiramente do peso molecular do polímero e da sua concentração. Moléculas grandes aumentam a viscosidade de soluções diluídas e a habilidade de fazer isso depende principalmente do volume que elas ocupam. O volume ocupado por um polímero é muito maior que o de seus monômeros, e o volume ocupado por um polímero deverá ser maior que o ocupado por dois polímeros de metade do tamanho do primeiro (BACH KNUDSEN, 2001).

A maioria dos PNAs são responsáveis pelo aumento da viscosidade do bolo alimentar (IJI *et al.*, 2001). SASAKI *et al.* (2000) citam que os PNAs podem ser classificados em solúveis e insolúveis em água, que estas frações tem estrutura química e funções diferentes, e que a fração solúvel está relacionada com o aumento da viscosidade. SHIAU (1997), Superko *et al.* (1988) citado por HARRIS & FERGUSON (1999) e OUHIDA *et al.* (2000), afirmam que os componentes solúveis dos PNAs são responsáveis pelo aumento da viscosidade.

O termo solúvel é vago, pois é pouco provável que técnicas "in vitro" de determinação das frações solúveis e insolúveis reflitam, o processo de extração encontrado no trato digestivo animal (BEDFORD, 1995; AUSTIN *et al.*, 1999), sendo que o pH do estômago é um fator importante (SHIAU, 1997). CUI *et al.* (2000) citam um aumento da solubilidade do b-D-glucano do trigo quando o pH foi diminuído de 7 para 4,5.

OUHIDA *et al.* (2000) encontraram diferenças significativas na viscosidade de bolo alimentar do jejuno e do íleo de frangos de corte alimentados com dietas contendo PNAs pouco, médio e altamente solúveis, demonstrando que quanto mais solúveis os PNAs, maior a viscosidade, que a viscosidade no jejuno era geralmente maior que no íleo para as dietas mais viscosas. Os resultados encontrados por IJI *et al.* (2001) reforçam as afirmações anteriores sobre as diferenças entre os resultados de viscosidade in vitro, dos encontrados no trato gastrointestinal de frangos de corte.

WENK (2001) cita que rações com maior quantidade de PNAs contém menos quantidade de energia metabolizável, e devido ao alongamento da parede estomacal, causam uma sensação de saciedade antes de se alcançar o nível de ingestão deste nutriente em animais em crescimento. Tais fatores levam o animal, geralmente, a um aumento do peso do seus órgãos

do trato digestivo (WENK, 2001) ou ainda a aumento da profundidade das criptas intestinais (IJI *et al.*, 2001), demonstrando um efeito adaptativo do animal em relação ao aumento da fibra na ração (HILTON *et al.*, 1983).

Com o aumento do nível de celulose na ração de trutas arco-íris, houve um aumento na relação de peso do estômago em relação ao peso corporal (HILTON *et al.*, 1983). FREIRE *et al.* (2000) demonstraram haver um aumento do peso fresco de alguns órgãos do sistema digestivo, de leitões, relacionado com a fonte de fibra da ração. IJI *et al.* (2001) determinaram um aumento do peso e da capacidade do intestino delgado de frangos de corte alimentados com rações contendo PNAs mais viscosos em relação aos menos viscosos.

Além do problema do excesso de volume da dieta com alta quantidade de PNAs, dietas com maior concentração de PNAs solúveis, por causa da alta capacidade de ligação com a água, diminuem a quantidade de matéria seca no estômago (WENK, 2001) e intestino, como os valores encontrados por REFSTIE *et al.* (1999) para salmão do Atlântico.

Vários autores têm demonstrado o efeito dos PNAs sobre o tempo de esvaziamento do trato digestivo (HILTON *et al.*, 1983; SHIAU *et al.*, 1997; BACH KNUDSEN, 2001; WENK, 2001). Entretanto, este efeito é influenciado pelo tipo e nível do PNA (BACH KNUDSEN, 2001). Os PNAs podem ter influências diferentes no tempo de retenção nos diferentes órgãos do trato gastrointestinal (OUHIDA *et al.*, 2000; BACH KNUDSEN, 2001; WENK, 2001). Geralmente pode ser observado que a celulose diminui o tempo de esvaziamento do trato gastrointestinal ao contrário do que ocorre com PNAs solúveis (WENK, 2001).

HILTON *et al.* (1983) observaram um decréscimo no tempo de esvaziamento do trato gastrointestinal de trutas arco-íris, quando alimentadas com rações contendo 10 e 20% de celulose em relação a uma ração isenta deste ingrediente. MEURER *et al.* (2001), determinaram um efeito linear na diminuição do tempo de passagem do alimento no trato digestivo ($Y = 3,18869 - 0,00144061X$, $r^2 = 0,529$), de alevinos de tilápia do Nilo, a medida em que se aumentavam os níveis de fibra bruta, utilizando como fonte de fibra a celulose.

OUHIDA *et al.* (2000) determinaram que em frangos de corte alimentados com rações com diferentes PNAs, os mais solúveis levaram a um maior tempo de retenção do bolo alimentar, no trato gastrointestinal e entre os órgãos no intestino delgado, em relação aos menos solúveis, dados estes que estão de acordo com FREIRE *et al.* (2000) que trabalharam com leitões. O aumento de PNAs, de 83 g/kg para 193g/kg, na ração de suínos em crescimento levou aumento de 1,7 vezes o fluxo de saída no íleo (YIN *et al.*, 2000).

O maior tempo de retenção do bolo alimentar pode permitir uma maior multiplicação dos microorganismos do intestino grosso e sua migração para o intestino delgado (BEDFORD, 1995). O aumento da atividade microbiana, no intestino delgado, leva ao aumento da competição do alimento disponível com o hospedeiro, a produção de metabólitos tóxicos como a amônia, aminas, ácidos biliares secundários e enterotoxinas bacterianas. (BEDFORD, 1995; YIN *et al.*, 2000). Há um aumento na secreção de fluídos

digestivos como saliva, suco pancreático e bile relacionados ao aumento na quantidade de PNAs ingeridos (WENK, 2001). O aumento do nível de PNAs nas rações de frangos de corte levou a um aumento na perda ileal de nitrogênio (IJI, *et al.*, 2001).

Os PNAs na diminuem a digestibilidade dos nutrientes (GDALA *et al.*, 1997b; RESFIE *et al.*, 1999; YIN *et al.*, 2000; BACH KNUDSEN, 2001; FÉRVIER *et al.*, 2001). O efeito deletério dos PNAs sobre a digestibilidade pode variar de acordo com a sua característica, como por exemplo, se são solúveis ou insolúveis. Sua ação no estômago e intestino delgado é apenas física, na qual a parede celular atua como barreira na disponibilização dos nutrientes ou aumentam a viscosidade da fase líquida e restringem a sua absorção (BACH KNUDSEN, 2001) e o aumento da taxa de passagem do bolo alimentar pelo trato digestório (YIN *et al.*, 2000).

O aumento da viscosidade do bolo alimentar dificulta o acesso das enzimas aos substratos e dos alimentos digeridos à borda do intestino (BEDFORD, 1995). IJI *et al.* (2001) demonstraram não haver influência do nível de PNAs na capacidade da membrana intestinal de absorver L-triptofano.

O efeito dos PNAs na digestibilidade parece ter forte influência da idade dos animais, os animais mais novos são mais afetados que os mais velhos; e também da espécie, onde os suínos parecem ter uma maior capacidade de adaptação aos níveis mais altos de PNAs que as aves, onde o sistema digestivo aparece como responsável por esta maior adaptação (WENK, 2001). Em peixes, pode-se esperar tal resposta em relação à idade e principalmente quanto à espécie, visto que há uma ampla variabilidade de adaptações morfológicas do trato digestivo em peixes, onde pode-se encontrar desde espécies sem estômago (digestão ácida ausente) até aquelas que possuem estômago mecânico (moela, semelhante à aves).

De acordo com PEZZATO (1997, 1999) a celulose é considerada uma fonte de energia não disponível, e que em alguns peixes herbívoros há a produção de celulase pelas suas bactérias intestinais. WILSON (1995) afirma que a fibra bruta é um componente dos alimentos constituintes da ração, é um material indigestível para a maioria dos peixes, que não deve ser adicionada às rações para manter o menor nível possível.

De acordo com ENSMINGER & OLENTINE (1980), pela simplicidade do trato digestório dos peixes, a digestibilidade da fibra é menor que 10%, e que a mesma serve como volumoso e como aglutinante, recomendando não mais de 10% na dieta e que preferivelmente fique entre 5 e 6%. Entretanto, ZONNEVELD & ZON (1985), destacam que carpas-capim adultas têm uma flora microbiana intestinal que permite aproveitar a fibra dietária.

De acordo com HILTON *et al.* (1983), a inclusão de celulose nas rações de truta arco-íris diminuiu a digestibilidade da matéria seca. REFSTIE *et al.* (1999) encontraram uma menor digestibilidade para o nitrogênio em Salmão do Atlântico em rações contendo níveis maiores de PNAs, quando comparam alimentos derivados do soja. SHIAU & YU (1999) encontraram diferenças significativas na redução da digestibilidade de lipídeos e da matéria seca em rações com níveis crescentes de quitina e quitosana (Tabela 8) para alevinos de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*).

Tabela 8 - Digestibilidade aparente dos lipídeos e matéria seca em tilápias híbridas (*O. niloticus* X *O. aureus*) alimentadas com rações experimentais por oito semanas

	Nível de suplementação da fibra (%)			
	0	2	5	10
Digestibilidade dos lipídeos				
Quitina	96,14 b	94,45 aby	93,68 aby	89,48 a
Quitosana	96,14 b	89,89 ax	89,63 ax	88,83 a
Digestibilidade da matéria seca				
Quitina	87,97 b	84,80 ab	85,87 ab	82,46 a
Quitosana	87,97 c	85,56 bc	80,81 a	82,34 ab

Adaptado de SHIAU & YU (1999). abc - diferenças significativas ($P < 0,05$) entre o nível de suplementação com fibra e fonte de fibra. xy - diferenças significativas ($P < 0,05$) entre a fonte de fibra e o nível de suplementação de fibra

Ao comparar o valor nutritivo de algumas frações do trigo em galos adultos, STEENFELDT *et al.* (1995) encontraram uma forte correlação negativa do nível de PNAs insolúveis sobre a digestibilidade aparente da proteína e energia metabolizável aparente. AUSTIN *et al.* (1999) encontraram uma correlação negativa de energia metabolizável aparente em relação a sua quantidade de PNAs solúveis, de doze variedades de trigo, em frangos de corte, e uma correlação positiva com o grau de ramificação das arabinoxilanas. RESFIE *et al.* (1999) encontraram uma diminuição digestibilidade ileal da matéria seca à medida que se aumentou o nível de PNAs na ração, e também houve influência dos PNAs na digestibilidade ileal de nitrogênio e gordura.

BEAMES *et al.* (1996) encontraram uma alta correlação negativa do nível de PNAs insolúveis com a energia metabolizável aparente, em leitões alimentados com rações contendo cultivares de cevada com e sem casca. YIN *et al.* (2000) encontraram correlações negativas da digestibilidade aparente ileal e total da matéria seca, energia, proteína e aminoácidos, em relação ao conteúdo de PNAs. FÉRVIER *et al.* (2001), trabalhando com suínos em crescimento, encontraram um efeito quadrático do nível entre a digestibilidade ileal verdadeira da lisina, treonina e triptofano em relação ao nível de PNAs em rações contendo farelo de algodão, entretanto, determinaram uma redução linear da digestibilidade verdadeira ileal da lisina em relação

ao aumento dos PNAs da ração contendo "palm kernel meal"; citando ainda que o principal fator limitante da digestibilidade ileal é a composição e nível do PNA.

BACH KBNUDSEN *et al.* (1995) encontraram uma redução linear da digestibilidade verdadeira da proteína e energia a medida em que se aumenta o nível de fibra dietária na ração de ratos.

Efeito dos PNAs no desempenho de monogástricos

O desempenho dos animais pode ser influenciado pelos PNAs, sendo esta influência relacionada a composição, nível dos PNAs, à espécie e idade do animal (BEDFORD, 1995). A diminuição do desempenho animal relacionado ao aumento dos níveis de PNAs na ração geralmente reflete a influência destes elementos sobre a digestão, como por exemplo a menor digestibilidade dos nutrientes e energia, diminuição da ingestão de matéria seca, entre outros; e na demanda energética adicional na tentativa de adaptação a estas rações como o aumento da produção de sucos digestivos, aumento no tamanho dos órgãos do trato digestório e maior taxa de renovação celular.

HILTON *et al.* (1983) encontraram um efeito negativo da inclusão de celulose sobre o ganho de peso de truta arco-íris (Tabela 9). SHIAU *et al.* (1988) demonstraram uma diminuição do desempenho e piora na conversão alimentar de tilápias do Nilo alimentadas com níveis crescentes de carboximetilcelulose na ração.

Tabela 9 - Características do crescimento, consumo de ração e conversão alimentar de juvenis de truta arco-íris alimentados com rações contendo diferentes níveis de celulose

	% de celulose					
	0		10		20	
Ganho de peso ¹	4,6	0,5 a	4,3	0,4 ab	3,9	0,5 c
Consumo de ração ²	5,0		5,4		5,6	
Conversão alimentar	1,2		1,3		1,5	

Adaptado de HILTON *et al.* (1983). Letras diferentes em uma mesma linha denotam diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Tukey. ¹ kg/100 peixes \pm desvio padrão. ² kg/100 peixes.

SHIAU *et al.* (1989), estudando o efeito da inclusão de 10% de cinco fontes de fibra na ração, sobre o crescimento e conversão alimentar de tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*), encontraram um menor desempenho dos animais que receberam fibra em relação a dietas contendo glicose e

dextrina (Tabela 10).

SHIAU & YU (1999) observaram uma diminuição do desempenho e piora na conversão alimentar de alevinos de tilápia híbrida (*O. niloticus* X *O. aureus*) em relação à suplementação da ração com quitina e quitosana (Tabela 11).

Tabela 10 - Efeito da inclusão de cinco fontes de fibra diferentes na percentagem de ganho de peso e conversão alimentar da tilápia híbrida (*O. niloticus* X *O. aureus*)

Ração	Ganho de peso %		Conversão alimentar	
Carboximetilcelulose	197,87	9,60 c	1,32	0,06 bc
Celulose	190,05	13,13 c	1,36	0,03 c
Agar	217,3	15,12 bc	1,27	0,04 bc
Carragenana	204,33	9,07 bc	1,32	0,06 bc
Guar	228,22	8,09 b	1,22	0,05 b
Glicose	272,38	12,38 a	1,08	0,08 a
Dextrina	258,48	15,35 a	1,16	0,80

Adaptado de SHIAU *et al.* (1989). Letras diferentes em uma mesma linha denotam diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

Tabela 11 - Percentagem de ganho de peso e conversão alimentar de tilápias híbridas (*O. niloticus* X *O. aureus*) alimentadas com rações experimentais por oito semanas

	Nível de suplementação de fibra (%)			
	0	2	5	10
Ganho de peso				
Quitina	455,53 b	349,50 a	338,06 ay	292,77 ay
Quitosana	455,53 b	282,14 a	214,79 ax	204,03 ax
Conversão alimentar				
Quitina	1,08 a	1,31 bx	1,53 bx	1,63 bx
Quitosana	1,08 a	1,76 by	1,96 bcy	2,22 cy

Adaptado de SHIAU *et al.* (1999). Letras diferentes em uma mesma linha denotam diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

Testando a influência da inclusão de 5% das fontes de fibra, casca de arroz (CA), sabugo de milho (SB); bagaço de cana (BC) e bagaço de cana hidrolizado (BH), em rações isoprotéicas, isoenergéticas, isofibrosas, isofosfóricas e isocálcicas para alevinos de tilápia do Nilo, HAYASHI *et al.* (2000), encontraram uma melhor percentagem de ganho de peso para os alevinos alimentados com as rações contendo

SB e BH (193,6 e 188,5%, respectivamente) em relação aos alimentados com rações contendo CA e BC (164,8 e 150,3%, respectivamente).

MEURER *et al.* (2001) pesquisando a influência do aumento da fibra bruta, pela inclusão de celulose, em rações para alevinos de tilápia do Nilo, não encontraram efeitos significativos, deste aumento no desempenho destes animais (Tabela 12).

Tabela 12 - Parâmetros de desempenho e sobrevivência avaliados nos alevinos de tilápia do Nilo submetidos a níveis crescentes de fibra na ração

Média das variáveis	Níveis de fibra na dieta (%)					
	3,65	4,75	6,00	7,25	8,50	CV(%)
Peso inicial (g)	1,39	1,38	1,39	1,39	1,41	2,30
Peso final (g)	7,27	8,25	7,05	7,36	6,65	20,05
Ganho de peso (g)	5,88	6,87	5,66	5,97	5,25	24,53
Ganho de peso (%)	421,22	497,87	408,59	428,36	372,07	23,66
Conversão alimentar	0,96	0,95	0,97	0,98	0,99	8,14
Sobrevivência (%)	88,00	80,00	84,00	80,00	84,00	17,66

Adaptado de MEURER *et al.* (2001). Letras diferentes em uma mesma linha denotam diferenças significativas ($P>0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

BEDFORD (1995) cita a piora no desempenho de frangos de corte, da qualidade de ovos e da qualidade de cama de aves alimentadas com rações com altos níveis de PNAs. IJI *et al.* (2001) estudando o efeito de diferentes PNAs no desempenho

de frangos de corte, demonstraram a alta correlação entre os PNAs e crescimento de frangos de corte, principalmente os que elevaram a viscosidade intestinal (Tabela 13).

Tabela 13 - Ganho de peso, conversão alimentar e viscosidade ileal e duodenal (cP) de frangos de corte alimentados com rações contendo diferentes fontes de PNA

	Rações							
	Ácido algínico		Goma arábica		Guar		Xantana	
Primeiro período								
Ganho de peso	118,3 a		151,7 a		47,2 b		49,4 b	
Conversão alimentar	2,50 b		2,15 b		5,94 a		5,74 a	
Duodeno	1,00	0,03	1,10	0,07	1,30	0,24	1,20	0,25
Íleo	1,60	0,27 b	1,40	0,17 b	2,50	0,75 ab	4,2	1,91b
Segundo período								
Ganho de peso	549,6 a		619,5 a		310,9 b		260,8 b	
Conversão alimentar	2,22 b		2,04 b		4,06 ab		5,96 a	
Duodeno	1,00	0,02 b	1,00	0,01 b	1,30	0,12 a	1,30	0,15 a
Íleo	1,70	0,06 b	1,60	0,10 b	3,40	1,22 b	21,70	4,56 b

Adaptado de IJI *et al.* (2001). Letras diferentes em uma mesma linha denotam diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os tratamentos pelo teste de Tukey.

A menor taxa de crescimento e a pior conversão alimentar de animais monogástricos, quando alimentados com alimentos com altos níveis de PNAs, são geralmente os fatores relevantes nos animais em crescimento. Entretanto no caso de reprodutores suínos, o aumento da sensação de saciedade e a diminuição do acúmulo de gordura podem ser desejáveis (WENK, 2001).

Utilização de enzimas em rações

A utilização de enzimas em rações para animais não ruminantes, com o objetivo de diminuir o efeito antinutricional dos PNAs têm sido pesquisada (BACH KNUDSEN *et al.*, 1995; STEENFEDT *et al.*, 1995; GDALA *et al.*, 1997b; STEENFEDT *et al.*, 1998; YIN *et al.*, 2000). O efeito da suplementação enzimática pode variar em relação à espécie em questão, o efeito negativo da parede celular sobre o desempenho de suínos é geralmente menor que o encontrado para aves e a melhora obtida com o uso de enzimas exógenas conseqüentemente também (BACH KNUDSEN, *et al.*, 1995).

BEDFORD (1995) enfatiza que a adição de enzimas melhora o desempenho de frangos de corte, a qualidade de ovos de poedeiras e a qualidade da cama, em animais recebendo rações com quantidades elevadas de PNAs como arabinoxilanas e b-glucanos, pela diminuição da viscosidade do bolo alimentar causado pela redução do tamanho da cadeia polissacarídica. STEENFEDT *et al.* (1998) citam que disponibilidade do conteúdo celular, do alimento, pode ser aumentada com a adição de enzimas, pela ruptura da parede celular. YIN *et al.* (2001) citam que o efeito da adição de enzimas é maior em rações contendo uma maior quantidade de substrato.

BACH KNUDSEN *et al.* (1995) utilizaram uma suplementação de enzimas (uma mistura de celulase, b-glucanase, hemicelulase, pentosanase, pectinase e xilanase) em rações para ratos, estudando o seu efeito no grão e diversas frações do grão de trigo; e concluíram que o tratamento com enzimas exógenas despolimerizou e solubilizou uma fração significativa dos PNAs da parede celular, entretanto não apresentou efeito significativo no valor nutritivo do alimento. Entretanto, STEENFEDT *et al.* (1995), trabalhando na mesma linha de pesquisa, com o mesmo alimento e suas frações, porém, com galos, encontraram um efeito significativo do tratamento com enzimas sobre a digestibilidade da energia e proteína.

GDALA *et al.* (1997a) não constataram diferenças significativas da inclusão de enzimas na digestibilidade dos nutrientes em leitões (peso inicial de 9,3 kg) recebendo rações com dois níveis de trigo e centeio, com ou sem "peas" (*P. sativum*). YIN *et al.* (2001), trabalhando com rações contendo grão de trigo, trigo recombinado, farinha e farelo de trigo, com e sem xilanase, evidenciaram um pequeno efeito significativo da inclusão de enzima sobre a digestibilidade total e ileal da matéria seca e proteína, entretanto mais acentuado para as rações contendo farelo de trigo. STEENFEDT *et al.*, 1998, trabalhando com rações com alta inclusão de trigo (>80%) para frangos de corte durante a fase de crescimento e terminação, com adição de enzimas, encontraram um efeito significativo da inclusão de enzimas na digestibilidade da energia, conversão alimentar e percentagem de ganho de peso.

Comentários

O termo PNA engloba uma ampla gama de carboidratos que vêm a ser um problema real na nutrição de peixes, visto a inclusão de níveis cada vez maiores, de ingredientes de origem vegetal nas rações destes animais.

O efeito dos PNAs sobre a nutrição varia em relação ao tipo e nível deste elemento, espécie e idade do animal em questão, entretanto, o aumento da sua concentração na ração, geralmente vem acompanhada da diminuição do desempenho animal.

Mais pesquisas devem ser feitas em relação ao conhecimento do efeito dos PNAs sobre os aspectos produtivos e fisiológicos das diferentes espécies de peixes cultivadas. Além da procura de alternativas de minimizar os possíveis efeitos deletérios, como por exemplo adotar o uso de enzimas exógenas ou do processamento dos alimentos utilizados nas rações.

Referências

- ANDRIGUETTO, J.M. *et al.* 1981. *Nutrição animal. As bases e os fundamentos da nutrição animal – os alimentos*. 4.ed. São Paulo: Nobel.
- ARGENZIO, R.A. 1988. Digestão e absorção de carboidratos, gorduras e proteínas In: SWENSON, M.J. *Dukes fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 263-272.

- ASP, N.G. 1996. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. *Food Chemistry*, 57(1):9-14.
- AUSTIN, S.C., WISEMAN, J., CHESSON, A. 1999. Influence of non-starch polysaccharide structure on metabolisable energy of U.K. wheat fed poultry. *Journal of Cereal Science*, 29:77-88.
- BACH KNUDSEN, K.E. 2001. The nutritional significance of "dietary fiber" analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 90:3-20.
- BACH KNUDSEN, K.E. et al. 1995. The value of decorticated mill fractions of wheat. 1. Chemical composition of raw and enzyme treated fractions and balance experiments with rats. *Animal Feed Science and Technology*, 52:205-225.
- BEAMES, R. M. et al. 1996. A comparison of methods for measuring the nutritive value for pigs of a range of hulled and hulls barley cultivars. *Animal Feed Science Technology*, 65:189-201.
- BEDFORD, M.R. 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 53:145-155.
- BOOTH, M.A. et al. 2001. Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus* IV. Effects of dehulling and protein concentration on digestibility of grain legumes. *Aquaculture*, 196:67-85.
- BULLOCK, G. et al. 2000. Toxicity of acidified chitosan for cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 185:273-280.
- BUREL, C. et al. 2000. Digestibility of extruded peas, extruded lupin, and rapeseed meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 188:285-298.
- CANIBE, N., BACH KNUDSEN, K.E. 1997. Digestibility of dried and toasted peas in pigs. 1. Ileal and total tract digestibilities of carbohydrates. *Animal Feed Science and Technology*, 64:293-310.
- CUI, W. et al. 2000. Physicochemical properties and structural characterization by two-dimensional NMR spectroscopy of wheat b-D-glucan-comparison with other cereal b-D-glucan. *Carbohydrate Polymers*, 41:249-258.
- DZIUK, H.E. 1988. Digestão no estômago de ruminantes In: SWENSON, M.J. *Dukes fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1988. p. 281-298.
- EL-SAYED, A.F.M. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. *Aquaculture*, 179: 149-168.
- ENSMINGER, M.E., OLENTINE, C.G. 1980. *Feeds & Nutrition*. 1.ed. California: Ensminger Publishing Company. 1417p.
- FERGUSON, E.L. et al. 1993. The zinc, calcium, copper, manganese, nonstarch polysaccharide and phytate content of seventy-eight locally grown and prepared African foods. *Journal of Foods Composition and Analysis*, 6:87-99.
- FERGUSON, L.R., HARRIS, P.J. 1998. Suberized plant cell walls suppress formation of heterocyclic amine-induced aberrant crypts in a rat model. *Chemico-Biological Interactions*, 114:191-209.
- FÉRVIER, C. et al. 2001. Predictions of the standardized ileal true digestibility of amino acids from the chemical composition of oilseed meals in the growing pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90:103-115.
- FREIRE, J.P.B. et al. 2000. Effect of dietary fibre source on total tract digestibility, caecum volatile fatty acids and digestive transit time in the weaned piglet. *Animal Feed Science and Technology*, 87:71-83.
- GDALA, J. et al. 1997b. The influence of a-galactosidase supplementation on the ileal digestibility of lupin seed carbohydrates and dietary protein in young pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 67:115-125.
- GDALA, J. et al. 1997a. The digestibility of carbohydrates, protein and fat in the small and large intestine in piglets fed non-supplemented and enzyme supplemented diets. *Animal Feed Science Technology*, 65:15-33.
- GOUVEIA, A., DAVIES, S.J. 2000. Inclusion of an extruded dehulled pea seed meal in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 182:183-193.
- HADIMANI, N.A. et al. 2001. Nature of carbohydrates and proteins in three pearl millet varieties varying in processing characteristics and kernel texture. *Journal of Cereal Science*, 33:17-25.
- HAN, J.Y. 2000. Structural characteristics of arabinoxylan in barley, malt, and beer. *Food Chemistry*, 70:131-138.
- HARRIS, P.J., FERGUSON, L.R. 1999. Dietary fibres may protect or enhance carcinogenesis. *Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443:95-110.
- HAYASHI, C; MEURER, F; BOSCOLO, W. R; et al. Fontes de fibra no desempenho de alevinos de tilápia do Nilo. *Acta Scientiarum*, 22(3): 689-694, 2000.
- HILTON, J.W., ATKINSON, J.L., SLINGER, S.J. 1983. Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*, 40:81-85.
- IJI, P.A., SAKI, A.A., TIVEY, D.R. 2001. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*, 89:175-188.
- LARBIER, M., LECLERCQ, B. 1992. *Nutrition and Feeding of Poultry*. 2.ed. Loughborough: Nottingham University Press. 305p.
- LASSITER, J.M., EDWARDS Jr, H.M. 1982. *Animal nutrition*. Reston: Reston Publishing Company. 451p.
- LEHNINGER, A.L. 1991. *Princípios de Bioquímica*. Sarvier, 725p.
- LEHNINGER, A.L., NELSON, D.L., COX, M.M. 1995. *Principles of Biochemistry*. 2.ed. New York: Worth Publishers. 1013p.
- MACDONALDS, P., EDWARDS, R.A., GREENHALD, J.F.D. 1981. *Animal nutrition*. 3.ed. London: Longman. 479p.
- MAYNARD, L.A., LOOSLI, J.K., HINTZ, H.F. et al. 1984. *Nutrição Animal*. 3.ed. Livraria Freitas Bastos S.A. 756p.
- MEURER, F. et al. Avaliação da fibra bruta no desempenho de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L). In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. *Anais...*Piracicaba: SBZ, 2001, no prelo.
- NAGENGAST, F.M., GRUBBEN, M.J.A.L., VANMUNSTER, I.P. 1995. Role of bile acids in colorectal carcinogenesis. *European Journal of Cancer*, 31(7/8):1067-1070.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. 1993. *Nutrient requirements of fish*. National. Washington, D. C., USA: Academy Press.
- OUHIDA, I. et al. 2000. The effects of sepiolite in broiler chicks diets of high, medium and low viscosity. Productive performance and nutritive value. *Animal Feed Science and Technology*, 85:183-194.
- PEREIRA-FILHO, M. Importância da fibra na nutrição dos peixes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 7, 1992, Peruíbe. *Anais...* Peruíbe: ABRAq, 1992, p.1-10.
- PEZZATO, L.E. Alimentação de peixes: relação custo x benefício. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36, 1999, Porto Alegre. *Anais...*Porto Alegre: SBZ, 1999, p.109-118.
- PEZZATO, L.E. O estabelecimento das exigências nutricionais das espécies de peixes cultivadas. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 1, 1997, Piracicaba. *Anais...*Piracicaba: CBNA, 1997, p. 45-62.
- REFSTIE, S. et al. 1999. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products. *Animal Feed Science and Technology*, 79:331-345.
- SAGUM, R., ARCOT, J. 2000. Effect of domestic processing methods on the starch, non-starch polysaccharides and in vitro starch and protein digestibility of three varieties of rice with varying levels of amylose. *Food Chemistry*, 70:107-111.
- SÁNCHEZ-CASTILLO, C.P. et al. 1999. The non-starch polysaccharides content of Mexican foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12:293-314.
- SASAKI, T., YASUI, T., MATSUKI, J. 2000. Influence of non-starch polysaccharides isolated from wheat flour on the gelatinization and gelation of wheat starches. *Food Hydrocolloids*, 14:295-303.
- SHIAU, S.H., YU, Y.P. 1999. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Aquaculture*, 179:439-446.
- SHIAU, S.Y. 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish – with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Aquaculture*, 151:79-96.
- SHIAU, S.Y. et al. 1989. Effects of dietary fibre on the intestinal absorption of dextrin, blood sugar level and growth of tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Journal of Fish Biology*, 34:929-935.
- SHIAU, S.Y. et al. 1988. The influence of carboxymethylcellulose on growth, digestion, gastric emptying time and body composition of tilapia. *Aquaculture*, 70:345-354.
- SIDDHURAJU, P., BECKER, K. 2001. Preliminary nutritional evaluations of Mucuna seed meal (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) in common carp (*Ciprinus carpio* L.): an assessment by growth performance and feed utilization. *Aquaculture*, 196:105-123.
- STEENFEDT, S. et al. 1998. Enzyme supplementation of wheat-based diets for broilers. 2. Effect on apparent metabolisable energy content and nutrient digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 75:45-64.
- STEENFELDT, S. et al. 1995. The nutritive value of decorticated mill fractions of wheat. 2. Evaluation with raw and enzyme treated fractions using adult cockerels. *Animal Feed Science and Technology*, 54:249-265.
- WENK, C. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90:21-33.
- WILSON, R.P. Fish feed formulation and processing. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE NUTRIÇÃO E CRUSTÁCEOS, 1, 1995, Campos de Jordão. *Anais...*Campos do Jordão: CBNA, 1995. p.53-68.
- YIN, Y.L. et al. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livestock Production Science*, 62:119-132.
- ZONNEVELD, N.; ZON, H.V. 1985. The biology and culture of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), with special reference to their utilization for weed control In: MUIR, J.F., ROBERTS, R.J. *Recent advances in aquaculture*. Bolder: Westview Press. p119-192.

Recebido para publicação em 27/07/2002.

Received for publication on 27 July 2002.

Recibido para publicación en 27/7/2002.

Aceito para publicação em 30/04/2003.

Accepted for publication on 30 April 2003.

Acepto para publicación en 30/04/2003.