



A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura

José Eurico Possebon Cyrino¹, Álvaro José de Almeida Bicudo², Ricardo Yuji Sado³, Ricardo Borghesi⁴, Jony Koji Dairiki⁵

¹ Universidade de São Paulo [USP], Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz [ESALQ], Departamento de Zootecnia [LZT]; Av. Pádua Dias, 11; Caixa Postal 09; 13418-900 – Piracicaba – SP, Brasil.

² Universidade Federal Rural de Pernambuco; Unidade Acadêmica de Garanhuns; Av. Bom Pastor s/nº; 55296-901 – Garanhuns – PE, Brasil.

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, "campus" Dois Vizinhos, Coordenação de Zootecnia; Estrada para Boa Esperança, km 04; 85660-000 – Dois Vizinhos – PR, Brasil.

⁴ ESALQ-USP, Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição [LAN]; Av. Pádua Dias, 11; Caixa Postal 09; 13418-900 – Piracicaba – SP, Brasil.

⁵ ESALQ-USP-LZT; Av. Pádua Dias, 11; Caixa Postal 09; 13418-900 – Piracicaba – SP, Brasil.

RESUMO - Embora a ciência da nutrição de peixes esteja longe de estabelecer um padrão geral de exigências nutricionais, a necessidade de desenvolvimento de alimentos de baixo impacto poluente há muito faz parte da agenda das comunidades científica e empresarial internacional da aquicultura. Não só é absolutamente possível formular alimentos ambientalmente corretos, como é necessário modelar a formulação destes alimentos. Porém, é necessária absoluta acurácia para atender formulações espécie-específicas, considerando-se as interações da biologia e fisiologia nutricional das espécies com os alimentos e com as variações abióticas do meio. O conhecimento disponível sobre as mais de 200 espécies de peixe produzidas comercialmente no mundo é ainda incipiente e os sistemas de produção de peixe, nos diferentes regimes de exploração, estão implantados em todas as condições ecológicas possíveis. Neste cenário, produzir rações ambientalmente corretas é, senão impossível, pelo menos muito difícil e depende da ação coordenada e positiva de produtores, indústria da alimentação, agências regulatórias, e instituições de ensino e pesquisa para definir os parâmetros necessários à consecução deste objetivo.

Palavras-chave: ambiente, nutrição, piscicultura, rações

Fish farming and the environment – the use of environmental friendly feeds in fish culture

ABSTRACT - Although fish nutrition science is far from establishing general standards of nutritional requirements, the need for developing low impact feeds has long been included in the agenda of aquaculture's international scientific and business communities of. Not only is absolutely possible to formulate environmental friendly feeds, as it is necessary modeling the formulation of these feeds. However, it is necessary higher accuracy to develop species-specific formulations, considering interactions of the biology and nutritional physiology of the species with the feedstuffs and variations of abiotic environment. The knowledge on more than 200 species of commercially farmed fish is still incipient and fish production systems, in their most varied farming conditions, are set up in every possible ecological conditions. In this scenario, producing environmental friendly feeds is if not impossible, at least very, very difficult, depending on coordinated and positive action of producers, industry, regulatory agencies, and institutions of higher education and research to define the parameters needed to achieve this goal.

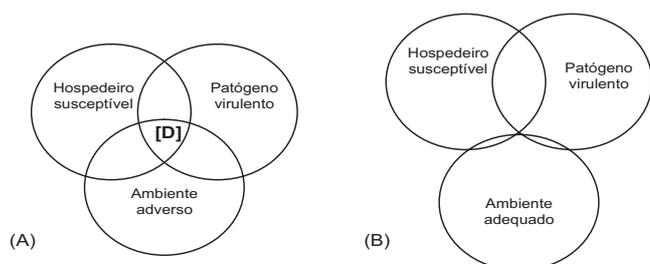
Key Words: environment, fish culture, feeds, nutrition

Introdução

A ciência da nutrição de peixes está longe de estabelecer um padrão geral de exigências nutricionais. Peixes são animais pecilotérmicos, com dependência direta e indireta do ambiente, portanto mais afetados pelas variações de condições ambientais que animais terrestres. Os hábitos

alimentares e as dietas dos peixes não só influenciam diretamente seu comportamento, integridade estrutural, saúde, funções fisiológicas, reprodução e crescimento, como também alteram as condições ambientais do sistema de produção – qualidade da água. Então, a otimização do crescimento dos peixes só pode ser alcançada através do manejo concomitante da qualidade de água, nutrição e

alimentação. A alimentação excessiva ou o uso de rações não balanceadas reduzem a absorção de nutrientes pelos peixes, o que pode resultar em excesso de matéria orgânica nos sistemas de produção. Em condições tropicais, esta matéria orgânica seria mineralizada rapidamente. Nutrientes regenerados neste processo estariam prontamente disponíveis para o florescimento do fitoplâncton, reduzindo transparência e alterando a qualidade da água, especialmente reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido no período noturno, induzindo estresse respiratório e bioquímico com sérios riscos à saúde dos peixes e possíveis perdas no sistema de produção. Este cenário está muito bem resumido nos diagramas a seguir, propostos por Meyer et al. (1983)¹: a inter-relação hospedeiro-patógeno-ambiente com desenvolvimento de doença [D] causada pelo estresse ambiental (A), ou sem desenvolvimento de doenças, quando as condições ambientais favorecerem o peixe (B).



Em uma terceira condição, peixes permaneceriam saudáveis quando patógenos virulentos estivessem ausentes no sistema de produção, uma situação improvável em ecossistemas aquáticos. Sistemas intensivos de piscicultura são caracterizados por altas densidades de estocagem e uso de rações completas, com altos teores de proteína e energia. Como consequência, os peixes eliminam altas quantidades e são expostos a altas concentrações de metabolitos, especialmente amônio e amônia não ionizada (NH_4^+ e $\text{NH}_3\text{-N}$) e nitrito (NO_2^-), têm sua demanda por oxigênio dissolvido na água bastante aumentada, e ficam ainda sujeitos ao estresse (Urbinati & Carneiro, 2004) condicionado pelas variações dos parâmetros de qualidade da água nos sistemas aquaculturais (Boyd, 1979, 1982; 1990). A discussão que segue tem como alvo estratégias nutricionais que promovam o equilíbrio da interação entre

sistemas de aquicultura e ambiente, enfatizando o papel da nutrição e manejo alimentar dos peixes na produtividade dos sistemas e qualidade e segurança ambientais.

A aquicultura e o ambiente

A água pode representar mais de 70% do peso dos organismos vivos, terrestres e aquáticos. Então, a água é o recurso natural mais importante na Terra, essencial para a sobrevivência de todos os organismos vivos. Em países ou áreas com recursos hídricos abundantes, problemas relacionados à escassez e poluição da água são menos perceptíveis, mas nem por isso menos preocupantes. Não se discute mais o “se”; o fluxo de nutrientes no meio aquático é alterado pelos sistemas de produção de organismos aquáticos (Schoreder et al., 1991). Está suficientemente bem provado que a piscicultura e as práticas de alimentação e nutrição dos peixes confinados têm impacto ambiental mais ou menos severo, conforme a intensidade do regime de produção (Boyd, 1999; Crampton, 1985; Emerson, 1999; Iwama, 1991; Kaushik & Luquet, 1991; Ketola, 1985; Monte-Luna et al., 2004; Pullin et al., 1993; Shell, 1993).

O “Training Course in Fish Feed Technology”, patrocinado pela Food and Agriculture Organization – FAO, e realizado em Seattle, WA, EUA, em 1979, resultou em publicação homônima que, entre capítulos dedicados à bioquímica nutricional, com destaque para a bioquímica de proteínas e aminoácidos (Halver, 1980); à avaliação, seleção e uso de alimentos; e à formulação de rações para organismos aquáticos, já incluía a discussão sobre bioenergética nutricional dos peixes (Smith, 1980). Embora Hardy (1998a, b) considere que na década de 1970 a indústria da aquicultura fabricava alimentos que apenas “sustentavam o crescimento e não matavam os peixes”, entendemos que as discussões sobre bioenergética em peixes prenunciavam, há mais de duas décadas, as futuras discussões sobre conservação de energia em piscicultura, ou seja, a redução da emissão de metabolitos e excretas pelos peixes confinados. Entretanto, ainda segundo Hardy (1998a, b; 2002a), foi somente com a realização do Terceiro Simpósio Internacional sobre Alimentação e Nutrição de Peixes (Toba, Japão) que a necessidade de desenvolvimento de alimentos de baixo impacto poluente foi trazida à atenção da comunidade internacional da aquicultura, através da apresentação de H. Kossman², então Ministro do Meio Ambiente da Dinamarca.

Como exemplo prático desta conscientização pode-se

¹ MEYER, F.P.; WARREN, J.W.; CAREY, T.G. *A guide to integrated fish health management in the great lakes basin*. Great Lakes Fishery Commission, Special Publication 83-1. Ann Arbor, MI, USA, 1983.

² KOSSMAN, H. Present status and problems of aquaculture in the Nordic countries with special reference to fish feed. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FEEDING AND NUTRITION IN FISH, 3., 1989, Toba, Japan. *Proceedings...* Toba, Japan, 1989. p.27-39.

citar a implantação de códigos e práticas de conduta – “Best Management Practices” (BMP – Código de Melhores Práticas de Manejo) pelos produtores do bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*) no estado de Alabama, EUA, a fim de reduzir o volume e melhorar a qualidade de efluentes de tanques de produção, melhorando a qualidade de água e reduzindo a carga poluente de corpos d’água naturais circunvizinhos (Boyd, 2003; Boyd & Queiroz, 2004). Regulamentações ambientais pioneiras do Estado do Idaho, EUA, fizeram com que produtores de truta arco-íris também adotassem BMPs a fim de reduzir a liberação de efluentes: otimizaram as práticas alimentares e incrementaram o uso de ingredientes com baixo nível de fósforo na fabricação de rações (MacMillan et al., 2003). Um sério esforço de pesquisa e desenvolvimento vem sendo feito nesta área de estudo (Alarcón et al., 2002; Bolasina & Fenucci, 2005; Gatlin et al., 2007; Gaylord & Rawles, 2005; Green et al., 2002; Krishnankutty, 2005; Robinson et al., 2004; Tidwell et al., 2005), aliado à vertente da pesquisa tecnológica para desenvolver técnicas de separação, retenção e tratamento de resíduos sólidos ou dissolvidos da aquicultura, piscicultura em particular (Boopathy et al., 2005; Chen et al., 1997; Chen, 1998; Fernandes et al., 2001; Gelfand et al., 2003; Losordo, 1998a, b; Mortula & Gagnon, 2006; Pan et al., 2007; Shnel et al., 2002), práticas de operacionalização difícil e cara (Cho & Bureau, 2001), dado o grande poder de dissolução e dispersão da água – o solvente universal.

A América do Sul como um todo, o Brasil em particular, concentra as maiores bacias hidrográficas do mundo. O território brasileiro concentra aproximadamente 12 a 15% de toda água doce disponível no planeta. A água é um recurso natural reciclável, mas não renovável. Então, o uso indisciplinado da água, associado a práticas potencialmente poluentes, como descarga de esgoto não tratado, tanto de uso doméstico como industrial, e o uso indiscriminado de pesticidas e outros poluentes, pode degradar totalmente coleções de água doce, e exterminar espécies animais e a vida vegetal associada e, como consequência prejudicar o ser humano e a vida animal, em curto a médio prazo. A preocupação ambiental trouxe à luz o conceito de desenvolvimento sustentável – o uso, administração e

conservação de recursos naturais – e mudanças tecnológicas e institucionais que podem assegurar provisão contínua de água doce de qualidade, que satisfaça as necessidades dos seres humanos atuais e o bem estar de gerações futuras (FAO, 1988).

O desenvolvimento sustentável de atividades agrícolas, incluindo a piscicultura, deve preservar a terra, a água, a flora e a fauna, ser tecnicamente correto, economicamente viável, e socialmente desejável. Piscicultura – a produção e reprodução de peixes em condições controladas (Avault, 1996; McLarney, 1984) – tem a água como sua principal fonte de oxigênio (o combustível para todas as reações e processos fisiológicos), mas também como seu meio para dispersão e assimilação de resíduos (Tabela 1; Figuras 1 e 2). O impacto ambiental da aquicultura resulta principalmente no enriquecimento de coleções de água com nutrientes (Schroeder et al., 1991) e sólidos dissolvidos (Naylor et al., 1999). Acumulação de matéria orgânica e metabolitos em reservatórios, tanques e viveiros afeta negativamente o crescimento e a sobrevivência dos peixes. Desta forma, adaptar a piscicultura aos conceitos de desenvolvimento sustentável da aquicultura é um desafio real, como já consideravam Pullin et al. (1993) e Shell (1993), por exemplo.

Entretanto, o impacto da piscicultura é quase desprezível em comparação ao impacto ambiental de efluentes domésticos e industriais. No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente [CONAMA] aprovou a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, fixando novos limites para parâmetros de qualidade de água em efluentes, incluindo a aquicultura. Torna-se então necessário que as agências ambientais, autoridades e produtores redobrem a atenção em relação ao conceito freqüentemente negligenciado de capacidade de sustentação de sistemas de produção (Hepher, 1978), diretamente relacionado à disponibilidade e concentração de recursos finitos – espaço, oxigênio dissolvido, disponibilidade de alimentos, concentração de metabolitos etc. – todos, por sua vez, diretamente influenciados pela qualidade dos alimentos, densidade nutricional, densidade de estocagem de peixes, e práticas e estratégias de manejo da qualidade de água (Hilborn et al., 1995; Monte-Luna et al., 2004).

Tabela 1 - Balanço de matéria seca, nitrogênio e fósforo em um sistema de produção de tilápias (Boyd & Queiroz, 2004)

Variável	Matéria seca	Nitrogênio	Fósforo
Alimento (10.139 kg ha ⁻¹)	9.287	505	124
Peixe (7.267 kg ha ⁻¹ peso vivo)	1926	164	58
Carga residual (kg ha ⁻¹)	7361	341	66
Remoção na despesca (% da adição)	20,7	32,5	46,8

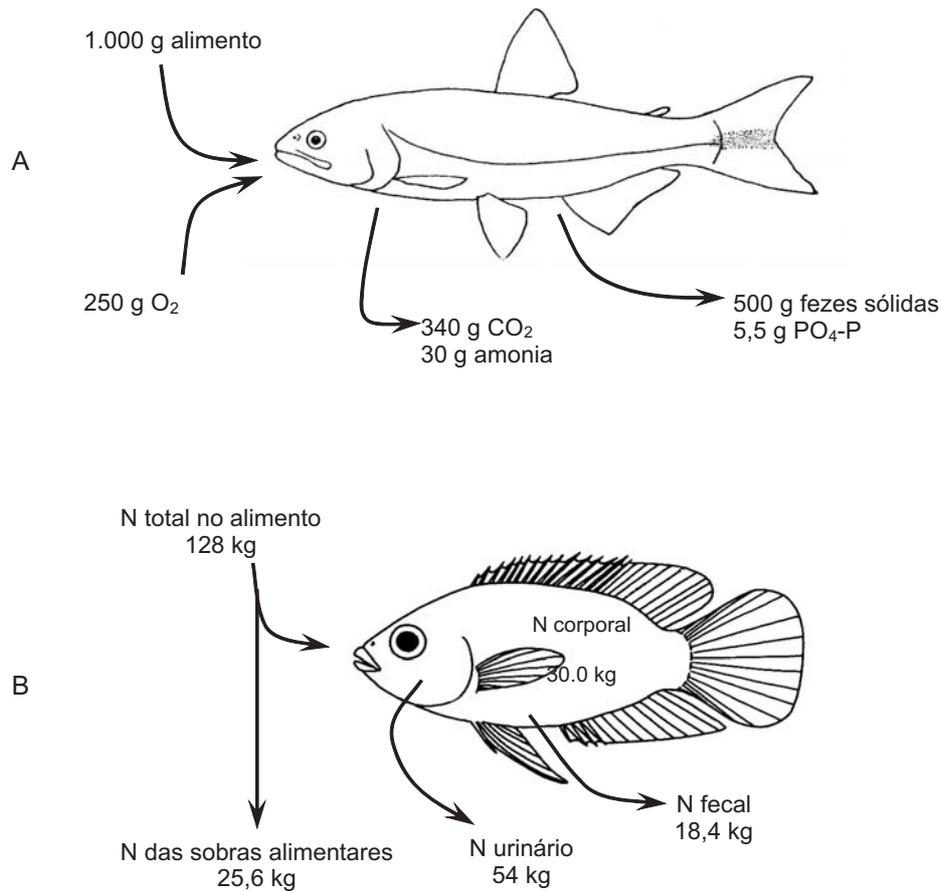


Figura 1 - Excreção (A) e balanço de nitrogênio (B) para a produção de 1,0 t de tilápia, modificado de Colt (1991) e Beveridge & Phillips (1993), respectivamente.

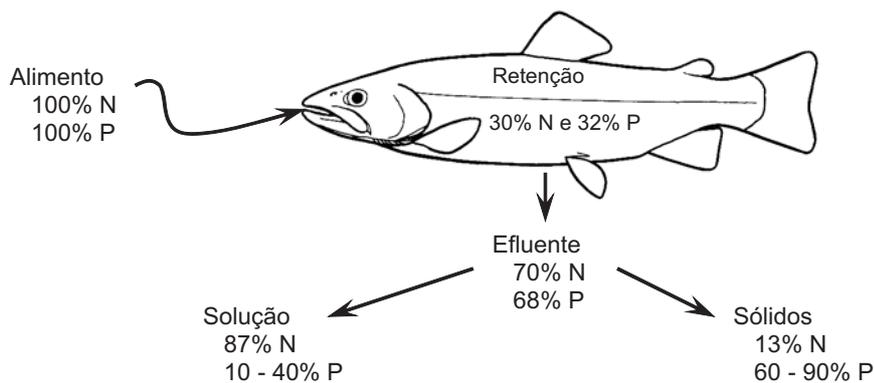


Figura 2 - Taxas esperadas de retenção e excreção de nitrogênio e fósforo ingeridos como alimento pelos peixes, mas formas sólida ou solúvel (Modificado de: RAMSEYER, L.J.; GARLING, D.L. Fish nutrition and aquaculture waste management. Typescript available at <http://aquanic.org/publicat/state/il-in/ces/garling.pdf> (Acesso em: 27/1/2006).

Nutrição de peixes e efluentes da piscicultura

Efluentes são quaisquer resíduos orgânicos ou inorgânicos de quaisquer atividades agrícolas, urbanas ou industriais, descartados no ambiente, tratados ou não. A qualidade e a quantidade dos efluentes da aqüicultura variam em função do sistema de produção, técnicas de manejo e estratégia de produção adotada (Colt, 1991; Zaniboni Filho, 1999).

O uso de alimentos e rações, e o conseqüente manejo nutricional dos peixes, definirão a severidade do impacto ambiental causado pela piscicultura, em proporção direta com a intensificação dos sistemas de produção. Em sistemas intensivos, alimentos industrializados (rações) são a fonte principal ou exclusiva de nutrientes para os peixes, e podem representar até 70% dos custos de produção (Lovell, 1998). Se o aumento da produtividade é a meta principal dos nutricionistas, a formulação de dietas de impacto ambiental mínimo deve ser sua obsessão, uma vez que piora da qualidade da água nos sistemas de produção afeta negativamente o desempenho dos peixes e, por conseqüência, a produtividade e rentabilidade dos sistemas (Beveridge & Phillips, 1993; Tacon & Forster, 2003) (Figura 3).

Sobras alimentares e fezes são as principais fontes de resíduos (poluentes) em efluentes de piscicultura intensiva. Muitos fatores determinam o papel dos alimentos para organismos aquáticos como agentes de impacto ambiental: digestibilidade, palatabilidade, estabilidade na água, origem das fontes de proteína (animal ou vegetal), hábito alimentar das espécies, e composição química do alimento, entre outros (Barak et al., 2003; De Silva & Anderson, 1995; Heinen et al., 1996; Kuz'mina, 2008).

Fósforo (P) e nitrogênio (N) estão entre os resíduos da aqüicultura que podem causar eutrofização considerável nas coleções de água (Green et al., 2002). Descarga indiscriminada de N e P no ambiente aquático, especialmente em água doce, é preocupante, uma vez que P é o nutriente mais limitante para produção primária de algas e, então, o mais impactante. O mesmo é verdade em relação a descargas de N, especialmente em ambientes marinhos.

Descarte de N e P leva ao super-florescimento de algas e à super-eutrofização do meio (Boyd, 1979; 1990). Algas que crescem em ambientes eutróficos podem causar toxidez aos animais aquáticos e degradar potenciais produtos da aqüicultura (por exemplo, o gosto de barro dos filés de peixes – “off flavor” – causado pela exposição à geosmina,



Figura 3 - Diferenças entre sistemas de produção extensivos, semi-intensivos e intensivos convencionais em relação ao uso de insumos e recursos e potencial risco ambiental (adaptado de Tacon & Foster, 2003).

um subproduto do metabolismo de algas fixadoras de N, especialmente a *Anabaena* sp.) (Barak et al., 2003; Beveridge & Phillips, 1993; Coloso et al., 2003; Kibria et al., 1997).

A assimilação de P dietético pelos peixes varia com a quantidade e, principalmente, a fonte dietética de fósforo. Utilizar níveis dietéticos de P ajustados cuidadosamente às exigências nutricionais dos peixes e alimentos altamente digestíveis é o modo mais seguro para evitar perdas excessivas de P e poluição da água. Concentração de amônia na água é outro fator que limita a produtividade na piscicultura. Dependendo da biomassa acumulada ou densidade de estocagem, e composição das dietas, a excreção de nitrogênio pode alcançar níveis crônicos ou letais em um sistema de piscicultura, ou resultar também em super-eutrofização e conseqüente “quebra” de um determinado sistema de produção (Coloso et al., 2003; Hardy & Gatlin III, 2002; Leung et al., 1999).

Uma série de alternativas, como a construção de bacias de sedimentação (Boyd, 2003; Tacon & Foster, 2003), o uso de biofiltros (Bergheim & Brinker, 2003; Rijin et al., 2005), e o fito-tratamento (Colt, 1991; Porello et al., 2003), reduzem consideravelmente a concentração de N e P no meio e podem ser usadas para diminuir impacto ambiental de efluentes de aquíicultura. Porém, ao invés de construir e utilizar estruturas complexas de tratamento de lodo e efluentes, que certamente aumentariam custos de produção (Kouka & Engle, 1996), a adoção de práticas simples e efetivas de manejo da qualidade da água e gerenciamento ambiental, com ênfase no uso de rações balanceadas, saudáveis, estritamente ajustadas às exigências dos peixes, reduziria significativamente o potencial poluente da piscicultura. A adoção de práticas e soluções simples, mas efetivas, ainda exige sérios esforços de pesquisa. O certo é que tanto os setores privado como governamental, que não considerarem estes fatores no planejamento, operação e regulamentação de sistemas de piscicultura, enfrentarão problemas relacionados à segurança ambiental e alimentar, qualidade da água, surtos epizooticos e baixa taxa de sobrevivência que, individual ou conjuntamente, podem inviabilizar técnica e economicamente um sistema de produção (Lovshin, 2000).

Nutrição de peixes, higidez e ambiente

Uma primeira conseqüência de alterações indesejáveis de qualidade da água é a ocorrência do estresse nos peixes, o que aumenta concentrações de cortisol plasmático (Espelid et al., 1996; Harris & Bird, 2000), um hormônio que induz imunossupressão (Urbinati & Carneiro, 2004) e reduz a resistência dos peixes a infecções bacterianas e fungais, efeito explicado em parte pela diminuição da quimiotaxia, da

fagocitose, e da produção de óxido nitroso pelos leucócitos, atividades importantes nas respostas inflamatórias (Harris & Bird, 2000). Estresse causado por ambiente insalubre reduz o consumo de alimento e, por conseguinte, o ganho de peso; estende ciclo de produção; aumenta o risco de ocorrência de epizootias e mortandade e morbidez de doenças; e reduz a rentabilidade das operações pelo aumento dos custos de produção associados ao uso sistemático de medicamentos e necessidade de serviço veterinário especializado.

O sistema imune dos peixes é não específico (Plumb, 1999) e ataca tanto microorganismos como qualquer outro corpo estranho ou molécula circulante; brânquias e pele são a linha de defesa primária (físico-química) contra agentes infecciosos, auxiliadas pelo muco que imobiliza e destrói patógenos invasores. Sistemas intensivos são densamente povoados. Como conseqüência, são também propensos a surtos de doenças. Doenças de peixes podem ser controladas com o uso de quimioterápicos, vacinas ou imunoestimulantes.

O uso (indevido) terapêutico indiscriminado de quimioterápicos e antibióticos ensejou o aparecimento de cepas bacterianas resistentes, e teve (tem) que ser restringido ou até mesmo descontinuado. O uso profilático de vacinas e imunoestimulantes ainda é incipiente, uma vez que protegem os peixes contra apenas alguns patógenos. Imunoestimulantes não são tão efetivos quanto quimioterápicos e vacinas, mas agem sobre uma gama mais ampla de patógenos e necessitam ser usados por períodos mais curtos. Em adição, imunoestimulantes são ambientalmente seguros e, desta forma, aparecem como ferramentas potenciais importantes para minimização de perdas econômicas que resultam de surtos de doenças na piscicultura intensiva (Bricknell & Dalmo, 2005; Sakai, 1999).

Dietas podem influenciar parâmetros imunológicos, como número de leucócitos e produção de anticorpos. Nutrientes como as vitaminas E e C influenciam notadamente o sistema imune dos peixes. Ambos têm a mesma função biológica: são antioxidantes potentes, e protegem macromoléculas celulares (DNA, proteínas, lipídios) contra oxidação por radicais livres durante o metabolismo normal, ou em condições adversas, como doenças, estresse e poluição e desconforto térmico (Landolt, 1989; Blazer, 1991; Chen et al., 2004; Sitja-Bobadilla & Perez-Sanchez, 1999; Lall, 2000; Alcorn et al., 2003).

Uma experiência interessante relacionada à adequação (“design”) da dieta ao regime climático e à especificidade estacional do sistema imunológico dos peixes foi relatada por Luzzana et al. (2003). Quando a temperatura da água é

inferior a 11°C, a dourada (perca) *Sparus aurata* apresenta a síndrome do inverno, caracterizada por imunossupressão, desequilíbrio energético nutricional (distúrbio do metabolismo lipídico) e disfunção das membranas corporais. Douradas produzidas comercialmente em gaiolas e alimentadas experimentalmente com uma “dieta de inverno” – dieta nutricionalmente densa, meso-energética e super-protéica (níveis mais elevados de vitaminas E e C, colina, inositol, aminoácidos livres, ácidos graxos poli-insaturados, fosfolípidios, micro-minerais e palatibilizantes) – mantiveram ganho de peso, o fator de condição corporal e o índice de conversão alimentar superiores a peixes alimentados com dietas comerciais controle; apresentaram ainda melhores índices de sobrevivência e melhores condições gerais de sanidade histológica do trato gastro-intestinal e tecido hepático – saúde imunológica.

Estudos recentes também encorajam o uso dos probióticos na aquicultura. Probióticos, palavra de origem grega que significa “a favor da vida”, tiveram sua definição substancialmente alterada com o tempo. Lilly & Stillwell (1965) definiram probióticos como substâncias secretadas por protozoários que estimulariam o crescimento de outros microorganismos. Parker (1974) redefiniu probióticos como suplementos alimentares, inclusive microorganismos, que acrescentados a alimentos e rações alterariam o equilíbrio da micro biota intestinal dos animais. Esta definição foi aperfeiçoada por Fuller (1989), para quem probióticos são bactérias vivas que suplementadas (adicionadas) aos alimentos favorecem o equilíbrio da micro-biota intestinal de um “hospedeiro”, com efeitos benéficos. Porém, a perspectiva de uso em aquicultura tornou necessário expandir o conceito de probiótico. Gatesoupe (1999) sugeriu que probióticos passassem a ser definidos alternativamente como células microbianas que quando administradas a animais, colonizam o trato gastrointestinal e permanecem viáveis, melhorando sua saúde. Probióticos podem ser usados na piscicultura através (i) da adição de células microbianas em tanques de larvicultura e alevinagem a fim de modificar a composição da flora ambiental, diminuindo a presença de patógenos na água, e (ii) da adição de células microbianas em rações para peixes, com o objetivo de modificar a flora intestinal através do mecanismo de exclusão competitiva (Coppola & Turnes, 2004; Irianto & Austin, 2002).

Prébióticos são uma classe de aditivos (suplementos) alimentares, orgânicos ou inorgânicos, indigeríveis e não absorvíveis, que estimulam seletivamente o crescimento ou ativam o metabolismo de bactérias benéficas, simbióticas,

no lúmen intestinal dos peixes (Li & Gatlin III, 2004). A aplicabilidade e o uso de probióticos e prébióticos em aquicultura necessitam de melhor compreensão, por exemplo, a determinação precisa do mecanismo que possibilita o efeito benéfico de cada produto. É necessário saber se o microorganismo, molécula ou substância química (i) de fato modificou a micro biota intestinal do hospedeiro; (ii) teve um efeito indireto no hospedeiro através da melhoria da qualidade da água no sistema; (iii) ou houve uma ação antagônica da substância ou célula sobre os patógenos externos, livre no ambiente (Gatesoupe, 1999)?

Muitas substâncias têm sido testadas e aprovadas para uso como imunostimulantes ou imunomoduladores em aquicultura. O uso de imunostimulantes e imunomoduladores em aquicultura é uma área de estudos muito promissora (Harris & Bird, 2000; Malina et al., 2002, 2005; Jeney & Anderson, 1993; Rahman & Kawai, 2000; Sakai, 1999; Vendemiatti et al., 2003). Entretanto, nenhum suplemento alimentar ou agente medicinal pode ser tão efetivo quanto uma estratégia “limpa” de produção, ancorada no uso de rações ambientalmente corretas.

Exigências nutricionais, rações, ingredientes, suplementos alimentares e o ambiente

O crescimento da aquicultura como agroindústria e a intensificação de estratégias de produção condicionaram a busca por ingredientes de alta qualidade que permitam a formulação e o processamento de dietas nutricionalmente completas e economicamente viáveis, maximizando a produção de pescado e minimizando o impacto ambiental de sistemas de produção. Tarefa nada fácil, esta. Como resultado de variação na qualidade da matéria-prima, armazenamento e técnicas de processamento, a composição química de ingredientes para rações, tanto de origem animal como vegetal, varia principalmente com respeito ao conteúdo de aminoácidos.

Por exemplo, Opstvedt et al. (2000) avaliaram o efeito do uso de farinha de peixe fabricada com matéria-prima deteriorada no crescimento e consumo alimentar do salmão do Atlântico (*Salmo salar*), e observaram redução do ritmo de crescimento e no consumo de alimento, e piora na conversão alimentar, em comparação a animais alimentados com farinha de peixe fabricada com matéria-prima fresca. Alterações histológicas no tecido hepático e no epitélio digestivo também foram registradas. Estas alterações comportamentais e patológicas resultaram em aumento das perdas alimentares e da eliminação de material fecal indigerido, que levaram (como podem sempre levar) a baixa qualidade de água no sistema de produção.

Subprodutos animais de qualidade normalmente têm conteúdos de aminoácidos essenciais (limitantes) mais altos, e melhor perfil de aminoácidos totais; eles também são boas fontes de energia digestível, ácidos graxos essenciais e vitaminas, e apresentam um efeito atrativo adicional e interessante para os peixes (Furuya, 2001). A farinha de peixe (FP), a mais comumente utilizada fonte de proteína para alimentos aquáticos – 51 a 72% proteína bruta (PB) e 1,67 a 4,21% P – é considerada o alimento padrão da indústria e nos estudos de nutrição de peixe, em função de seu perfil de aminoácidos e conteúdos de vitaminas lipó e hidrossolúveis adequados (Pezzato, 1995; Masumoto et al., 1996). Porém, quando acontece o fenômeno “El Niño”, a produção de FP diminui 20%, comprovando a íntima relação entre a produção e oferta de FP com a captura mundial de pescado (Cheng et al., 2003b). Então, por causa do alto custo e possível escassez temporária no mercado mundial, a procura por um substituto adequado (total ou parcial) para FP, tanto por seu valor nutricional como relação custo-benefício, continua interessante (Chong et al., 2002; Fontainhas-Fernandes et al., 1999; Kaushik et al., 2004; Stone et al., 2000).

Fontes vegetais de proteína comumente apresentam menor digestibilidade, são deficientes em metionina e lisina, e podem apresentar fatores anti-nutricionais: (i) fatores que afetam o uso e digestão da proteína, por exemplo, inibidores de protease, taninos e lecitina; (ii) fatores que afetam o uso de minerais, por exemplo, fitatos (ácido fítico), gossipol, oxalatos e glucosinolatos; (iii) anti-vitaminas; e (iv) outros, como toxinas microbianas (micotoxinas), alcalóides, saponinas, nitrato e fito-estrógenos. Estes fatores também podem ser classificados de acordo com sua resistência a processos térmicos. O grupo termo-lábil inclui inibidores de protease, fitatos, lecitina, tiro-toxinas, e anti-vitaminas; os fatores termo-estáveis são representados pelas saponinas, polisacarídeos não-amiláceos, proteínas antigênicas, e compostos fenólicos (Francis et al., 2001).

O farelo de soja (FS) – 44,8 a 50% proteína e 0,6 a 0,7% P (somente) (NRC, 1993; Butolo, 2002) – é a fonte de proteína vegetal que até o momento mereceu mais atenção e esforços de pesquisa. Embora não tenha um perfil balanceado de aminoácidos (especialmente aminoácidos sulfurosos), é o substituto mais satisfatório para a farinha de peixe por causa de seu relativamente baixo custo e bom valor nutricional. Deficiências em aminoácidos do FS podem ser corrigidas pela inclusão de aminoácidos sintéticos nas rações. Porém, porque aminoácidos sintéticos dietéticos estão prontamente disponíveis e rapidamente absorvidos, eles podem alcançar picos de níveis plasmáticos logo após

ingestão do alimento e, por conseguinte, aumentar a excreção de nitrogênio (amônio), o uso de aminoácidos sintéticos nas dietas exige parcelamento cuidadoso da ração diária dos peixes (para estabilizar concentração plasmática e otimizar a utilização de aminoácidos) (El-Saidy & Gaber, 2002; Peisker, 2001; Tantikitti & March, 1995; Yamada et al., 1981).

Substituir ingredientes de origem animal por ingredientes de origem vegetal é uma prática completamente consolidada. Porém, porque os resultados são espécie-específicos, variam com condições ambientais e sistema de produção, e nem sempre a redução de efeitos poluentes (possível resultado da menor excreção de metabolitos) é acompanhada do melhor desempenho, padrões e níveis de substituição ideais ainda não estão bem estabelecidos (Davies & Morris, 1997; Mambrini et al., 1999; Cheng et al., 2003a; Tantikitti et al., 2005).

Considerando que alguns alimentos (ingredientes) podem apresentar alto conteúdo de nutrientes de baixo valor biológico, o valor nutricional de um determinado ingrediente deve ser representado não somente pela sua composição química, mas também por quão boa fonte de nutrientes ou energia o ingrediente é. As várias fontes de proteína disponíveis não têm valor nutricional e conteúdo de aminoácidos essenciais idênticos, tanto quantitativa como qualitativamente (Furuya, 2000; Higuera, 1987; NRC, 1993; Portz & Cyrino, 2003). Então, a avaliação de uma determinada fonte de proteína deve ser feita também com base na digestibilidade dos seus aminoácidos (Peisker, 2001; Portz, 2001b).

Fontes de proteína de baixo valor biológico têm muito nitrogênio não-protéico, e quando ingeridas pelos peixes, aumentam a produção e excreção de amônio, deteriorando a qualidade local da água e ameaçando a produtividade dos sistemas de piscicultura (Cho, 1990, 1992). A acumulação de amônia não-ionizada no ambiente está diretamente relacionada com o pH e temperatura da água: quanto mais alta temperatura e pH da água, mais alta a porcentagem relativa de amônia não-ionizada no ambiente aquático (Tabela 2), e mais alta a incidência de lesões branquiais e toxicidade aguda, uma vez que o sistema circulatório dos peixes absorverá grandes quantidades do metabolito. Também o nitrito (NO_2), um composto intermediário no ciclo do nitrogênio, pode trazer danos aos peixes. Quando passivamente absorvido pelos peixes (porque está em alta concentração na água), o nitrito liga-se irreversivelmente à hemoglobina e forma a metahemoglobina, uma forma de pigmento circulatório que não transporta oxigênio; nestas condições, os peixes são

Tabela 2 - Porcentagem de amônia não-ionizada (NH₃-N) na água doce em função da temperatura e pH¹

pH da água	Temperatura (°C)				
	12	16	20	24	28
7,0	0,22	0,29	0,39	0,52	0,69
8,0	2,12	2,86	3,81	5,02	6,54
9,0	18,82	22,83	28,36	34,56	41,46
10,0	68,84	74,63	79,83	84,08	87,49

¹ COLT, J. **Computation of dissolved gas concentrations in water as function of temperature, salinity, and pressure**. Bethesda: American Fisheries Society, 1984. (AFS Special Publication, 14).

levados a uma condição de hipoxia, e podem morrer por envenenamento ou sufocação.

A adaptação e uso do “conceito de proteína ideal”³ – formulação de dietas com níveis e proporções de aminoácidos iguais ao perfil de aminoácidos do corpo para suprir as exigências nutricionais – em estudos de alimentação e nutrição de peixes, e a suplementação das rações com aminoácidos sintéticos é a técnica mais adequada para otimizar a absorção de aminoácidos dietéticos e minorar a excreção de amônia pelos peixes. Porém, o uso de técnicas de suplementação dietética (especialmente aminoácidos sintéticos, como já realçado) eleva as taxas de absorção intestinal de aminoácidos, que alcançam picos plasmáticos rapidamente, acelerando o catabolismo e excreção de metabolitos de nitrogênio no ambiente, potencializando os problemas já comentados (sem ainda mencionar a lixiviação de aminoácidos livres diretamente do alimento em contato com a água) (Tibaldi et al., 1994; Schumacher et al., 1997; Zarate & Lovell, 1997; Li & Robinson, 1998; Rodehutschord et al., 2000).

Ensaio de digestibilidade não só permitem determinar o valor nutricional de dietas, ingredientes dietéticos e nutrientes, mas também quantificar volumes potenciais de material fecal originados pelo manejo alimentar, uma fonte primária de resíduos sólidos no ambiente aquático. Só o conhecimento espécie-específico da digestibilidade das dietas, ingredientes e nutrientes vai permitir a formulação de rações ambientalmente corretas e economicamente viáveis para os peixes (Furuya, 2000, 2001; Portz, 2001a, b).

A qualidade é importante? A biologia também. O valor biológico de uma determinada dieta pode variar em função da qualidade e fonte dos ingredientes, uso, técnicas de processamento das rações, e a interação entre nutrientes e suplementos dietéticos. O hábito alimentar dos peixes (e.g. carnívoro, herbívoro, onívoro) define características morfológicas e fisiológicas espécie-específicas, inclusive pH do estômago, morfologia e atividade enzimática intestinal. Há bastante informação bibliográfica sobre digestibilidade da proteína por peixes; o mesmo não é verdade em relação à digestibilidade de aminoácidos dos ingredientes usados rotineiramente. A digestibilidade dos aminoácidos varia muito entre as espécies e ingredientes, assim o uso de valores de proteína digestível para estimar valores de aminoácidos digestíveis não é adequado, ou mesmo correto (Tabela 3).

De fato, De Silva et al. (2000) advertem que uma fonte de proteína altamente digestível não necessariamente apresenta alta disponibilidade de aminoácidos. Embora os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e dos aminoácidos sejam até certo ponto correlacionados, conhecer a digestibilidade de aminoácidos individualizados é a chave para o manejo nutricional adequado dos peixes confinados, uma vez que não só as rações para organismos aquáticos são diferentes, mas também os teores de aminoácidos essenciais nas diferentes fontes de proteína variam (Hossain & Jauncey, 1989). Então, formular rações para organismos aquáticos com base nos teores de aminoácidos digestíveis das fontes de proteína suprirá os peixes com a quantidade exigida, exata, de nutrientes para

Tabela 3 - Coeficientes de digestibilidade aparente de amino ácidos em alguns alimentos para tilápia-do-nilo¹ e “black bass”²

Espécie	Ingrediente	Lisina	Metionina	Treonina	Triptofano
Tilápia-do-nilo	Farelo de soja	90,83	87,10	90,29	92,61
	Farinha de peixe	82,55	91,61	79,58	79,46
“Black bass”	Farelo de soja	96,14	80,26	96,28	86,57
	Farinha de peixe	95,77	82,65	88,03	82,24

¹ *Oreochromis niloticus* (Furuya, 2000); ² *Micropterus salmoides* (Portz, 2001a).

¹ OGINO, C. Requirement of carp and rainbow trout for essential amino acids. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, v.42, p. 71-75, 1980.

otimizar a produção de filé e, ao mesmo tempo, reduzirá a emissão de metabolitos nitrogenados potencialmente poluentes.

Deixe-se estabelecido que conhecer em detalhes as exigências nutricionais dos peixes pode minimizar o impacto ambiental da piscicultura. Agências regulatórias e fabricantes de rações para peixes nos países em desenvolvimento, o Brasil em particular, não usam tabelas de exigências nutricionais ou alimentares específicas para a maioria dos peixes autóctones. Entretanto, não podem ser culpados por isso. Este é um recurso não disponível. Como regra geral, as rações para peixes (no Brasil) visam atender as exigências nutricionais de peixes confinados agrupados pelo hábito alimentar – e.g. onívoro, carnívoro etc. Como nem todas as espécies em um determinado grupo de hábito alimentar se comportam de modo idêntico, é impossível evitar sub ou super-estimar exigências nutricionais e alimentares de muitas espécies. Existem sim rações especificamente formuladas para algumas espécies cosmopolitas, exóticas, como a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e as tilápias (*Oreochromis* sp.); há uma boa quantidade de informações confiáveis sobre as exigências nutricionais destas espécies. Mas isso não é suficiente para mitigar o impacto ambiental da piscicultura interior.

Dietas de peixe são caracterizadas por altos conteúdos de proteína e um equilíbrio delicado na relação energia-proteína (E/P) (Cho, 1992). Peixes carnívoros e onívoros exigem uma relação E/P dietética semelhante, mas os níveis absolutos de proteína e energia exigidos na dieta diferem notadamente (Tabela 4) (Hardy & Masumoto, 1991). Por exemplo, dietas de crescimento para tilápia e truta arco-íris têm 9,4~9,7 kcal energia digestível (ED) g⁻¹ PB, mas a exigência das espécies em PB difere algo acentuadamente (Tabela 4) (NRC, 1993). No entanto, a relação quantitativa entre as exigências em proteína (mg) e energia (kcal) aproxima-se de 100, independentemente do hábito alimentar de cada espécie (Furuya, 2001).

Excesso de energia não-protéica em dietas formuladas para apresentar alta relação E/P, pode cessar a ingestão voluntária de alimento antes que a quantidade exigida, ideal, de proteína seja ingerida, ou seja, a energia dietética total disponível regula a ingestão voluntária dos peixes (Colin et al., 1993). Proteína é o ingrediente mais caro de uma ração. Se a energia dietética for baixa, ou se uma dieta for formulada a partir de fontes de proteína de baixa qualidade, a proteína dietética será deaminada e usada como fonte de energia. Esta é a situação perfeita para operar sistemas de produção de peixe anti-econômicos e que descartam efluentes poluentes ricos em nitrogênio (Kaushik & Oliva-Teles, 1986; McGoogan & Gatlin III, 2000).

O que parece ser uma alta exigência em proteína pelos peixes é, de fato, uma baixa exigência em energia (Lovell, 1984; Smith, 1989). A relação E/P exigida pelos peixes é menor que aquela exigida por animais homeotérmicos: peixes não têm que manter homeostase térmica, movem-se favorecidos pelo empuxo da água (flutuabilidade), gastam menos energia que animais homeotérmicos para excretar metabolitos de nitrogênio, e o incremento calórico – aumento da temperatura corporal para início da digestão e assimilação do alimento – em peixes é desprezível. Isto tudo permite que os peixes utilizem a proteína dietética como fonte de energia de modo eficiente (Lovell, 1984, 1998).

Alimentar peixes com rações contendo energia prontamente disponível e altamente digestível pode condicionar o efeito economizador de proteína, e minorar a produção e excreção de amônio(a). Altos níveis de energia dietética podem resultar da inclusão de carboidratos gelatinizados de alta qualidade ou lipídios insaturados nas dietas; lipídios são a melhor fonte de energia para peixes – grande quantidade de energia prontamente metabolizável (McGoogan & Gatlin III, 2000). Este efeito economizador (protetor) da proteína e conseqüente redução na produção e excreção de amônia para várias espécies de peixe alimentadas com dietas que contêm níveis variados de

Tabela 4 - Exigências em energia digestível (ED) e proteína digestível (PD) e relação proteína:energia de algumas espécies de peixe (Furuya, 2001)

Espécie	Peso g	Exigência nutricional		
		ED kcal g ⁻¹	PD %	PD / ED mg kcal ⁻¹
Tilápia-do-nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	40,00	3185,00	28,00	103,00
Bagre-do-canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)	34,00	3070,00	27,70	90,00
Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	94,00	3871,00	36,70	95,00
Piauçu (<i>Leporinus macrocephalus</i>)	40,00	3111,00	31,10	100,00
Matrinxã (<i>Brycon cephalus</i>)	8,00	3300,00	32,00	97,00
Pintado (<i>Pseudoplatystoma corruscans</i>)	25,00	3600,00	36,00	100,00

lipídio como fonte principal de energia foi relatado por vários autores (Jayaram & Beamish, 1992; Robinson & Li, 1997; Vergara et al., 1996). Por exemplo, Médale et al. (1995) *apud* Furuya (2991)⁴ observaram que trutas arco-íris alimentadas com dietas contendo maiores teores de lipídios excretaram 20% menos metabolitos de nitrogênio comparativamente a peixes alimentados com dietas com baixos teores de lipídios.

Tacon (2005) relatou, como resultado prático do conhecimento deste fenômeno biológico, o fato de em 1985 as rações utilizadas em salmônica no Chile conterem 60% PB e apenas 6~8% de lipídios, mas em 2005 terem passado a conter em média 35% de cada um destes nutrientes, com conseqüente redução dos níveis de excreção de metabolitos nitrogenados pelos peixes (Figura 4). Entretanto, esta substituição de proteína por lipídios foi feita à custa do aumento do consumo de óleo de peixe, que ainda segundo Tacon (2004; 2005), tem o perfil nutricional que mais se aproxima das exigências dietéticas dos salmões. Esta prática, então, reduziu a concentração de nitrogênio nos efluentes, mas não teve efeito significativo na redução

do consumo de produtos originados da pesca – no caso, o óleo de peixe – e, conseqüentemente, não reduziu o impacto da salmônica no suprimento de pescado (Naylor et al., 2001), um “custo” ambiental ainda relativamente alto da produção de pescado em confinamento (Hardy, 2003). Entretanto, antigas questões persistem: (i) o quê pode efetivamente (vai) substituir a farinha de peixe nas rações para organismos aquáticos (Hardy, 1998; Tacon 2004)? (ii) Deve-se continuar pesquisando a substituição da farinha de peixe em rações para organismos aquáticos, ou é mais relevante avaliar os possíveis sucedâneos como alimentos suplementares à farinha de peixe (Hassan, 2001)?

O trato digestório dos peixes contém as enzimas digestivas comuns – e.g. protease, amilases e lipases – que, entretanto, variam com o hábito alimentar e a composição da dieta das diferentes espécies. Conhecer a fisiologia e a bioquímica das enzimas digestivas dos peixes pode ajudar a elucidar de problemas relacionados à adequação de uma dieta artificial à aptidão do trato digestório de uma determinada espécie (Blier et al., 2002; Furné et al., 2005). Animais monogástricos, incluindo peixes, não sintetizam

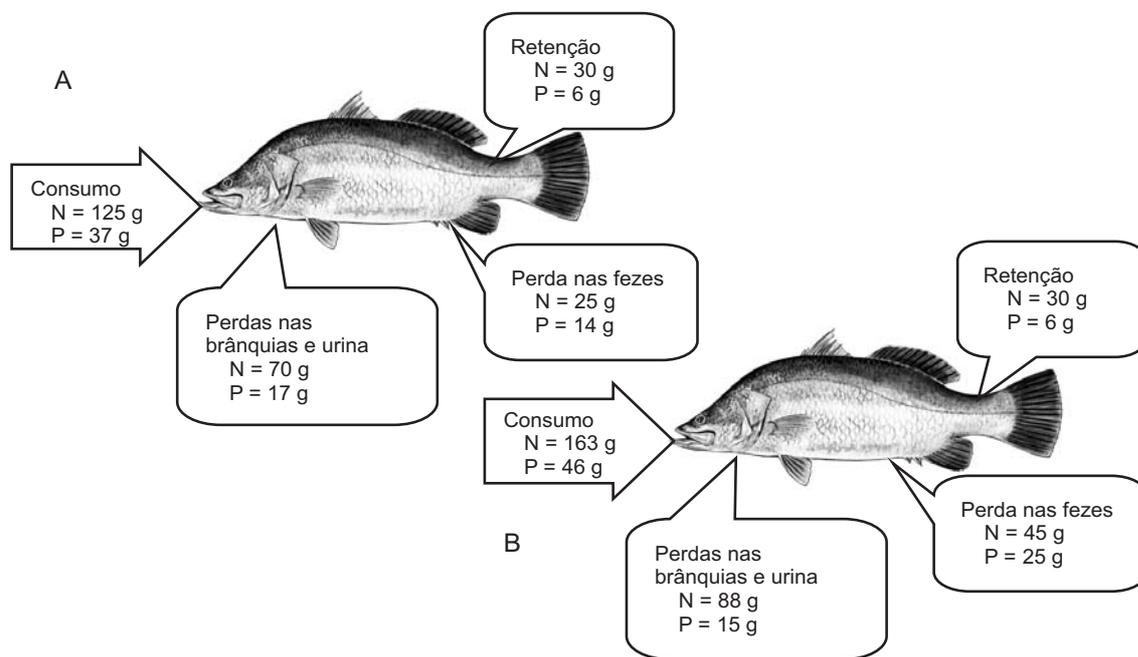


Figura 4 - Exemplo de balanço de massa, nitrogênio e fósforo para peixes (“barramundi” *Lates calcarifer*) alimentados com dietas contendo alta (A) ou baixa (B) densidade energética nutricional (adaptado de: Anônimo. Aquaculture nutrition and environmental management research: Determining waste discharges from aquaculture. Disponível em: <<http://www.fish.wa.gov.au>> Acesso em: 27/1/2006.

⁴ MEDALE, F.; BRAUGE, C.; VALLEE, F. et al. Effects of dietary protein/energy ratio, ration size, dietary energy source and water temperature on nitrogen excretion in rainbow trout. In: SYMPOSIUM ON NUTRITIONAL STRATEGIES IN MANAGEMENT OF AQUACULTURE WASTES, 2., Rebild, Denmark. **Proceedings...** Rebild: Pergamon-Press; Amsterdam: Elsevier Science, 1995. p.185-194.

nenhum tipo de fitase. Desta forma, moléculas de ácido fítico passam pelo trato gastro-intestinal dos peixes virtualmente indigeridas. Então, quanto maior o conteúdo de fitatos nos ingredientes ou nas rações para peixes, menor a disponibilidade e absorção de P que será, posteriormente, excretado praticamente indigerido. Como resultado, o desempenho dos peixes será reduzido e a poluição ambiental, aumentada (Rostagno et al., 1983; Moreira, 2002).

A suplementação das rações para peixes com enzimas digestivas visa melhorar o valor nutricional (digestão e absorção de nutrientes) e a disponibilidade de minerais dos alimentos, e reduzir a excreção de P e N, contribuindo indiretamente para redução da poluição ambiental (Cromwell, 1991). O interesse nos estudos sobre a ação das enzimas digestivas em nutrição de peixes é grande, mas o uso das enzimas ainda incipiente (Hardy, 2002c; Liebert & Portz, 2005).

A maior parte do fósforo contido em grãos é ligada a moléculas de fitato. O ácido fítico – mio-inositol hexafostato – encontrado apenas em vegetais e seus produtos e subprodutos, afeta absorção gástrica de P, Ca, Zn, Fe, proteína e outros nutrientes (Hardy, 1998c; Hendrix & Bailey, 1989; Lovell, 1998). Os fitatos complexam cerca de 60% do conteúdo total de P do FS e 50% do conteúdo de P do milho, componentes principais de praticamente toda ração processada. A disponibilidade do fósforo complexado ao fitato é de aproximadamente apenas 30%. Melhorar a disponibilidade de P nestes grãos é vital para melhorar o desempenho dos peixes. O tratamento térmico dos grãos e de seus subprodutos reduz o fitato em ingredientes vegetais (Satoh et al., 1998). O uso de fitase – a enzima mais bem conhecida e estudada, que comprovadamente aumenta disponibilidade e absorção de P contido em fontes vegetais de proteína – também é efetivo (Cain & Garling, 1995; Hardy, 2002c; Rodehutsord & Pfeffer, 1995; Sajjadi & Carter, 2004; Yi et al., 1996).

Sugiura et al. (2001) relataram que a adição de fitase aumenta a digestibilidade da matéria seca, N (proteína), Ca, Mg, P total, P fítico, Cu, Fe, Se e Zn de dietas com altos teores de minerais em truta arco-íris. A absorção de P, em especial, aumentou de 26,6% (sem adição de fitase) para 90,1% (4.000 U phytase kg⁻¹ alimento)⁵. Também Cheng & Hardy (2002) registraram que a adição de fitase microbiológica (Natuphos 5000G; 500 U fitase kg⁻¹ alimento) em dietas para

truta arco-íris formuladas a partir de farelo de cevada, farinha de colza e farelo e farelinho de trigo, melhorou a digestibilidade da PB, energia total e alguns minerais pela espécie. A adição de fitase às rações de peixes pode ser vantajosa, e certamente é ambientalmente correta, uma vez que diminui excreção de P pelos peixes. Porém, o uso deste suplemento alimentar ainda é limitado por seu alto custo e pelas técnicas de processamento de rações para organismos aquáticos, especialmente extrusão, que reduzem significativamente a atividade da enzima.

O conceito, a formulação e o uso de rações ambientalmente corretas

Não existe uma tradução literal para os termos “environmentally-friendly feeds” ou “low-pollution diets”, cunhados em língua inglesa para designar, classificar ou conceituar rações que ingeridas por animais, peixes inclusive, ensejam a excreção de quantidades reduzidas de metabolitos ou fezes de baixo impacto poluente. Uma das poucas referências em língua portuguesa encontradas oscila entre as denominações rações “favoráveis ao meio ambiente” ou “menos poluentes” (Lawrence et al., 2003). Entendemos que a preservação ambiental é uma atitude correta, saudável. Desta forma, para fins de contextualização e padronização, utilizamos neste documento, desde o título, o termo “alimentos ambientalmente corretos (saudáveis?)” para designar os alimentos formulados para organismos aquáticos com as características conceituais universalmente aceitas.

É fundamental entender que um alimento, ração ou dieta ambientalmente correta, ou “favorável ao meio ambiente”, não é, necessariamente, um alimento, ração ou dieta orgânica. Por definição, produtos orgânicos são aqueles originados de, ou manufaturados com, grãos, farinhas, ou quaisquer outros produtos e/ou subprodutos agrícolas cultivados sem a adição de insumos químicos, fertilizantes ou pesticidas⁶.

Rações formuladas e processadas à base de produtos orgânicos podem ser classificadas como rações orgânicas. Isto não necessariamente significa que sejam rações ambientalmente corretas, uma vez que seus componentes podem ter (e geralmente têm) baixa digestibilidade e o uso destas rações pode então resultar na emissão de quantidades bastante altas de material fecal. A leitura dos trabalhos de

⁵ Uma (1,0) unidade (U) de fitase é a quantidade de enzima que libera 1 μmol de ortofosfato inorgânico min⁻¹ a pH 5,5; 37 °C, em contato com 5,1 mmol⁻¹ do substrato fitato de sódio (Sugiura, 2001).

⁶ **Orgânico** *adj.* (1601 cf. RecCir) ... 4 cultivado sem a adição de insumos químicos, fertilizantes ou pesticidas [As fontes de nutrientes são esterco, adubo verde, cinzas, rochas.] *alface o.* 5 praticado sem o uso de insumos químicos (diz-se de método, processo) *lavoura o.* ... HOUAISS, A.; VILLAR, M.S.; FRANCO, F.M.M. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. 1ª Reimpressão com Alterações. Rio de Janeiro: Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia, Editora Objetiva, 2004.

Hardy (2002b), Lockwood (1998, 2001) e Merican et al. (2001) pode originar uma linha de raciocínio (e argumentação) interessante sobre o assunto “piscicultura orgânica”. Em suma, existe um reduzido, mas crescente, nicho de mercado para o pescado originado da piscicultura orgânica. Os consumidores dos produtos orgânicos baseiam sua escolha não em critérios científicos, mas sim em valores éticos – recusam-se a consumir quaisquer alimentos que tenham sido produzidos à custa do sacrifício de outros animais, i.e., que tenham sido alimentados com rações produzidas à base de ingredientes de origem animal. Desta forma, conseqüentemente, existe um nicho de mercado definido para o comércio de alimentos orgânicos para peixe.

Entretanto, a adoção da prática estrita da piscicultura orgânica ainda é uma realidade muito distante ou, na realidade, um cenário impraticável na atualidade. Não só é praticamente impossível definir regras universalmente aceitáveis e suficientemente claras para a piscicultura orgânica, como a produção de alimentos para peixes sob os padrões de produção orgânica existentes é tecnicamente inviável. Os limites impostos para o uso conjunto de FP mais óleo de peixe em 5%, e o banimento estrito de produtos e subprodutos da indústria da produção animal das rações, restringem os departamentos de formulação de alimentos das fábricas às opções de uso de fontes de proteína vegetal ou proteína microbiana. Nestas condições, a formulação e o processamento dos alimentos seria técnica ou economicamente inviável; ou ambos. A produção de pescado nestas condições, absolutamente anti-econômica.

Estabelecidas a conceituação e a diferenciação, pode-se então discutir estratégias de formulação (Bureau, 2005; Bureau & Viana, 2003; Bureau et al., 2008; Cho & Bureau, 2001; Hardy, 2004; Hassan, 2001; Meyers, 1994; Watanabe, 2002) e de alimentação (Diana, 1997) que têm como alvo reduzir a taxa de excreção de metabolitos e fezes, bem como as perdas alimentares em piscicultura. As estratégias de formulação de alimentos ambientalmente corretos visam, em primeiro lugar, substituir a fonte padrão de proteína das dietas de peixe (Tacon, 2004, 2005), a farinha de peixe, por sucedâneos reputadamente menos impactantes ao meio (redução do esforço de pesca para produção da farinha de peixe) e que contenham menores teores de fósforo (Krishnankutty, 2005; Naylor et al., 2001). Vários sucedâneos da farinha de peixe foram testados com diferentes graus de sucesso na formulação de dietas para peixes: e.g. silagem de peixe composta (Goddard & Perret, 2005), concentrado protéico de soja, farelo de glúten de trigo e de milho (Kissil & Lupatsch, 2004; Ustaoglu & Rennert, 2002), farelo de

canola (Lim et al., 1998), farinhas de carne, de sangue e de penas (Millamena, 2004; Sugiura et al., 2000; Tidwell et al., 2005), farinha de abatedouro avícola (Portz & Cyrino, 2004). Os esforços constantes de pesquisa vêm gerando em resultados ao mesmo tempo bons e contraditórios.

Independente de quais sejam as proporções parciais recomendadas de substituição da FP por seus sucedâneos, ou da possibilidade da substituição total, sem perda de rendimento e com possíveis reduções nas quantidades de material fecal, N e P excretadas, simplesmente como recomenda ou antecipa o título do artigo de Celeumans et al. (2003), a substituição da FP ou do óleo de peixe em rações (de robalo-legítimo e perca dourada; vide <http://www.fishbase.org>) demanda compensação nutricional. Independente da qualidade e valor biológico, fontes vegetais de proteína e energia apresentam, em geral, reduzida concentração de nutrientes, diversos fatores antinutricionais, alta concentração de carboidratos, perfil de aminoácidos desbalanceado e baixa palatabilidade. Destarte os esforços de pesquisa, o conhecimento relativo às interações entre as exigências nutricionais dos peixes e a disponibilidade (valor) biológico dos ingredientes de origem vegetal é ainda incipiente, e não permite que estes ingredientes sejam utilizados para substituir totalmente a farinha de peixe em rações para organismos aquáticos em geral, peixes em particular.

Então, à luz das considerações de Celeumans et al. (2003), poder-se-ia responder às indagações de Hardy (1998), Hassan (2001) e Tacon (2004): aparentemente nenhuma fonte alternativa de proteína pode substituir, totalmente e com vantagens, a FP como fonte de proteínas nas rações para peixes e, desta forma, é mais relevante avaliar os possíveis sucedâneos como alimentos suplementares à farinha de peixe. A produção de alimentos ambientalmente corretos não estaria impedida, mas teria, ou tem que, ser considerada caso a caso.

Não só é absolutamente possível formular alimentos ambientalmente corretos, como é necessário modelar a formulação destes alimentos (Bureau, 2004; Bureau & Viana, 2003; Bureau et al., 2008; Cho, 2004; Cho & Bureau, 1998; 2001; Hardy, 2004; Hassan, 2001; Meyers, 1994; Watanabe, 2002). Mas para que sejam ambientalmente corretos, os alimentos devem ser formulados (“desenhados”) com absoluta acurácia (Åsgård & Hillestad, 1998a, b, c). Estas formulações são espécie-específicas (Cho & Bureau, 1998; Hardy, 2004), e devem ser baseadas no conhecimento detalhado de todas as exigências nutricionais da espécie para a qual se formula o alimento, e nas interações da biologia e fisiologia nutricional da espécie com os

ingredientes da potencial ração e com as variações abióticas do meio (Celeumans et al., 2001). Considerando-se que o conhecimento disponível sobre as mais de 200 espécies de peixe produzidas comercialmente no mundo, pelo menos 40 delas catalogadas no Brasil (Borghetti & Ostrensky, 2002), é considerado ainda incipiente (Bureau & Viana, 2003), e que existem sistemas de produção de peixe, nos seus mais variados regimes de exploração, implantados em todas as condições ecológicas possíveis sob regulamentações ambientais particularizadas, a tarefa de produzir rações ambientalmente corretas é senão impossível, pelo menos muito, muito difícil.

O processo de desenvolvimento de um aplicativo funcional (Fish-PrFEQ[®]) para estimar a produção, taxa de alimentação e potencial de emissão de efluentes na piscicultura de salmonídeos, é resumido por Cho & Bureau (1998) como segue: “Guias de alimentação para salmonídeos foram disponibilizados por várias fontes já há vários anos. Estes guias foram originados de alguma forma dos primeiros quadros alimentares das décadas de 1950-60, quando misturas de farinhas e carnes eram usadas como dietas. Poucos dos guias de alimentação disponíveis atualmente baseiam-se em dados bioenergéticos originais, obtidos a diferentes temperaturas da água e adaptados a dietas altamente energéticas. Novos padrões de alimentação têm sido desenvolvidos com base em princípios de bioenergética nutricional que consideram o conteúdo de energia digestível da dieta, a relação proteína:energia digestível e a quantidade de energia digestível exigida por unidade de ganho de peso vivo. O ganho expresso como energia retida na carcaça e mais a energia usada para manutenção a diferentes temperaturas da água é o principal critério para alocação de energia e alimento. Com base nestes princípios, foram então desenvolvidas séries de modelos bioenergéticos e um auto-aplicativo multimídia destinado a facilitar a computação destes modelos. O aplicativo prediz a taxa de crescimento e de retenção de energia, nitrogênio e fósforo, exigências e taxas de excreção para determinar padrões alimentares, quantifica perdas alimentares e qualidade do efluente com base em uma metodologia biológica. A computação dos modelos exige dados de peso inicial e final dos peixes, temperatura da água, taxa de crescimento, conteúdo de energia na carcaça e coeficientes de perdas alimentares para estimar taxas de absorção e excreção. É essencial dispor de determinações precisas de coeficientes de crescimento em unidades térmicas, digestibilidade aparente das dietas e eficiência de retenção de nutrientes, que devem ser determinados em ensaios biológicos a campo e no laboratório. O controle

ambiental do sistema de produção deve ser auxiliado pelo conhecimento das exigências em oxigênio dos peixes. O aplicativo Fish-PrFEQ contém ainda módulos para registro de índices de produção, cálculos de desempenho e base de dados para manejo de entrada e saída de dados que podem ser exportados para manipulações e tratamentos gráficos.”

Desta forma, qualquer técnico, produtor ou pesquisador que dispuser de todos os recursos e requisitos descritos em Cho (2004) e Cho & Bureau (1998) para uma particular espécie de peixe criada em uma particular zona ecológica pode formular e modelar a produção de alimentos ambientalmente corretos para suas condições. Não é utopia; é somente trabalho duro e muito estudo. Para tanto, parece oportuno formular uma proposta de ação.

Para as condições de piscicultura tropical, deveria ser adotada uma estratégia pragmática para a formulação e o uso de alimentos e práticas alimentares de baixo impacto ambiental, baixo impacto poluente, a exemplo do que é feito por secretarias e ministérios da agricultura de países com sistemas funcionais de fomento, treinamento e divulgação de conhecimento. Esta estratégia seria baseada no trabalho conjunto de todos os agentes atuantes na agroindústria da piscicultura para, inicialmente, construir uma rede de coleta de informações e uma base de dados (desempenho e qualidade da água) de livre acesso a produtores, técnicos, indústrias de alimento, instituições de pesquisa e respectivas agências de fomento e financiamento à pesquisa.

A esta base de dados seria acoplada uma ferramenta computacional de auxílio ao cálculo de rações. Fórmulas de dietas de domínio público [e.g. “West Vancouver Diet” para o salmão do Pacífico; “Ontario Ministry of Natural Resources Diet Formulations” – MNR 89-S; MNR-89G – para a truta arco-íris; “Abernathy Diet Formulations” – S9(92) Mash; A2-2(92) Starter; A3-2(92) Grower – para juvenis de salmão do Pacífico; ver Lovell, 1998: 188-189] seriam periodicamente divulgadas para avaliações biológicas, coleta de dados e realimentação da base. A abordagem de avaliação biológica seguiria as recomendações de Kaushik et al. (1998), também preconizadas por Bureau & Viana (2003) e Bureau et al. (2008), como a mais eficiente estratégia de avaliação das exigências nutricionais e desempenho dos peixes: avaliação concomitante do desempenho nutricional e zootécnico de várias espécies de peixes produzidos sob as mais diversas condições e alimentados com dietas contendo vários níveis de um “pacote de nutrientes”, formulado com base na avaliação crítica das informações nutricionais disponíveis.

Esta estratégia de P&D já se encontra em andamento no país. Sob liderança da Dra. Débora Fracalossi, do Laboratório de Pesquisa de Peixes de Água Doce (LAPAD), Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, e sob auspícios do Ministério da Pesca e Aquicultura, está sendo estabelecida a NutriAqua, uma plataforma de dados de nutrição aquática – <http://www.nutriaqua.com.br>. Através desta plataforma, especialistas em nutrição de organismos aquáticos farão o cadastramento de revisões e pesquisas originais sobre espécies autóctones selecionadas, cujo objetivo final é gerar uma base sólida de conhecimentos sobre a biologia, desempenho nutricional e produtivo das espécies utilizadas na aquicultura brasileira, que permitirá a publicação periódica de volumes contendo as exigências nutricionais das principais espécies produzidas, bem como uma tabela de composição de alimentos. Estas informações, manipuladas através de um aplicativo que acompanhará a publicação, permitirão aos meios acadêmico e industrial o desenvolvimento de modelos bioenergéticos e/ou de fluxo de nutrientes (Bureau et al., 2008) para formulação de dietas de alta eficiência e baixo impacto poluente. Iniciativa complementar particularizada para a espécie tilápia-do-nylo também está sendo lançada pelo Dr. Wilson Massamitu Furuya, do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, através da publicação da Tabelas Brasileiras de Organismos Aquáticos 2010: Tilápia, com significativo envolvimento e financiamento da iniciativa privada.

Considerações finais

Toda atividade aquícola tem impacto sobre o ambiente. A tendência atual de desenvolvimento da aquíicultura é a intensificação dos sistemas de produção, especialmente da piscicultura interior em regiões tropicais. Sistemas de piscicultura intensivos de baixo impacto, ambientalmente corretos e também altamente produtivos, sustentáveis e lucrativos, demandam a adoção de estratégias de produção bem pensadas e projetos responsáveis de manejo da emissão de efluentes. O ajuste da densidade de estocagem dos peixes aos sistemas de produção também pode contribuir para mitigar a emissão e acumulação de metabolitos e reduzir a necessidade e o uso (indevido) de agentes terapêuticos. O manejo de resíduos exige a redução das fontes primárias de impacto ambiental – potenciais sobras alimentares e, em especial, nitrogênio, fósforo e sólidos fecais dissolvidos (e.g. carboidratos indigeridos). O uso de

rações e ingredientes de alta digestibilidade atende tais preocupações e minimiza tais problemas, desde que o balanceamento das rações (ambientalmente corretas) seja feito com critérios adequados de modelagem biológica e a partir de mecanismos de compensação fisiológica espécie-específicos.

Mostrar preocupação com este cenário não basta. Só a ação coordenada e positiva de piscicultores, fábricas de rações, agências regulatórias, e instituições de ensino e pesquisa pode definir códigos de conduta e práticas de manejo ambientalmente responsáveis e disciplinar o uso sustentável dos recursos hídricos para a produção de alimento para consumo humano. Este desafio deve contemplar um futuro senão imediato, pelo menos de curto prazo. Finalmente, é salutar que todos os envolvidos no processo de busca por soluções menos impactantes ao meio para o aumento de produtividade e da produção em piscicultura busquem, com espírito desarmado, retidão de propósitos, honestidade e pragmatismo, o bem comum. Neste sentido, Conley (1998) lembra um princípio senão famoso, pelo menos consagrado, postulado por Alston Chase em seu livro “In a Dark Wood: The fight over forests and the rising of tyranny of ecology”, que em tradução livre, seria assim enunciado: “Quando a busca pela verdade se confunde com a advocatura política, a aquisição de conhecimento se reduz à conquista do poder”.

Referências

- ALARCÓN, F.J.; MOYANO, F.J.; DIAS, M. Avaluation of different protein sources for aquafeeds by an optimized pH-stat system. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.697-704, 2002.
- ALCORN, S.W.; PASCHO, R.J.; MURRAY, A.L. et al. Effects of ration level on immune functions in Chinook salmon (*Onchorynchus tshawytscha*). **Aquaculture**, v.217, p.529-545, 2003.
- ÅSGÅRD, T.; HILLESTAD, M. Eco-friendly aquafeeds need accurate design. **Feed Tech**, v.2, p.13-15, 1998a.
- ÅSGÅRD, T.; HILLESTAD, M. Eco-friendly aquafeeds need accurate design (2). **Feed Tech**, v.2, p.33-35, 1998b.
- ÅSGÅRD, T.; HILLESTAD, M. Eco-friendly aquafeeds need accurate design (3). **Feed Tech**, v.3, p.24-25, 1998c.
- AVAULT, J.W. **Fundamentals of Aquaculture: a step by step guide to commercial aquaculture**. Baton Rouge: AVI Publishing Co., 1996.
- BARAK, Y.; CYTRIN, E.; GELFAND, I. et al. Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. **Aquaculture**, v.220, p.313-326, 2003.
- BERGHEIM, A.; BRINKER, A. Effluent treatment for flow through systems and European environmental regulations. **Aquacultural Engineering**, v.27, p.61-77, 2003.
- BEVERIDGE, M.C.M.; PHILLIPS, M.J. Environmental impact of tropical inland aquaculture. In: PULLIN, R.S.V.; ROSENTHAL, H.; MACLEAN, J.L. (Eds.) **Environment and aquaculture in developing countries**. Metro Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management,

1993. p.213-236.
- BLAZER, V.S. Piscine macrophage function and nutritional influences: a review. **Journal of Aquatic Animal Health**, v.3, p.77-86, 1991.
- BLIER, P.U.; LEMIEUXS, H.; DEVLIN, R.H. Is the growth rate of fish set by digestive enzymes or metabolic capacity of the tissues? Insight from transgenic Coho salmon. **Aquaculture**, v.209, p.379-384, 2002.
- BOLASINA, S.; FENUCCI, J.L. Apparent digestibility of crude protein and lipids in Brazilian coding, *Urophycis brasiliensis* (Kamp, 1858) (Pisces: Gadiformes), fed with partial replacements of soybean meal and meat meal diets. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v.40, p.127-131, 2005.
- BOOPATHY, R.; FONTENOT, Q.; KILGEN, M.B. Biological treatment of sludge from a recirculating aquaculture system using a sequencing batch reactor. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.36, p.542-545, 2005.
- BORGHETTI, J.R.; OSTRENSKY, A. Problemas e perspectivas para a pesca e para a aqüicultura continental no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Eds.) **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p.451-471.
- BOYD, C.E. **Water quality in warmwater fish ponds**. Auburn: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1979.
- BOYD, C.E. **Water quality management for pond fish culture**. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 9. New York: Elsevier Science Publishers, 1982.
- BOYD, C.E. **Water quality in ponds for aquaculture**. Auburn: International Center for Aquaculture, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, 1990.
- BOYD, C.E. Aquaculture sustainability and environmental issues. **World Aquaculture**, v.30, p.10-72, 1999.
- BOYD, C.E. Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. **Aquaculture**, v.226, p.101-112, 2003.
- BOYD, C.E.; QUEIROZ, J.F. Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M. et al. (Eds.) **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2004. p.25-43.
- BRICKNELL, I.; DALMO, R.A. The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. **Fish and Shellfish Immunology**, v.19, p.457-472, 2005.
- BUREAU, D. Formulating more cost-effective aquaculture feeds. **Aquafeed International**, v.7, p.6-9, 2004.
- BUREAU, D.; VIANA, M.T. Formulating cost-effective and environmentally-friendly feeds based on improved knowledge of nutrient requirements and utilization. **International Aquafeeds**, v.6, p.20-21, 2003.
- BUREAU, D.P.; HUA, K.; AZEVEDO, P.A. Efficiency of conversion of feed inputs into animal biomass: The usefulness of bioenergetics models and need for a transition to nutrient-flow models. In: CYRINO, J.E.P.; BUREAU, D.P.; KAPOOR, B.G. **Feeding and digestive functions of fishes**. Enfield, NH: Science Publishers, 2008. p.547-567.
- BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2002.
- CAIN, K.D.; GARLING, D.L. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorus concentrations in hatchery effluents. **The Progressive Fish Culturist**, v.57, p.114-119, 1995.
- CELEUMANS, S.; COUTTEAU, P.; ROBLES-ARZARENA, R. Fish meal, fish oil replacements in sea bream, sea bass diets need nutritional compensation. **Global Aquaculture Advocate**, v.6, p.46-51, 2003.
- CHEN, R.; LOCHMANN, R.; GOODWIN, A. et al. Effects of dietary vitamins C and E on alternative complement activity, hematology, tissue composition, vitamin concentrations and response to heat stress in juvenile golden shiner (*Notemigonus crysoleucas*). **Aquaculture**, v.242, p.553-569, 2004.
- CHEN, S. Aquacultural waste management. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.63-69, 1998.
- CHEN, S.; COFFIN, D.E.; MALONE, R.F. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.28, p.303-315, 1997.
- CHENG, Z.J.; HARDY, R.W. Effect of microbial phytase on apparent nutrient digestibility of barley, canola meal, wheat and wheat middlings, measured *in vivo* using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Nutrition**, v.8, p.271-277, 2002.
- CHENG, Z.J.; HARDY, R.W.; USRY, J.L. Effects of lysine supplementation in plant protein-based diets on the performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and apparent digestibility coefficients of nutrients. **Aquaculture**, v.218, p.255-265, 2003a.
- CHENG, Z.J.; HARDY, R.W.; USRY, J.L. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. **Aquaculture**, v.218, p.553-565, 2003b.
- CHO, C.Y. Fish nutrition, feeds and feeding: with special emphasis on salmonid aquaculture. **Food Reviews International**, v.6, p.333-357, 1990.
- CHO, C.Y. Feeding for rainbow trout and other salmonids. With reference to current estimates of energy and protein requirements. **Aquaculture**, v.100, p.107-123, 1992.
- CHO, C.Y. Development of computer models for fish feeding standards and aquaculture waste estimations: A treatise. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 7., 2004, Hermosillo, Sonora, México. **Memorias...** Hermosillo: 2004. p.375-395.
- CHO, C.Y.; BUREAU, D. Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration, and waste output in aquaculture. **Aquatic Living Resources**, v.11, p.199-210, 1998.
- CHO, C.Y.; BUREAU, D. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. **Aquaculture Research**, v.32, p.349-360, 2001 (suppl. 1).
- CHONG, A.S.C.; HASHIM, R.; ALI, A.B. Assessment of dry matter and protein digestibilities of selected raw ingredients by discus fish (*Symphysodon aequifasciata*) using *in vivo* and *in vitro* methods. **Aquaculture Nutrition**, v.8, p.229-238, 2002.
- COLIN, B.C.B.; COWEY, D.C.; YOUNG, C.; CHO, C.Y. Nutrition requirements of fish. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.52, p.417-426, 1993.
- COLOSO, R.M.; KING, K.; FLETCHER, J.W. et al. Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. **Aquaculture**, v.220, p.801-820, 2003.
- COLT, J. Aquacultural production systems. **Journal of Animal Science**, v.69, p.4183-4192, 1991.
- CONLEY, D. Environmental concern: the anti-salmon farming lobby in BC. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.36-51, 1998.
- COPPOLA, M.M.; TURNES, C.G. Probióticos e resposta imune. **Ciência Rural**, v.34, p.1297-1303, 2004.
- CRAMPTON, V.O. The application of nutritional findings to the formulation of practical diets. In: COWEY, C.B.; MACKIE, A.M.; BELL, J.G. (Eds.) **Nutrition and feeding in fish**. London: Academic Press, 1985. p.447-464.
- CROMWELL, G.L. Phytase appears to reduce phosphorus in feed, manure. **Feedstuffs**, v.63, p.41-41, 1991.
- CYRINO, J.E.P. **Condicionamento alimentar e exigências nutricionais de espécies carnívoras: desenvolvimento de uma linha de pesquisa**. Tese (Livre-Docência em Aquicultura) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

- DAVIES, S.J.; MORRIS, P.C. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) fed soya-based diets. **Aquaculture Research**, v.28, p.65-74, 1997.
- DE SILVA, S.S.; ANDERSON, T.A. **Fish nutrition in aquaculture**. London: Chapman & Hall, 1995.
- DIANA, J.S. Feeding strategies. In: EGNA, H.S.; BOYD, C.E. (Eds.) **Dynamics of pond aquaculture**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.245-262.
- EL-SAIDY, D.M.S.D.; GABER, M.M.A. Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.33, p.297-306, 2002.
- EMERSON, C. [1999]. **Aquaculture impacts on the environment**. CSA Guide Discovery Database. <http://www.csa2.com/discoveryguides/aquacult/overview.php> Acesso em: 26/1/2006.
- ESPELID, S.; LOKKEN, G.B.; STEIRO, K. et al. Effects of cortisol and stress on the immune system in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Fish and Shellfish Immunology**, v.6, p.95-110, 1996.
- FERNANDES, T.F.; ELEFTHERIOU, A.; ACKERFORS, H. et al. The scientific principles underlying the monitoring of the environmental impacts of aquaculture. **Journal of Applied Ichthyology**, v.17, p.181-193, 2001.
- FONTAÍNHAS-FERNANDES, A.; GOMES, E.; REIS-HENRIQUES, M.A. et al. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of Nile tilapia: digestibility and growth performance. **Aquaculture International**, v.7, p.57-67, 1999.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS [FAO]. **Aspects of FAO's policies, programmes, budget and activities aimed at contributing to sustainable development**. Document to the Ninety-fourth Session of the FAO Council, Rome: FAO, 1988.
- FRANCIS, G.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, v.199, p.197-227, 2001.
- FULLER, R. Probiotics in man and animals. **Journal of Applied Bacteriology**, v.66, p.365-378, 1989.
- FURNÉ, M.; HIDALGO, M.C.; LÓPEZ, A. et al. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: a comparative study. **Aquaculture**, v.250, p.391-398, 2005.
- FURUYA, W.M. **Digestibilidade aparente de aminoácidos e substituição da proteína da farinha de peixe pela do farelo de soja com base em proteína ideal em rações para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2000. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.
- FURUYA, W.M. Alimentos ambientalmente corretos para piscicultura. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.515-527.
- GATESOUBE, F.J. The use of probiotics in aquaculture. **Aquaculture**, v.180, p.147-165, 1999.
- GATLIN III., D.M.; BARROWS, F.R.; BROWN, P. et al. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. **Aquaculture Research**, v.38, p.551-579, 2007.
- GAYLORD, T.G.; RAWLES, S.D. The modification of poultry by-product meal for use in hybrid striped bass *Morone chrysops* x *Morone saxatilis* diets. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.36, p.363-374, 2005.
- GELFAND, I.; BARAK, Y.; EVEN-CHEN, Z. et al. A novel zero discharge intensive seawater recirculation system for the culture of marine fish. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.34, p.344-358, 2003.
- GODDARD, J.S.; PERRET, J.S.M. Co-drying fish silage for use in aquafeeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.118, p.337-342, 2005.
- GREEN, J.A.; BRANDON, E.L.; HARDY, R.H. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2. Production-scale study. **Aquaculture Nutrition**, v.8, p.291-298, 2002.
- HALVER, J.H. Proteins and amino acids. In: PILLAY, T.V.R. (Ed.) **Fish feed technology**. ADCP/REP/80/11, Aquaculture Development and Coordination Programme. Rome: FAO, 1980. p.32-40.
- HARDY, R.W. Back to the future. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.78-81, 1998a.
- HARDY, R.W. Fish nutrition: increasing aquaculture production. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.86-90, 1998b.
- HARDY, R.W. Phytate. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.77-80, 1998c.
- HARDY, R.W. How to stifle innovation while protecting the environment. **Aquaculture Magazine**, v.28, p.56-60, 2002a.
- HARDY, R.W. Organic farmed fish? **Aquaculture Magazine**, v.28, p.60-63, 2002b.
- HARDY, R.W. Phytase. **Aquaculture Magazine**, v.28, p.41-45, 2002c.
- HARDY, R.W. Fish meal to farmed fish conversions. **Aquaculture Magazine**, v.29, p.36-40, 2003.
- HARDY, R.W. Specialized fish diets. **Aquaculture Magazine**, v.30, p.30-33, 2004.
- HARDY, R.W.; GATLIN III, D.M. Nutritional strategies to reduce nutrient losses in intensive aquaculture. In: SIMPOSIUM INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 6., Cancún, Quintana Roo, México. **Memorias...** Cancún: 2002. p.23-34.
- HARRIS, J.; BIRD, D.J. Modulation of the fish immune system by hormones. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v.77, p.163-176, 2000.
- HASSAN, M.R. Nutrition and feeding for sustainable aquaculture development in the third millennium. In: CONFERENCE ON AQUACULTURE IN THE THIRD MILLENNIUM, Bangkok, Thailand. **Proceedings...** Bangkok: NACA; Rome: FAO, 2001. p.193-219.
- HEINEN, J.M.; HANKINS, J.A.; ADLER, P.R. Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet. **Aquaculture Research**, v.27, p.699-710, 1996.
- HENDRICKS, J.D.; BAILEY, G.S. Adventitious toxins. In: HANVER, J.E. (Ed.) **Fish nutrition**. New York: Academic Press, 1978. p.606-653.
- HEPHER, B. Ecological aspects of freshwater fishpond management. In: GERKING, S.D. (Ed.) **Ecology of freshwater fish production**. London: Blackwell Scientific Publications, 1978. p.447-468.
- HIGUERA, M. Diseños y métodos experimentales de evaluación de dietas. In: MONTEROS, J.A.E.; LABARTA, M. (Eds.) **Nutrición en acuicultura II**. Madrid: Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, 1987. p.291-318.
- HILBORN, R.; WALTERS, C.J.; LUDWIG, D. Sustainable exploitation of renewable resources. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.26, p.45-67, 1995.
- HOSSAIN, M.A.; JAUNCEY, K. Studies on the protein, energy and amino acids digestibility of fish meal, mustard oilcake, linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio*). **Aquaculture**, v.83, p.59-72, 1989.
- IRIANTO, A.; AUSTIN, B. Probiotics in aquaculture. **Journal of Fish Diseases**, v.25, p.633-642, 2002.
- IWAMA, G.K. Interactions between aquaculture and the environment. **Critical Reviews in Environmental Control**, v.21, p.177-216, 1991.
- JAYARAM, M.G.; BEAMISH, F.W.F. Influence of dietary protein and lipid on nitrogen and energy losses in lake trout, *Salvelinus namaycush*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.49, p.2267-2272, 1992.

- JENEY, G.; ANDERSON, D.P. Glucan injection or bath exposure given alone or in combination with a bacterin enhance the non-specific defense mechanisms in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.116, p.315-329, 1993.
- KAUSHIK, S.J.; OLIVA-TELES, A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. **Aquaculture**, v.50, p.89-101, 1986.
- KAUSHIK, S.J.; GOUILLOU-COUSTANS, M.F.; CHO, C.Y. Application of the recommendations on vitamin requirements of finfish by NRC (1993) to salmonids and sea bass using practical and purified diets. **Aquaculture**, v.161, p.463-474, 1998.
- KAUSHIK, S.J., LUQUET, P. **Fish nutrition in practice**. Versailles Cedex, France: Institute National de La Recherche Agronomique; INRA Editions, 1993.
- KAUSHIK, S.J.; COVÈS, D.; BLANC, D. Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. **Aquaculture**, v.230, p. 391-404, 2004.
- KETOLA, H.G. Mineral nutrition: effects of phosphorus in trout and salmon feeds on water pollution. In: COWEY, C.B.; MACKIE, A.M.; BELL, J.G. (Eds.) **Nutrition and feeding in fish**. London: Academic Press, 1985. p.465-473.
- KIBRIA, G.; NUGEGODA, D.; FAIRCLOUGH, R. et al. The nutrient content and the release of nutrients from fish food and faeces. **Hydrobiologia**, v.357, p.165-171, 1997.
- KISSIL, G.W.; LUPATSCH, I. Successful replacement of fishmeal by plant proteins in diets for the gilthead seabream, *Sparus aurata* L. **The Israeli Journal of Aquaculture**, v.56, p.188-199, 2004.
- KOUKA, P.J.; ENGLE, C.R. Economic implications of treating effluents from catfish production. **Aquacultural Engineering**, v.15, p.273-290, 1996.
- KRISHNANKUTTY, N. Plant proteins in fish feeds: An additional analysis. **Current Science**, v.89, p.934-936, 2005.
- KUZ'MINA, V. Classical and modern concepts in fish digestion. In: CYRINO, J.E.P.; BUREAU, D.P.; KAPOOR, B.G. (Eds.) **Feeding and digestive functions of fishes**. Enfield, NH: Science Publishers, 2008. p.85-154.
- LALL, S.P. Nutrition and health of fish. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN ACUÍCOLA, 5., 2000. México. **Memorias...** México: 2000. p.13-23.
- LANDOLT, M.L. The relationship between diet and the immune response of fish. **Aquaculture**, v.79, p.193-206, 1989.
- LAWRENCE, A.; CASTILLE, F.; VELASCO, M. et al. Programa de rações "favoráveis ao meio ambiente" ou "menos poluentes" para fazendas de camarão marinho. **Revista da ABCC**, v.5, p.88-94, 2003.
- LEUNG, K.M.Y.; CHU, J.C.W.; WU, R.S.S. Interacting effects of water temperature and dietary protein levels on post-prandial ammonia excretion by the aerolated grouper *Epinephelus aereolatus* (Forsk.). **Aquaculture Research**, v.30, p.793-798, 1999.
- LI, M.H.; ROBINSON, E.H. Effects of supplemental lysine and methionine in low protein diets on weight gain and body composition of young catfish *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, v.163, p.297-307, 1998.
- LI, P.; GATLIN III, D.M. Dietary brewers yeast and the prebiotic Grobiotic™ AE influence growth performance, immune responses and resistance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) to *Streptococcus iniae* infection. **Aquaculture**, v.231, p.445-456, 2004.
- LIEBERT, F.; PORTZ, L. Nutrient utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. **Aquaculture**, v.248, p.111-119, 2005.
- LILLY, D.M.; STILLWEL, R.H. Probiotics: growth promoting factors produced by micro-organisms. **Science**, v.147(3659), p.747-748, 1965.
- LIM, C.; KLESZIUS, P.H.; HIGGS, D.A. Substitution of canola meal for soybean meal in diets for channel catfish *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.29, p.161-168, 1998.
- LOCKWOOD, G.S. Where is aquaculture headed? **Aquaculture Magazine**, v.24, p.51-56, 1998.
- LOCKWOOD, G.S. Organic aquaculture? Yes, but no! **Aquaculture Magazine**, v.27, p.28-35, 2001.
- LOSORDO, T.M. Recirculating aquaculture production systems: The status and future. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.38-45, 1998a.
- LOSORDO, T.M. Recirculating aquaculture production systems: The status and future, part II. **Aquaculture Magazine**, v.24, p.45-53, 1998b.
- LOVELL, R.T. **Use of soybean products in diets for aquaculture species**. Saint Louis, MO: American Soybean Association, 1984. (Technical Bulletin AQ21-90 6/7).
- LOVELL, R.T. **Nutrition and feeding of fish**. 2.ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- LOVSHIN, L.L. The potential, constraints and trends of intensive fish and shrimp farming into the 21st century. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 8., 2000, Piracicaba **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p.3-9.
- LUZZANA, U.; COUTTEAU, P.; BAVEVI, L. et al. Nutritional solutions to winter syndrome in gilthead seabream: Verification at a cage farm in Croatia. **Aquafeeds International**, v.6, p.14-18, 2003.
- MACMILLAN, J.R.; HUDDLESTON, T.; WOOLLEY, M. et al. Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms. **Aquaculture**, v.226, p.91-99, 2003.
- MALINA, A.C.; TASSAKKA, A.R.; SAKAI, M. CpG oligodeoxynucleotides enhance the non-specific immune responses on carp, *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v.209, p.1-10, 2002.
- MALINA, A.C.; TASSAKKA, A.R.; SAKAI, M. Current research on the immunostimulatory effects of CpG oligodeoxynucleotides in fish. **Aquaculture**, v.246, p.25-36, 2005.
- MAMBRINI, M.; ROEM, A.J.; CRAVEDI, J.P. et al. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate and of DL-methionine supplementation in high energy, extruded diets on the growth and nutrient utilization of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Journal of Animal Science**, v.77, p.2990-2999, 1999.
- MASUMOTO, T.; RUCHIMAT, T.; ITO, Y. et al. Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). **Aquaculture**, v.146, p.109-119, 1996.
- MCGOOGAN, B.B.; GATLIN III, D.M. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*: II - Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. **Aquaculture**, v.182, p.271-285, 2000.
- MCLARNEY, W. **Freshwater aquaculture**. Point Roberts, WA: Hartley & Marks Publishers, 1998.
- MERICAN, Z.; GUETROT, A.-C.; BRADBURY, N. et al. Europe's niche market in organic aquafeed production. **Aquafeed International**, v.4, p.18-21, 2001.
- MEYERS, S.P. Developments in world aquaculture, feed formulations, and role of carotenoids. **Pure & Applied Chemistry**, v.66, p.1069-1076, 1994.
- MILLAMENA, O.M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. **Aquaculture**, v.204, p.75-84, 2004.
- MONTE-LUNA, P.; BROOK, B.W.; ZETINA-RENÓN, M.J. et al. The carrying capacity of ecosystems. **Global Ecology and Biogeography**, v.13, p.485-495, 2004.
- MOREIRA, J.A. **Radiofósforo nos estudos de biodisponibilidade e perdas endógenas, cinética nos**

- tecidos e modelo biomatemático, associados ao desempenho de suínos alimentados com dietas contendo fitase. 2002. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.
- MORTULA, M.M.; GAGNON, G.A. Alum residuals as a low technology for phosphorus removal from aquaculture processing water. **Aquacultural Engineering**, v.36, p.233-238, 2007.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of fish**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1993.
- NAYLOR, R.L.; GOLDBURG, R.J.; PRIMAVERA, J. et al. Effects of aquaculture on world fish supplies. **Issues in Ecology**, v.8, p.2-12, 2001.
- NAYLOR, S.J.; MOCCIA, R.D.; DURANT, G.M. The chemical composition of settleable solid fish waste (manure) from commercial rainbow trout farms in Ontario, Canada. **North American Journal of Aquaculture**, v.61, p.21-26, 1999.
- NOGA, E.J. **Fish diseases: diagnosis and treatment**. Missouri: Mosby-Year Book, 1996.
- OPSTVEDT, J.; MUNDHEIM, H.; NYGARD, E. et al. Reduced growth and feed consumption of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed fish meal made from stale fish is not due to increased content of biogenic amines. **Aquaculture**, v.188, p.323-337, 2000.
- PAN, J.; HUAWEI, S.; NDUWIMANA, A. et al. Hydroponic plate/fabric/grass system for treatment of aquacultural wastewater. **Aquacultural Engineering**, v.37, p.266-273, 2007.
- PARKER, R.B. Probiotics, the other half of the antibiotic story. **Animal Nutrition and Health**, v.29, p.4-8, 1974.
- PEISKER, M. Amino acids in aquafeeds: a fresh approach to amino acid nutrition. **Aquafeed International**, v.4, p.22-26, 2001.
- PLUMB, J.A. **Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes**. Ames: The Iowa State University Press, 1999.
- PORELLO, S.; LENZI, M.; PERSIA, E. et al. Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system. I - Dissolved and particulate nitrogen and phosphorus. **Aquaculture**, v.219, p.515-529, 2003.
- PORTZ, L. **Utilização de diferentes fontes protéicas em dietas formuladas pelo conceito de proteína ideal para o “black bass” (*Micropterus salmoides*)**. 2001a. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- PORTZ, L. Recentes avanços na determinação das exigências e digestibilidade da proteína e aminoácidos em peixes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001b. p.528-542.
- PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P. Comparison of the amino acids contents of roe, whole body and muscle tissue and their A/E ratios for largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802). **Aquaculture Research**, v.34, p.50-55, 2003.
- PORTZ, L.; CYRINO, J.E.P. Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802). **Aquaculture Research**, v.35, p.312-320, 2004.
- PULLIN, R.S.V.; ROSENTHAL, H.; MACLEAN, J.L. Environment and aquaculture in developing countries. In: ICLARM CONFERENCE, 31., Makati, Metro Manila, Philippines, 1993. **Proceedings...** Makati: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1993.
- RAHMAN, M.H.; KAWAI, K. Outer membrane proteins of *Aeromonas hydrophila* induce protective immunity in goldfish. **Fish and Shellfish Immunology**, v.10 p.379-382, 2000.
- RIJN, J.V.; TAL, Y.; SCHREIER, H.J. Denitrification in recirculating systems: theory and applications. **Aquacultural Engineering**, v.3, p.364-376, 2006.
- ROBINSON, E.H.; LI, M.H. Low protein diets for channel catfish *Ictalurus punctatus* raised in earthen ponds at high density. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.28, n.3, p.224-229, 1997.
- ROBINSON, E.H.; LI, M.H.; MANNING, B.B. et al. Effects of dietary protein and feeding rate on channel catfish *Ictalurus punctatus* production, composition of gain, processing yield, and water quality. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.34, n.4, p.468-477, 2004.
- RODEHUTSCORD, M.; PFEFFER, E. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in seawater. **Aquaculture Nutrition**, v.31, p.143-147, 1995.
- RODEHUTSCORD, M.; BORCHERT, F.; GREGUS, Z. et al. Availability and utilization of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1 - Effect of dietary crude protein level. **Aquaculture**, v.187, p.163-176, 2000.
- ROSTAGNO, H.S.; SILVA, D.J.; COSTA, P.M.A. **Composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos: tabelas brasileiras**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- SADO, R.Y. **Filogenia da resposta inflamatória em animais ectotérmicos: estudo comparativo entre peixes teleosteos primitivos e modernos inoculados com BCG**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SAJJADI, M.; CARTER, C.G. Dietary phytase supplementation and utilisation of phosphorus by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed a canola-meal-basal diet. **Aquaculture**, v.240, p.417-431, 2004.
- SAKAI, M. Current research status of fish immunostimulants. **Aquaculture**, v.172, p.63-92, 1999.
- SCHROEDER, G.L.; KALTON, A.; LAHER, M. Nutrient flow in pond aquaculture systems. In: BRUNE, E.; TOMASO, J.R. (Eds.) **Aquaculture and water quality**. Advances in World Aquaculture 3. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 1991. p.489-505.
- SCHUMACHER, A.; WAX, C.; GROPP, J.M. Plasma amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed intact protein or a crystalline amino acid diet. **Aquaculture**, v.151, p.15-28, 1997.
- SHELL, E.W. **The development of aquaculture: an ecosystem perspective**. Auburn: Auburn University; Alabama Agricultural Experiment Station, 1993.
- SHNEL, N.; BARAK, Y.; EZER, T. et al. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. **Aquacultural Engineering**, v.26, p.191-203, 2002.
- SITJA-BOBADILLA, A.; PÉREZ-SANCHEZ, J. Diet related changes in non-specific immune response of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Fish and Shellfish Immunology**, v.9, p.637-640, 1999.
- SMITH, R.R. Nutritional bionergetics in fish. In: PILLAY, T.V.R. (Ed.) **Fish feed technology**. ADCP/REP/80/11, Aquaculture Development and Coordination Programme. Rome: FAO, 1980. p.22-27.
- SMITH, R.R. Nutritional energetics. In: HALVER, J.E. (Ed.) **Fish nutrition**. San Diego: Academic Press, 1989. p.1-29.
- STONE, D.A.J.; ALLAN, G.L.; PARKINSON, S. et al. Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*, III. Digestibility and growth using meat meal products. **Aquaculture**, v.186, p.311-326, 2000.
- SUGIURA, S.H.; GABAUDAN, J.; DONG, F.M. et al. Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus, trace minerals and protein by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed soybean meal-based diets. **Aquaculture Research**, v.32, p.583-592, 2001.
- SUGIURA, S.H.; BABBITT, J.K.; DONG, F.M. et al. Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaun). **Aquaculture Research**, v.31, p.585-593, 2000.
- TACON, A.G.J. Salmon aquaculture dialogue: Status of information on salmon aquaculture feed and the environment. **Aquafeed International**, v.8, p.22-37, 2005.

- TACON, A.G.J.; FORSTER, I.P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, v.226, p.181-189, 2003.
- TACON, A.J. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: A global perspective. **Aquatic Resources, Culture and Development**, v.1, p.3-14, 2004.
- TANTIKITTI, C.; MARCH, B.E. Dynamic of plasma free amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under variety of dietary conditions. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.14, p.179-194, 1995.
- TANTIKITTI, C.; SANGPONG, W.; CHIAVAREESAJJA, S. Effects of defatted soybean protein levels on growth performance and nitrogen and phosphorus excretion in Asian seabass (*Lates calcarifer*). **Aquaculture**, v.248, p.41-50, 2005.
- TIBALDI, E.; TULLI, F.; LANARI, D. Arginine requirement and effect of different dietary arginine and lysine levels for fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, v.127, p.207-218, 1994.
- TIDWELL, J.H.; COYLE, S.D.; BRIGHT, L.A. et al. Evaluation of plant and animal source proteins for replacement of fish meal in practical diets for the largemouth bass *Micropterus salmoides*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.36, p.454-463, 2005.
- TWIBELL, R.G.; BROWN, P.B. Optimal dietary protein concentration for hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* fed all-plant diet. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.29, p.9-16, 1998.
- URBINATI, E.C.; CARNEIRO, P.C.F. Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M. et al. (Eds.) **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aqüicultura e Biologia Aquática, 2004. p.171-193.
- USTAOGU, S.; RENNERT, B. The apparent nutrient digestibility of diets containing fishmeal or isolated soy protein in starlet (*Acipenser ruthenus*). **International Review of Hydrobiology**, v.87, p.577-584, 2002.
- VENDEMIATTI, J.A.; COSTA, A.B.; CYRINO, J.E.P. Mananoligossacarídeos alimentares (MOS) como agentes profiláticos das infecções por *Edwardsiella tarda* em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Annales del Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura [CIVA]**, 2003, p.132-140.
- VERGARA, J.M.; ROBAINA, L.; IZQUIERDO, M. et al. Protein sparing effect of lipids in diets for fingerlings of gilthead sea bream. **Fisheries Science**, v.62, p.624-628, 1996.
- WATANABE, T. Strategies for further development of aquatic feeds. **Fisheries Science**, v.68, p.242-252, 2002.
- YAMADA, S.; SIMPSON, K.; TANAKA, Y. et al. Plasma amino acid changes in rainbow trout force-fed casein and corresponding amino acid mixture. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v.47, p.1035-1040, 1981.
- YI, Z.; KORNEGAY, E.T.; RAVINDRAN, V. et al. Effectiveness of nathupos phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in soybean meal-based semipurified diets for young pigs. **Journal of Animal Science**, v.74, p.1601-1611, 1996.
- ZANIBONI FILHO, E. O impacto ambiental de efluentes na piscicultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE PEIXES, 3., 1999, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. 1999. p.1-14.
- ZARATE, D.D.; LOVELL, R.T. Free lysine (L-lysine-HCl) is utilized for growth less efficiently than protein-bound lysine (soybean meal) in practical diets by young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Aquaculture**, v.159, p.87-100, 1997.