

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BIODISPONIBILIDADE DE MINERAIS DE FARINHAS  
DE CARNE E OSSOS PARA A TILÁPIA DO NILO

Autora: Lorena Batista de Moura  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya  
Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fernanda Losi Alves de Almeida

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
fevereiro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

BIODISPONIBILIDADE DE MINERAIS DE FARINHAS  
DE CARNE E OSSOS PARA A TILÁPIA DO NILO

Autora: Lorena Batista de Moura  
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya  
Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fernanda Losi Alves de Almeida

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal.

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
fevereiro – 2014

### Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M929b	<p>Moura, Lorena Batista de Biodisponibilidade de minerais de farinhas de carne e ossos para a Tilápia do Nilo / Lorena Batista de Moura. -- Maringá, 2014. 61 f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya. Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Losi Alves de Almeida.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, 2014.</p> <p>1. Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) - Nutrição - Biodisponibilidade de minerais. I. Furuya, Wilson Massamitu, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. III. Título.</p> <p>CDD 22.ed. 639.3774</p>
-------	---



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

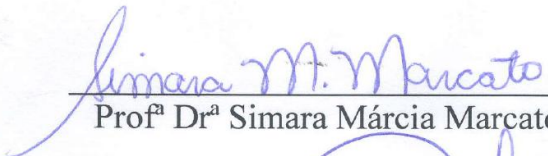
**BIODISPONIBILIDADE DE MINERAIS DE FARINHAS  
DE CARNE E OSSOS PARA A TILÁPIA DO NILO**


Autora: Lorena Batista de Moura

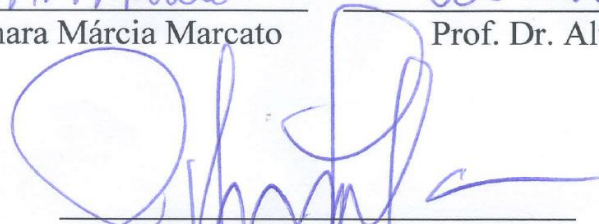
Orientador: Prof. Dr. Wilson Massamitu Furuya

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADA em 25 de fevereiro de 2014.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Simara Márcia Marcato

  
Prof. Dr. Altevir Signor

  
Prof. Dr. Wilson Massamitu  
Furuya  
(Orientador)

“Você deve ser a mudança que deseja ver no mundo”

*Mohandas Karamchand Gandhi*

À minha mãe,  
Solange Tarosso Batista de Moura,  
meu maior exemplo de vida, incentivadora e parceira incondicional.

A todos que, de alguma forma, se beneficiarão com o trabalho desenvolvendo,  
com o auxílio deste, novos resultados científicos.

Esta conquista  
**dedico a vocês**

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, por todas as oportunidades a mim proporcionadas;

ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida;

ao professor Dr. Wilson Massamitu Furuya, por todos estes anos de orientação, amizade, confiança, dedicação e colaboração para meu crescimento profissional e pessoal;

à professora Dr<sup>a</sup> Fernanda Losi Alves de Almeida, pela coorientação, amizade, confiança, dedicação e colaboração para meu crescimento profissional e pessoal;

aos meus colegas do grupo de pesquisa: Luiz Vítor Vidal, Mariana Michelato, Daniel Abreu Vasconcelos Campelo, Tadeu Orlandi Xavier, Dacley Hertes Neu, Jackeline Marcante Dallagnol, Micheli Zaminhan e Tsiane Schmitt, pela ajuda que foi fundamental para realização deste trabalho, pela amizade e dedicação;

ao professor Dr. Luiz Edivaldo Pezzato, que gentilmente autorizou e cedeu os técnicos para as análises laboratoriais;

ao Laboratório de Química e Mineralogia do Solo (LQMS) da Universidade Estadual de Maringá, UEM/Maringá-PR;

aos funcionários da Codapar, Vitor, José Geraldo e Cleiton, pela ajuda em diversas ocasiões;

às funcionárias do Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual de Maringá, Creuza, Cleuza e Augusto, pelo auxílio nas análises químicas;

ao professor Dr. Ricardo Pereira Ribeiro, pelo auxílio na aquisição dos peixes;

a toda a minha família, por todos os conselhos, apoio e incentivo nos momentos de maiores dificuldades durante esta longa e atribulada jornada;

aos grandes amigos e às criaturas domésticas, Luna, Manatizinho e Nina, pelo apoio, carinho e paciência

e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos vocês.



## BIOGRAFIA

LORENA BATISTA DE MOURA, filha de Luiz Felipe Barreiros Batista de Moura e Solange Tarosso, nasceu em Maringá, Estado do Paraná, no dia 13 de março de 1984.

Em janeiro de 2008, se formou em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Maringá e, em março do mesmo ano, iniciou no curso de graduação em Zootecnia, também pela Universidade Estadual de Maringá.

Em dezembro de 2010, iniciou a sua jornada na pesquisa com projeto de iniciação científica, na área de Aquicultura, dando continuidade a esta em 2011 como bolsista do CNPq.

Em 2012, obteve o título de Zootecnista, iniciando em seguida o curso de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, na área de concentração produção Animal, pela Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de Nutrição de Peixes.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
I – INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1. Tilápia do Nilo .....	1
2. Digestibilidade e disponibilidade de minerais .....	2
3. Nutrição mineral em peixes .....	5
3.1. Fósforo .....	8
3.2 Cálcio .....	14
3.3 Outros macrominerais na nutrição de peixes .....	18
4. Farinha de carne e ossos .....	23
4.1. Importância da farinha de carne e ossos na formulação de dietas para peixes .....	23
4.2. Características e composição química das farinhas de carne e ossos ...	24
LITERATURA CITADA .....	27
II – BIODISPONIBILIDADE DE MINERAIS DE DIFERENTES FARINHAS DE CARNE E OSSOS PARA A TILÁPIA DO NILO .....	39
Resumo .....	39
Abstract .....	40
Introdução .....	41
Material e Métodos .....	42
Resultado .....	47
Discussão .....	49
LITERATURA CITADA .....	57

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Exigências nutricionais dos minerais cálcio (Ca), fósforo disponível (Pdisp), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), iodo (I), selênio (Se) e cobalto (Co) para peixes criados em cativeiro .....	7
Tabela 2 Valores de suplementação de cálcio para várias espécies de peixes em diferentes condições de cultivo .....	15
Tabela 3 Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) das farinhas testadas de carne e ossos (base em matéria natural) .....	43
Tabela 4 Composição percentual e químico-bromatológica da dieta-referência .....	44
Tabela 5 Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (CDAMS) e proteína bruta (CDAPB). Coeficiente de disponibilidade aparente do cálcio (CDACa), fósforo (CDAP), sódio (CDANa), potássio (CDAK) e magnésio (CDAMg) das farinhas de carne e ossos testadas .....	48
Tabela 6 Correlação linear entre os valores de proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB) e matéria seca (CDAMS), coeficiente de disponibilidade aparente do cálcio (CDACa), fósforo (CDAP), sódio (CDANa), potássio (CDAK) e magnésio (CDAMg) das farinhas de carne e ossos testadas .....	49

## RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a biodisponibilidade dos minerais cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) da farinha de carne e ossos com diferentes teores de proteína bruta (PB). Um ensaio de digestibilidade “in vivo” foi realizado com 180 juvenis de tilápia do Nilo ( $32,65 \pm 4,52$  g) da linhagem GIFT, distribuídos em aquários cônicos, em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições. Foram avaliadas cinco farinhas de carne e ossos com 30,90; 35,26; 38,06; 41,38 e 44,36% de PB. Para a determinação dos coeficientes de disponibilidade e digestibilidade aparentes (CDA) foi utilizada ração-referência com aproximadamente 3.120 kcal de ED/kg e 32% de PB. As rações-teste foram compostas por 70% da dieta-referência e 30% de cada farinha de carne e ossos avaliada. Os valores dos CDAs foram submetidos à análise de variância e em caso de significância submetidos à análise de regressão polinomial ( $P < 0,05$ ). Também foi realizada análise de correlação linear entre a composição química das farinhas e os CDA dos nutrientes e dos minerais. Os CDA médios dos minerais Ca, P, Na, K e Mg variaram entre -2,35 e 26,75; 3,7 e 55,31; 37,83 e 82,77; -0,72 e 23,04; 24,38 e 331,84%, respectivamente. Foi observado efeito da matéria mineral (MM) e da PB sobre a disponibilidade aparente do Ca e P, e sobre a digestibilidade aparente da MS. Foi observado correlação positiva entre os teores de PB e os CDA de todos os minerais analisados com exceção do K e do Mg, os quais apresentaram correlação positiva com a MM. Os CDAs do Ca, P e Na apresentaram correlação negativa com a MM. OCDA da MS apresentou correlação positiva apenas com a PB e o mineral Na. Os CDA do Ca e do P apresentaram correlação negativa com os teores dos minerais Ca, P e Mg. A farinha de carne e ossos com 46,37% de proteína bruta apresentou maior CDA dos nutrientes e minerais. As farinhas de carne e ossos avaliadas podem ser utilizadas como fonte de minerais para a tilápia do Nilo.

**Palavras-chave:** disponibilidade, minerais, correlação, *Oreochromis niloticus*

## ABSTRACT

Bioavailability of calcium (Ca), phosphorus (P), sodium (Na), potassium (K) and magnesium (Mg) of meat and bone meal with different levels of crude protein (CP) were evaluated. An *in vivo* digestibility trial was carried out with 180 juveniles of Nile tilapia ( $32.65 \pm 4.52$  g), GIFT strain, divided into conical tanks. Five meat and bones meals with 30.90, 35.26, 38.06, 41.38 and 44.36% CP were evaluated in a completely randomized design with five treatments and three replications. To determine the apparent digestibility coefficients (ADC) a reference diet based on soybean meal and poultry meal by product with approximately 3,120 kcal DE.kg<sup>-1</sup> and 32% of CP was elaborated. The test diets were composed of 70% of reference diet and 30% of each meat and bone meal. The values of ADCs were submitted to variance analysis and in case of significance were then submitted to polynomial regression analysis ( $P < 0.05$ ). Analysis of linear correlation between the chemical composition of the meals and ADC of nutrients and minerals was also performed. ADCs mean values of the minerals Ca, P, Na, K and Mg varied between -2.35 and 26.75; 3.7 and 55.31; 37.83 and 82.77; -0.72 and 23.04; 24.38 and 331.84 %, respectively. Effect of ash and CP on ADC of Ca and P, and on the ADC of dry matter (DM) were observed. Positive correlation between the CP and the ADC of all minerals analyzed was observed except for K and Mg, which showed a positive correlation with the ash content of the meals. The ADCs of Ca, P and Na, showed a negative correlation with the ash content. The ADC of DM was positively correlated only with the CP and the mineral Na. The ADC of Ca and P were negatively correlated with the levels of minerals Ca, P and Mg. The meat and bone meals with 46.37 % CP showed higher ADC of nutrients and minerals. The meat and bones evaluated can be used as a source of minerals for Nile tilapia.

**Keywords:** availability, minerals, correlation, *Oreochromis niloticus*

# I – INTRODUÇÃO GERAL

## 1. Tilápia do Nilo

Originária da Costa do Marfim, no Oeste africano, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foi introduzida na região Nordeste do Brasil em 1971. A partir desta data, a tilápia foi distribuída e cultivada por todo território brasileiro, sendo uma das espécies que mais se adaptou ao nosso clima (El-Sayed, 2006).

A tilápia do Nilo é considerada uma das espécies mais importantes para a piscicultura brasileira por suas particularidades, tais como: sua rápida taxa de crescimento, adaptação a condições adversas de criação, boa aceitação pelo consumidor (MacIntosh e Little, 1995; Boscolo et al., 2001; Meurer et al., 2002) e por possuir carne com boas características organolépticas, com possibilidade de comercialização de filés sem espinhos intramusculares (Degani e Revach, 1991). Considerada uma espécie de hábito alimentar onívoro, é capaz de utilizar eficientemente nutrientes dos alimentos de origem animal e vegetal, possibilitando maior flexibilidade na formulação de rações, permitindo diminuir os custos com a alimentação (Pezzato et al., 2002). Consome ração logo após o início da alimentação exógena (Tengjaroenkul et al., 2000), além de possuir adaptações morfológicas e fisiológicas como dentes faríngeos, pH estomacal ácido e intestino longo (Kubarik, 1997).

O Brasil é o maior produtor de tilápias da América do Sul, seguido por Colômbia e Equador, respectivamente, totalizando em 98,5% da produção deste continente no ano de 2006 (FAO, 2009). No ano de 2009, a produção nacional de tilápias foi de 132 mil toneladas (BRASIL, 2010) e esse crescimento foi em razão, principalmente, da intensificação na produção em tanques de terra e tanques-rede.

A produção em escala de tilápias está se fixando no Brasil, em grandes reservatórios de águas públicas, voltando sua técnica de produção principalmente para tanques-rede. Para elaboração de dietas considerando o custo, o desempenho e impactos sobre o meio ambiente são necessárias informações sobre o valor nutritivo dos alimentos para cada espécie.

## **2. Digestibilidade e biodisponibilidade de minerais**

Estudos sobre o valor nutritivo dos principais produtos e coprodutos produzidos no Brasil utilizados na elaboração de rações são de fundamental importância tanto para os aspectos nutricionais quanto econômicos, objetivando maior precisão no balanceamento das dietas para organismos aquáticos (Abimorad e Carneiro, 2004). Para a determinação do valor nutritivo de um ingrediente ou de uma dieta, a análise química deve estar associada à determinação da digestibilidade. Estes parâmetros são de grande importância (Maynard, 1974; Cho, 1987) para a determinação das exigências nutricionais dos peixes (Furuya et al., 2001).

Portanto, determinar a digestibilidade de um nutriente se torna importante parâmetro para avaliar seu potencial de inclusão em dietas para peixes (Cho, 1987), avaliar a qualidade de dietas completas (Sadiku e Jauncey, 1995; Gonçalves e Carneiro, 2003), além de ser fundamental para a atualização de tabelas de composição de alimentos, que permitem a formulação de rações específicas para cada espécie, considerando a fase de criação (Pezzato et al., 2004; Pond et al., 2005). Dados confiáveis sobre a digestibilidade dos nutrientes são fundamentais para formular dietas de baixo custo e menor impacto ambiental (Vandenberg e De La Noüe, 2001), minimizando as perdas de nutrientes para o meio ambiente e eutrofização dos corpos d'água (Sugiura et al., 1998a; Quintero-Pinto, 2008; Guimarães et al., 2012).

A eficiência da digestão dos alimentos pode ser influenciada, entre outros fatores, pela superfície da exposição destes às secreções digestivas, tempo de passagem pelo trato gastrintestinal (NRC, 1993; Pezzato, 2001), peso e comprimento dos peixes, processo físico-químico a que a dieta ou o ingrediente tenham sido submetidos, composição química da dieta, concentração dos nutrientes na dieta e características da espécie (Windell et al., 1978; Hephher, 1988; Stech e Carneiro, 1988; Hernandez et al., 1994; Watanabe et al., 1996; Sallum, 2000; Dabrowisk e Portella, 2006).

Assim, os teores de minerais da dieta, efetivamente disponíveis para os peixes, podem ser estimados com o auxílio do coeficiente de digestibilidade do nutriente (Pond et al., 2005). A palavra digestibilidade define o desaparecimento de um nutriente pelo trato digestório e é obtida pela diferença entre a quantidade de energia ou nutriente consumido e a excretada nas fezes (Glencross et al., 2007; Sakomura e Rostagno, 2007). Entretanto, a biodisponibilidade ou disponibilidade biológica dos nutrientes é um termo mais complexo, que envolve a digestão, a captação intestinal ou absorção, a distribuição do nutriente para os tecidos e a sua utilização por eles (Harvey, 2001; Cozzolino, 2005). Assim, em 1997, durante o Congresso de biodisponibilidade, realizado em Wageningen na Holanda, foi proposta a mais recente definição para o termo, caracterizando a biodisponibilidade como a fração de qualquer nutriente ingerido que tem o potencial para suprir demandas fisiológicas em tecidos alvos.

Portanto, a digestibilidade pode atuar como parâmetro para estimar a biodisponibilidade de um mineral, uma vez que o cálculo para a determinação do coeficiente de digestibilidade aparente não inclui o mineral excretado via urina, absorvido via água e também não considera a fração mineral endógena excretada via fezes determinada apenas nos cálculos de digestibilidade verdadeira por marcação dos tecidos corporais com isótopos do elemento em estudo (Sakomura e Rostagno, 2007).

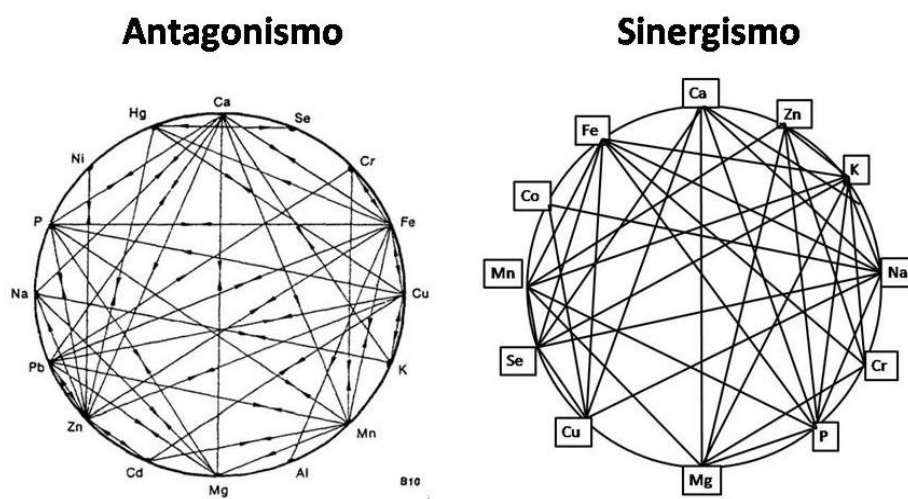
A biodisponibilidade dos minerais pode variar de acordo com a forma e o teor com que estes se apresentam na dieta e na água de cultivo. Também pode variar influenciada pelas interações sinérgicas e antagônicas entre os nutrientes (Georgievskii, 1982; Watanabe et al., 1997), pelas condições fisiológicas e patológicas do peixe, espécie e fase de vida (Clearwater et al., 2002; Lall, 2002), e por fatores antinutricionais que podem mudar drasticamente as condições de qualidade e torná-los potencialmente tóxicos para os peixes (Pezzato et al., 2004).

A presença do estômago no trato gastrointestinal dos peixes também influencia na biodisponibilidade dos minerais dietéticos, uma vez que os sucos gástricos, de característica ácida, são capazes de dissociar em sais de fácil absorção, elementos minerais de baixa solubilidade e de difícil dissociação e absorção intestinal (Davis e Gatlin III, 1996).

O antagonismo ocorre quando um elemento diminui a absorção intestinal ou indisponibiliza a utilização metabólica de outro. A elevada ingestão de cálcio (Ca) reduz a absorção intestinal de zinco (Zn), enquanto que o excesso de Zn pode diminuir a absorção de cobre (Cu). O antagonismo em nível metabólico acontece quando o excesso



de um elemento interfere com as funções metabólicas de outro. Isto é visto com Zn e o cobalto (Co) e com o Ca, magnésio (Mg) e o fósforo (P) (Watts, 1990). A sinergia entre os elementos ocorre principalmente em nível metabólico. O ferro (Fe) e o Co são minerais sinérgicos, sendo o Co necessário para o aproveitamento do ferro. O magnésio também funciona em conjunto com o potássio (K), aumentando a sua retenção celular. O sinergismo entre Ca, Mg e P é bem conhecido pela sua exigência na manutenção e estrutura do tecido ósseo (Prasad, 1978). Na Figura 1 são caracterizadas as principais interações propostas por Watts (1990). Assim, analisar apenas um elemento geralmente fornece pouca ou nenhuma informação, uma vez que na maioria das vezes ele pode estar relacionado negativamente ou positivamente com outro.



**Figura 1** – Interações de antagonismo e sinergismo entre os minerais esquematizados através do The Mineral Wheel. Adaptado por Watts (1990).

A obtenção de valores de digestibilidade é realizada com base na coleta de fezes, metodologia rotineiramente utilizada em estudos com animais em ensaios de digestibilidade. Dois métodos são mais comumente utilizados nas pesquisas onde se busca determinar os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes dos componentes das dietas, são os métodos direto e indireto. O método direto ou método de coleta total envolve a mensuração de todo o alimento consumido e de todo o resultado de excreção pelo peixe, mas que, em função da dificuldade em quantificar com precisão o material ingerido e excretado, tem sido pouco utilizado (Sakomura e Rostagno, 2007). O método indireto, mais utilizado no Brasil, utiliza-se um marcador incluso na dieta nas concentrações entre 0,5 a 1,0%, que depois é avaliado nas fezes. O marcador mais utilizado é o óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), embora outros marcadores também possam ser

utilizados (NRC, 1993). O método de coleta de fezes, adequado para os estudos de digestibilidade em peixes, é indispensável para que se obtenha precisão nos resultados (Austreng, 1978; Smith et al., 1980), uma vez que o emprego de algumas metodologias, além de provocar estresse nos animais, pode acarretar outros problemas, como lixiviação de nutrientes na água e contaminação das fezes por tecidos e/ou substâncias do próprio animal, mascarando os valores obtidos (Utne, 1978).

Existem vários métodos para a coleta das fezes de peixes, mas o método mais utilizado no Brasil é o método por decantação ou sistema de *Guelph* em que se utiliza um aquário para a alimentação e outro afunilado para a coleta de fezes. A dificuldade de realização desses ensaios, especialmente em peixes, é pelo ambiente aquático e pelas características biológicas do animal (Glencross et al., 2007). A quantificação dos valores de energia ou nutrientes metabolizáveis das dietas para peixes é tecnicamente difícil pela necessidade de se mensurar a quantidade das perdas via sistema urinário e branquial. Assim, nutricionistas de peixes, para atribuir valores energéticos a diferentes ingredientes para a formulação de dietas balanceadas, usualmente empregam os valores de energia ou nutriente digestível (Cho et al., 1982).

Todo trabalho sobre digestibilidade de um determinado nutriente, tanto para peixes como para qualquer outro animal, envolve a determinação do teor desse nutriente no alimento e a estimativa de quanto desse alimento foi assimilado. Utilizando o  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , a digestibilidade aparente, segundo Nose (1966), é estimada por meio da equação:

$$CDA = 100 - \left[ 100 \cdot \left( \frac{\%I_r}{\%I_f} \right) \cdot \left( \frac{\%N_f}{\%N_r} \right) \right]$$

em que: CDA = coeficiente de digestibilidade aparente;  $I_r$  = % de óxido de cromo na ração;  $I_f$  = % de óxido de cromo nas fezes;  $N_r$  = nutrientes na ração;  $N_f$  = nutriente nas fezes.

A biodisponibilidade dos minerais também pode ser avaliada por outros parâmetros como pelo desenvolvimento ósseo, pelos níveis de enzimas ou componentes essenciais no qual os minerais participam da composição ou pelo acúmulo do elemento mineral nos tecidos (Sakomura e Rostagno, 2007).

### 3. Nutrição mineral em peixes

Os minerais são nutrientes imprescindíveis para o normal funcionamento dos processos biológicos e para a manutenção da higidez animal. Atualmente, técnicas

analíticas modernas têm permitido determinações muito mais exatas dos minerais com a consequente demonstração das suas funções em processos metabólicos, fazendo possível, ainda, a sua reclassificação em minerais *macro* (quantia entre 0,01 e 10%), *micro* (quantia entre 100 ppt e 100 ppm) e *traço* (quantia menor que 100 ppt) (Quintero-Pinto, 2008). Porém, muitos autores ainda utilizam a classificação antiga que estabelece duas categorias: *macro* para Ca, P, Mg, K, sódio (Na), cloro (Cl) e enxofre (S) com valores entre 0,01 e 10% (1 e 100 ppm) e *micro* ou elemento *traço* para todos os outros minerais com valores menores que 0,01% (menor que 100 ppm) (McDowell, 1992; Bertechini, 2006).

A maior proporção da matéria viva consta de quatro elementos estruturais básicos: carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, exigidos em altas concentrações e representando 96% do peso corporal do animal (McDowell, 1992). Além desses elementos, os minerais Ca, P, Mg, K, Na, Cl e S representam 2,72% do peso vivo total do animal, sendo necessários em concentrações relativamente altas e, portanto, todos são quantificados em gramas ou porcentagens (McDowell, 1992; Davis e Gatlin III, 1996; Lall, 2002). Outros 16 minerais: alumínio (Al), arsênio (As), Co, cromo (Cr), Cu, flúor (F), iodo (I), Fe, manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se), silício (Si), estanho (Sn), vanádio (V) e Zn, aparecem no corpo dos animais em baixas concentrações e, portanto, são quantificados em miligramas ou microgramas por quilograma (Watanabe et al., 1997). Ainda outros minerais têm sido reportados como essenciais para os seres vivos como o chumbo (Pb), lítio (Li) e o boro (B) (McDowell, 1992; Watanabe et al., 1997).

Williams (1984) caracteriza um elemento como sendo essencial quando, na sua ausência, o organismo não completa seu ciclo de vida, ele está envolvido no metabolismo e sua função não pode ser substituída por outro elemento. Segundo Davis e Gatlin III (1996), dos minerais citados como essenciais para os seres vivos, dez já foram identificados como essenciais para a dieta de peixes, sendo eles sete cátions: cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ); e três ânions: iodeto ( $\text{I}^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ). O enxofre faz parte da estrutura dos aminoácidos sulfurados, sendo também considerado elemento essencial (Davis e Gatlin III, 1996; Quintero-Pinto, 2008). As exigências quantitativas de minerais informadas para algumas espécies de peixes de criação estão resumidas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Exigências nutricionais dos minerais cálcio (Ca), fósforo disponível (Pdisp), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), iodo (I), selênio (Se) e cobalto (Co) para peixes criados em cativeiro

Espécie	MINERAIS								
	Macro (%)					Micro (mg/kg)			
	Ca	P(disp)	Mg	K	Fe	Cu	Mn	Zn	I
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	---	0,6	0,05	---	---	3,0	13,0	15-30	1,1
<i>Salmo salar</i>	---	0,6	0,04	0,8	30-60	5,0	10	37-67	0,6-1,1
<i>Oreochromis sp.</i>	0,65-0,8	0,46-0,75	0,06-0,08	0,2-0,3	60	2-4	12	20-30	---
<i>Ictalurus punctatus</i>	---	0,45	0,04	---	30	5,0	2,4	20	1,1
<i>Cyprinus carpio</i>	---	0,6-0,7	0,05	---	15	3,0	13	15-30	---

Adaptado de NRC (1993), Watanabe et al. (1997), Lall (2002) e Lim e Webster (2006).

Os minerais, como constituintes de ossos e dentes, proporcionam resistência e rigidez às estruturas esqueléticas. Nos fluidos corporais, os minerais, na sua forma iônica, são indispensáveis para a manutenção do equilíbrio ácido-base e osmorregulação com o meio aquático, além de atuarem em atividades de integração envolvendo os sistemas nervoso e endócrino (Jobling, 2001). Como componentes de pigmentos do sangue, enzimas e compostos orgânicos em tecidos e órgãos são indispensáveis para os processos metabólicos essenciais que envolvem operações de trocas gasosas e aquelas relacionadas com energia (NRC, 1993). Alguns metais podem se associar a metaloenzimas realizando funções catalíticas. Por exemplo, o Fe com os citocromos (a, b, c) para transferência de elétrons e o Zn e a fosfatase alcalina para hidrólise de ésteres de fosfato (Lall, 2002). Alguns compostos biologicamente importantes contêm minerais como parte inerente da sua estrutura, por exemplo, hemoglobina (com o ferro) e a vitamina B12 (com o cobalto) (Lall, 2002), já o I é necessário para a biossíntese dos hormônios tireoidianos (T3 e T4) (Gonçalves et al., 2005).

Os peixes são animais pecilotérmicos, e pela sua dependência direta e indireta do ambiente em que vivem, são mais suscetíveis às suas variações que os animais terrestres. Através das brânquias e da pele, os peixes possuem a habilidade de absorver alguns elementos inorgânicos da água, e essa peculiaridade deve sempre ser levado em conta em estudos com minerais (Hilton, 1989; NRC, 1993; Lall, 2002; Furuya, 2010). Segundo Watanabe et al. (1997), os peixes podem suprir parte de suas exigências nutricionais em Ca, Mg, Na, K, Fe, Zn, Cu, Co e Se pelos minerais dissolvidos na água. Outros minerais como P, Cl, S e I são absorvidos mais efetivamente de fontes

alimentares (Lall, 2002), e sua absorção pode ser afetada tanto pela composição química da água quanto pelas características da espécie (NRC, 1993). Metabolicamente, os peixes mantêm os níveis de minerais corporais (para a maior parte dos minerais), equilibrando de forma integrada os processos de absorção, armazenamento e excreção dos mesmos (Guimarães et al., 2012).

A introdução de novos ingredientes para a aquicultura faz com que ensaios para a avaliação da biodisponibilidade dos minerais de dietas tanto experimentais como comerciais sejam necessários (Pezzato et al., 2009). Tacon e De Silva (1983) observaram grandes diferenças na composição mineral dentro e entre os vários alimentos comerciais para peixes e que, embora a maioria dos elementos seja encontrada em concentrações acima dos níveis exigidos, o seu teor total na dieta não representa o valor da sua biodisponibilidade.

A biodisponibilidade de ingredientes práticos e as possíveis interações entre estes e os minerais de fontes inorgânicas utilizadas na formulação de rações para peixes ainda não foram bem caracterizadas. Para evitar o uso excessivo de minerais inorgânicos em dietas práticas, a biodisponibilidade dos minerais provenientes dos ingredientes nas dietas e as suas propriedades antagônicas devem ser determinadas (Sugiura et al., 1998b) para o melhor entendimento da ação dos minerais sobre o crescimento, ciclo reprodutivo e higidez das tilápias (Furuya, 2010).

### **3.1. Fósforo**

O fósforo é um macro mineral que pode ocorrer nos organismos na forma livre (fósforo inorgânico) ou ligado a outras macromoléculas (fósforo orgânico) como aos açúcares, proteínas e outros componentes celulares (Viola et al., 1986; Quintero-Pinto et al., 2011). Está localizado em todas as células do corpo e ocorre em equilíbrio nas formas inorgânicas  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ , e  $\text{PO}_4^{3-}$  (Lall, 2002), sendo o fosfato pentavalente a sua forma predominante ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) em pH básico, como componente essencial do citoplasma presente nos tecidos vegetais e animais (Strain e Cashman, 2002).

O fósforo se encontra na dieta tanto como componente natural de moléculas biológicas quanto como aditivo alimentar na forma de sais (Quintero-Pinto et al., 2011), sendo essencial para o adequado crescimento e reprodução dos peixes, além de

importante constituinte estrutural do tecido esquelético (Roy e Lall, 2003). O fósforo presente nos ingredientes de origem animal se apresenta principalmente na forma inorgânica de hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ), componente estrutural dos ossos, que confere rigidez, resistência e suporte, mas de menor disponibilidade do que os fosfatos inorgânicos (Steffens, 1987; Lall, 2002). O fósforo dos vegetais ocorre principalmente na forma de ácido fítico (exafosfato de inositol), o qual é pouco hidrolisado no intestino apresentando, portanto, baixa absorção e tendência a ser excretado pela via fecal (Sugiura et al., 1998b; Quintero-Pinto et al., 2011).

O fósforo é o segundo mineral mais abundante no corpo animal, totalizando entre 0,5% para animais jovens e 1,1% para animais adultos, e o segundo mais importante para a estrutura óssea (37% do osso corresponde ao cálcio e 16% ao fósforo) (Steffens, 1987; Roy e Lall, 2003). Entre 80 e 85% desse elemento está presente nos ossos e tecidos duros, o restante faz parte dos tecidos moles e fluidos extracelulares. Apresenta grande importância para o crescimento, mineralização óssea e o metabolismo de lipídios (Pezzato et al., 2006).

Em tecidos moles, o fosfato desempenha várias funções como importante componente das membranas celulares e organelas intracelulares na forma de fosfolipídios e componente essencial dos ácidos nucleicos (DNA e RNA) (McDowell, 1992; Lall, 2002; Martini, 2006; Da Silva e Cozzolino, 2007). A concentração total de P no sangue é de aproximadamente 40 mg/dL, principalmente como fosfolipídios das hemácias e lipoproteínas do plasma e, aproximadamente, 8% desse valor se concentram na forma de fósforo inorgânico (Da Silva e Cozzolino, 2007). Faz parte de processos bioquímicos de geração e transferência de energia e armazenamento de compostos fosforilados como a adenina trifosfato (ATP) e a creatina fosfato (CP) (Strain e Cashman, 2002; Martini, 2006; Da Silva e Cozzolino, 2007). Também auxilia a manutenção do equilíbrio ácido-básico, atua como importante tampão e participa da molécula 2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG) que, ligada à hemoglobina, influencia no transporte de oxigênio para os tecidos (Lall, 2002).

A formação óssea, influenciada pelo P da dieta (Roy et al., 2002), é realizada pelos osteoblastos e, a mineralização da matriz óssea e a remodelação óssea, envolvendo a reabsorção, são realizadas pelos osteoclastos (Huysseune, 2000; Witten et al., 2000). Segundo Roy et al. (2002), o número de osteoblastos aumenta com o aumento da concentração de P dietético de 0,42 para 1,42%. Uma redução na

quantidade de cinzas vertebral total foi observada em peixes alimentados com quantidades baixas e excessivas de P na dieta (Roy e Lall, 2003).

Valores de exigência em P de 0,46 a 0,75%, para diferentes espécies, foram registrados na literatura e variam de acordo com a fonte de suplementação, o tipo de ração basal, o tamanho do peixe e o método de avaliação (Ogino e Takeda, 1976; NRC, 1993; Lall, 2002; Lim e Webster, 2006; Pezzato et al., 2006; Quintero-Pinto et al., 2011). Estes valores estão de acordo com os resultados encontrados para a tilápia azul, (*Oreochromis aureus*), (Robinson et al., 1987a), ‘sunshine bass’ (*Morone chrysops* x *M. saxatilis*) (Brown et al., 1993), "striped bass", (*Morone saxatillus*) (Dougall et al., 1996) e para o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*), determinada por Wilson et al. (1982). Nose e Araí (1976) recomendam, ainda, para o crescimento normal e mineralização dos ossos dos peixes, níveis de fósforo disponível (Pdisp) entre 0,27 e 0,80%.

Os valores de exigência em P total registrados para a tilápia com o objetivo de evitar deficiências e promover o normal crescimento corporal variam de 0,3% a 1,1%, podendo variar entre as espécies, tamanho do peixe, fase de crescimento e composição da dieta (Viola et al., 1986; Watanabe et al., 1988; De Silva e Anderson, 1995; Boscolo et al., 2005). Para juvenis da tilápia do Nilo, a exigência de Pdisp determinada foi de 0,5 a 0,6% (Furuya et al., 2008a; Furuya et al., 2008b).

Estudando o crescimento da carpa comum (*Cyprinus carpio*) e da truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), Watanabe et al. (1988) encontraram correlação positiva entre o ganho de peso e o nível de P da dieta. Resultados semelhantes também foram encontrados por Oliva-Teles e Pimentel-Rodrigues (2004), trabalhando com juvenis de robalo (*Dicentrarchus labrax* L.). Ogino e Kamizono (1975) trabalharam com trutas arco-íris e dietas isentas de minerais e, após duas semanas, observaram diminuição do apetite, retardo no crescimento e anemia hipocrômica microcítica, além de convulsão e morte em certa porcentagem dos peixes. Os peixes sobreviventes apresentaram escoliose, lordose e descamação de ossos craniais. Resultados semelhantes foram encontrados por Cheng et al. (2005), trabalhando com garoupa malabar (*Epinephelus malabaricus*) e Ye et al. (2006) com garoupa (*Epinephelus coioides*). Chow e Schell (1980) resumiram os sintomas de deficiência e as exigências de 16 minerais para diversas espécies de peixes e demonstraram que somente a deficiência de quatro deles, P, Mg, Fe e I produziram sintomas evidentes.

Quintero-Pinto et al. (2011) determinaram as exigências nutricionais de P para tilápia do Nilo em três fases de vida: crescimento, engorda e acabamento, concluindo que as exigências nutricionais de P para tilápia do Nilo são mais altas nas etapas iniciais de vida e diminuem progressivamente ao longo do ciclo produtivo e que as exigências nutricionais de P para máxima mineralização óssea são mais altas do que para ótimo desempenho produtivo. Revelou-se também, nesse estudo, que a suplementação deficiente do P, nas rações para tilápia do Nilo, causa letargia, redução do apetite, baixa taxa de crescimento, fotossensibilidade, agressividade, deficiente mineralização dos ossos, altos teores de lipídeos no filé e no fígado e, em alguns casos, deformações e presença de nódulos nas espinhas dorsais das vértebras.

A deficiência de P também tem como consequência aumento da gliconeogênese no fígado e, com isso, incremento na síntese de ácidos graxos a partir dos aminoácidos (Takeuchi e Nakazoe, 1981; Baeverfjord et al., 1998; Yang et al., 2006; Zhang et al., 2006). Resultados experimentais de Onishi et al. (1982) comprovaram que baixas concentrações de P no alimento originaram quantidades elevadas de gordura em carpa comum. Resultados semelhantes também foram encontrados em trabalhos com a tilápia do Nilo (Murakami, 1967), bagre do canal (Eya e Lovell, 1997), com truta arco-íris (Roy e Lall, 2003) e garoupa malabar (Cheng et al., 2005). De acordo com Roy e Lall (2003), teores insuficientes de P inorgânico podem inibir a esterificação de ácidos graxos livres fazendo com que ocorra diminuição do uso de lipídios como fonte de energia (Rodehutsord, 1996).

Melhora significativa na conversão alimentar foi observada por Dato-Cajegas e Yakupitiyage (1996), Robinson et al. (1987b) e Miranda et al. (2000) com o aumento de P na dieta. Pezzato et al. (2006), estudando alevinos de tilápia do Nilo alimentados com as rações contendo níveis inferiores a 0,5% de P para tilápia, também encontraram baixos valores de ganho de peso e pior conversão alimentar, o que está em conformação com o observado por Andrews et al. (1973) e Dove et al. (1976) com o bagre do canal e a carpa comum, respectivamente.

Em contrapartida, Satoh et al. (1996) observaram que o excesso de P reduziu a síntese proteica e a disponibilidade de Zn trabalhando com dietas para trutas. Ye et al. (2006), em trabalho com a garoupa, observaram que a suplementação do P foi necessária para a deposição de Mg e Zn. Interações semelhantes com Mg também foram registradas por Skonberg et al. (1997) e Baeverfjord et al. (1998).



A razão de absorção do P da água é de apenas 0,01% em relação à do Ca (Phillips et al., 1963). Assim, o P é exigido em grandes quantidades na dieta, pois ainda que os peixes possam utilizar o P da água, a eficiência dessa absorção é baixa (Wilson et al., 1982; NRC, 1993). Além disso, a concentração desse mineral, tanto em águas doces quanto em águas marinhas é baixa (abaixo de 0.002 ppm), sendo um dos nutrientes mais limitantes no meio aquático (Hilton, 1989). Portanto, a exigência em P de peixes, provenientes principalmente de criações intensivas, deve ser satisfeita quase que exclusivamente pela dieta (Furuya et al., 2008a).

A biodisponibilidade do P para os peixes depende tanto da fonte mineral como das características do sistema digestório. As espécies de peixes que têm estômago, por exemplo, absorvem melhor os fosfatos dificilmente solúveis (Steffens, 1987; Hephher, 1993; Li e Robinson, 1996). As fosfatases intestinais hidrolisam a forma orgânica e, assim, a maior parte da absorção acontece como P inorgânico, com maior porcentagem de absorção total nos animais jovens do que nos adultos (McDowell, 1992). Chow e Schell (1980) também observaram aumento na absorção do P por peixes cultivados em temperaturas mais elevadas e alimentados com dietas formuladas com glicose.

Martini (2006) e Da Silva e Cozzolino (2007) observaram que a absorção do P é feita na porção proximal do intestino por mecanismo de transporte ativo com cotransporte do íon sódio. A taxa de transporte ativo é aumentada pela presença do hormônio calcitrol, forma ativa da vitamina D3 [1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>]. O transporte do P no jejuno e íleo ocorre por mecanismo passivo. A taxa de transporte do P, nesse caso, é dependente principalmente da sua concentração no lúmen e é independente dos níveis de outros nutrientes e da energia.

Cerca de dois terços do P total é absorvido pelo intestino dependendo dos ingredientes usados na mistura alimentar. O excesso de Ca na dieta tem efeito antagonista sobre a taxa de absorção de P pelo intestino. Neste caso, o excesso de Ca em relação ao P faz com que ocorra a combinação de ambos os minerais com formação do fosfato de cálcio, composto indisponível biologicamente para os peixes (Andrews et al., 1973; Cowey e Sargent, 1979; Nakamura, 1982).

Em muitos alimentos de origem vegetal, a disponibilidade do P é baixa, uma vez que esse mineral se encontra na forma de fitato, não disponível a animais monogástricos (Sugiura et al., 1998b). A farinha de peixe, por exemplo, contém altos níveis de P, porém para a tilápia do Nilo, sua disponibilidade é de apenas 27,1%, o que resulta numa excreção excessiva de fósforo para o meio ambiente (Miranda et al., 2000).

A disponibilidade do P depende da solubilidade da fonte, de modo que na forma de fosfato tricálcico é menos disponível do que na forma de fosfatos mono e bicálcico (Ogino e Kamizono, 1975). Para peixes sem estômago como a carpa, o P na forma de fosfato tricálcico é ainda menos disponível. A fonte de P é de grande importância, como observado por Yone e Toshima (1979), ao administrar fosfato tricálcico  $[Ca_3(PO_4)_2]$  presente na farinha de peixe. Os autores verificaram que este praticamente não foi digerido, enquanto que para a truta arco-íris, o aproveitamento do P da farinha de pescado foi de cerca de 30%.

A absorção de P é reduzida por altas doses de carbonato de cálcio, altas concentrações de Al na dieta e por diminuição da temperatura da água (Lall, 2002). Outros fatores que também podem afetar a disponibilidade do P são a relação Ca/P (Haylor et al., 1988; Dato-Cajegas e Yakupitiyage, 1996; Miranda et al., 2000), as interações com outros minerais, a vitamina D3, o estado fisiológico do peixe, a formulação e o processamento da dieta, e a presença e relação fósforo fítico/fitase, principalmente (Lall, 2002).

Embora o P represente importante função para o crescimento dos peixes, este elemento em excesso nas dietas não apenas eleva os custos da produção como também contribui para a evolução de importantes impactos ambientais no meio aquático (Ye et al., 2006).

Alves e Baccarin (2005) observaram que 66% do P aportado pelo arraçoamento intensivo vão para o sedimento, 11% ficam dissolvidos na água e 23% são incorporados ao peixe em cultivo. Se, de um lado, estas projeções de crescimento produtivo e, consequente utilização dos recursos hídricos, trarão aos atores da atividade diversos benefícios, por outro, gera obrigações que devem ser cumpridas para a produção de peixes. A principal contribuição com o “input” de P no ambiente aquático pelos sistemas de cultivo de peixes é por meio de dietas e, conseqüentemente, da excreção dos animais (Odum e Barret, 2007). Portanto, o P pode contaminar meios aquáticos e causar o crescimento exacerbado de algas, além de elevar a demanda bioquímica de oxigênio, causando diminuição do oxigênio presente na água e alterações no meio, levando à morte de peixes e outros animais (Tundisi e Tundisi, 2008).

De acordo com Borlongan e Satoh (2001), o P fecal é a principal forma de excreção de P pelos peixes. Nos efluentes de piscicultura, esse mineral, juntamente com o nitrogênio, ocasiona elevadas taxas de eutrofização (Riche e Brown, 1996). Tal processo pode comprometer a qualidade da água e, no caso de domínios de

cianobactérias, prejudicar as características organolépticas dos peixes (van der Ploeg e Boyd, 1991) ou produzir compostos tóxicos aos peixes (English et al., 1994).

Bueno et al. (2012) observaram que dietas com menor porcentagem de P total têm menor custo e melhor eficiência de utilização do P pelos juvenis de tilápia, bem como menores valores de emissão de efluentes nos parâmetros de qualidade da água.

### 3.2. Cálcio

Aproximadamente 99% de todo o Ca corporal dos peixes se faz presente como constituinte de ossos, dentes e escamas, sendo o restante distribuído amplamente entre órgãos e tecidos. O cálcio é um macromineral que pode ocorrer nos organismos na forma livre (cálcio inorgânico), principalmente como fosfatos e compostos de bicarbonato, ou ligado a outras macromoléculas (cálcio orgânico), como proteínas e outros componentes celulares (Lall, 2002).

Nos peixes, o esqueleto ósseo é a principal fonte de reserva de Ca, uma vez que a troca deste mineral entre as escamas e os fluidos corpóreos é três vezes maior que a sua troca com os ossos (Berg, 1968; Lall, 2002). Assim, o Ca das escamas, pela sua labilidade, pode ser mobilizado para reequilibrar os teores deste mineral no peixe em caso de distúrbios tanto ambientais quanto do próprio organismo (Chow e Schell, 1980).

Nos organismos, o Ca está presente, em maior frequência, na forma inorgânica de hidroxiapatita,  $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ , complexada ao P sendo componente estrutural dos ossos, e também na forma simples e ionizada,  $Ca^{2+}$ , nos fluidos celulares e no sistema circulatório participando das atividades musculares e de osmorregulação (Chow e Schell, 1980). Como constituinte de ingredientes, destaca-se o fosfato bicálcico considerado dentre os compostos inorgânicos o de maior biodisponibilidade para os peixes (Chow e Schell, 1980; Ye et al., 2006).

O cálcio está ligado a diversas funções do organismo dos animais como a contração muscular, formação de coágulos de sangue, transmissão nervosa, manutenção da integridade da membrana celular e ativação de várias enzimas importantes. Na membrana da célula, o Ca está intimamente ligado aos fosfolipídios, onde controla a permeabilidade da membrana e, portanto, regula a absorção de nutrientes pela célula (Lall, 2002). Ele também tem importância na formação óssea e manutenção dos tecidos esqueléticos e está amplamente distribuído em tecidos moles (Chow e Schell, 1980).

Valores de exigência em Ca já foram determinados para algumas espécies de peixes: enguia japonesa (*Anguilla japonica*), bagre do canal, carpa comum, tilápia azul e "red sea bream" (*Chrysophrys major*) (Andrews et al., 1973; Sakamoto e Yone, 1973; Arai et al., 1974; Ogino e Takeda, 1976; Sakamoto e Yone, 1976; Robinson et al., 1984; Robinson et al., 1986; Robinson et al., 1987a), com números que variam entre 0,24 a 1,5 g/kg de Ca na dieta. Estes valores podem ser afetados pela química da água, nível de P na dieta e espécie do peixe.

Em trabalhos com bagre do canal e tilápia azul, valores de exigência de 0,45% e entre 0,17 a 0,7% de Ca na dieta, respectivamente, foram registrados em peixes criados em águas com concentração deste mineral menor que 1mg de Ca/l (Robinson et al., 1984; Robinson et al., 1986; Robinson et al., 1987b) (Tabela 2).

**Tabela 2** – Valores de suplementação de cálcio para várias espécies de peixes em diferentes condições de cultivo<sup>a</sup>

Espécie	Suplementação de cálcio em peixes		
	Recomendação <sup>c</sup>	Condições de cultivo	Referências
<i>Ictalurus punctatus</i>	1,5	AD + dieta prática	Andrewset al. (1973)
	SS	AD (14 mg Ca/l) <sup>b</sup>	Lovell (1978)
	0,45	AD (livre de Ca)	Robinsonet al. (1986)
<i>Tilapia aureus</i>	0,17-0,65	AD (livre de Ca)	Robinsonet al. (1984)
	0,7	AD (livre de Ca)	Robinsonet al. (1987)
<i>Chrysophrys major</i>	SS	AS	Sakamoto & Yone (1976)
<i>Cyprinus carpio</i>	SS	AD (20 mg Ca/l)	Ogino & Takeda (1976)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	SS	AD (20-23 mg Ca/l)	Ogino & Takeda (1978)
<i>Oncorhynchus keta</i>	SS	AD (20 mg Ca/l)	Watanabe et al. (1980)
<i>Poecilia reticulata</i>	SS	AD (40 mg Ca/l)	Shim and Ho (1989)

<sup>a</sup>Água doce (AD); Água salgada (AS); Sem suplementação (SS).

<sup>b</sup>Indica a concentração de cálcio na água de cultivo.

<sup>c</sup> Valor recomendado para cada 100 g da dieta.

Ogino e Takeda (1976) e Lovell (1978), conduzindo estudos, respectivamente, com a carpa comum e o bagre do canal, concluíram que peixes cujas dietas apresentavam-se ricas em P, mesmo que deficientes em Ca, exibiram crescimento normal.

Ao contrário dos animais terrestres, nos peixes o osso não é o principal sítio de regulação do Ca. Tanto em peixes de água doce quanto em peixes marinhos, as trocas gasosas através das brânquias fornecem aos animais acesso contínuo a um reservatório ilimitado de Ca presente na água (Lall, 2002). A região branquial é a área mais importante de contato entre o peixe e o ambiente aquático (Parry, 1966), sendo rica em

células transportadoras de íons (ionócitos) que participam de forma direta da captação deste mineral para dentro do organismo (Flik e Verbost, 1993).

Assim, os peixes apresentam três importantes canais de ingestão de Ca: intestino (tanto através da água quanto do alimento ingerido), brânquias e pele opercular (Marshall et al., 1992; McCormick et al., 1992). De modo geral, a exigência de Ca, na maioria dos peixes, é suprida por absorção através das brânquias (Lall, 2002), pois a contribuição em absorção do Ca extrabranquial através da pele é pequena, reflexo da baixa concentração de ionócitos presentes na mesma (Marshall et al., 1992; Perry et al., 1992). Por outro lado, de acordo com Sundell e Bjornsson (1988), no bacalhau do Atlântico (*Gadus morhua*), a contribuição estimada do intestino para a ingestão de Ca total absorvido pelo organismo pode ser de até 30%.

Segundo Steffens (1987), o Ca procedente da água é utilizado mesmo quando disponível no alimento, sendo sua captação quantitativamente tão alta quanto a da dieta. Com baixos níveis de Ca na água, o Ca da dieta passa a ser mais aproveitado. Assim, se a água contiver apenas 5 mg de Ca/l, o peixe absorverá mais Ca da dieta do que se a água possuir 50 mg de Ca/l.

Para algumas espécies marinhas, a absorção de Ca pela água do mar não é suficiente para satisfazer a sua exigência dietética em goraz (*Pagrus major*) (Sakamoto e Yone, 1973; Sakamoto e Yone, 1976). Por outro lado, para o salmão do Atlântico (*Salmo salar*), Bishop e Lall (1977) concluíram ser desnecessária a suplementação de Ca na dieta, uma vez que o Ca absorvido com a ingestão da água do mar é suficiente para atender as necessidades da espécie. Foi observado, após período de aclimação de 24 h, eficiente absorção de Ca proveniente da água de cultivo com 5 mg/L por bagres do canal (Chow e Schell, 1980).

Ogino e Takeda (1976) não detectaram deficiência de Ca em carpa comum, mas Hossain e Furuichi (1999), Hossain e Furuichi (2000b) e Hossain e Furuichi (2000c, a), trabalhando com espécies marinhas, observaram a necessidade de suplementação de Ca na dieta de ‘black sea bream’ (*Acanthopagrus schlegeli*), ‘japanese flounder’ (*Paralichthys olivaceus*), ‘redlip mullet’ (*Liza haematocheilia*) e ‘scorpion fish’ (*Sebastes marmoratus*). Assim, Ye et al. (2006), também trabalhando com suplementação de Ca em dietas para garoupa, concluíram, corroborando com outros trabalhos, que a grande maioria dos peixes tem a capacidade de absorver o Ca tanto do ambiente aquático em que vivem quanto dos ingredientes presentes na dieta para suprir sua exigência deste mineral, sem a necessidade de suplementação (Schwarz, 1995).

De forma geral, dietas elaboradas com níveis elevados de proteína de origem animal podem exceder as exigências nutricionais em Ca e P de peixes. Os níveis destes minerais e a relação entre eles devem ser cuidadosamente ajustados em dietas para tilápias, uma vez que o excesso de P e/ou Ca dietético interfere negativamente na disponibilidade do Zn, Mg e Fe (Schamber, 2008), assim como na taxa de utilização dos mesmos (Flik e Verbost, 1993; Ye et al., 2006).

A importância da relação Ca/P em rações para a tilápia do Nilo foi estudada por Miranda et al. (2000) e os melhores resultados de desempenho produtivo foram observados com dietas cujas relações Ca/P disponível ficaram entre 1:1 e 1:1,5. A proporção de Ca e P no corpo de várias espécies de peixes pode variar entre 0,7 e 1,6% (Lall, 1991). Aparentemente, os peixes demonstram habilidade em equilibrar a relação Ca/P controlando a absorção e a secreção do Ca para melhor utilização de ambos os minerais (Chow e Schell, 1980), uma vez que, diferentemente do Ca, a suplementação de P absorvido quase que exclusivamente da dieta pode aumentar de forma correspondente à retenção deste mineral no tecido esquelético (Flik e Verbost, 1993), alterando, assim, a relação Ca/P exigida pelo organismo.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Sakamoto e Yone (1979a), com o “red sea bream” (*Chrysophrys major*), Ogino et al. (1979), em trutas arco-íris, e Watanabe et al. (1980), com salmão do Atlântico, em trabalhos que avaliam a importância da relação Ca/P na manutenção da homeostase. Assim, a partir do momento que a dieta é formulada para fornecer níveis adequados de P tanto para o crescimento quanto para deposição e mineralização óssea, o Ca adquirido da água pode ser suficiente para manter uma relação Ca/P adequada para utilização de ambos os minerais (Vielma e Lall, 1998; Hossain e Furuichi, 1999).

O intestino pode se tornar sítio importante de absorção de Ca a partir da dieta, com destaque para a região do intestino proximal (Flik et al., 1990; Schoenmakers et al., 1993), principalmente durante fases da vida que exigem quantidades extras deste elemento, como nos períodos de maturação sexual em que o Ca é exigido para o desenvolvimento das gônadas, ou quando o nível de Ca do ambiente aquático é baixo (Berg, 1968; Ichii e Mugiya, 1983). Sundell e Bjornsson (1988), trabalhando com o bacalhau do Atlântico durante o período de pré-desova, registraram aumento drástico na taxa de absorção do Ca pelo intestino.

O cálcio em excesso é excretado, principalmente, por vias exbranquiais, pelo sistema renal ou pelo intestino (Hickman Jr, 1968; Hickman e Trump, 1969; Bjornsson

e Nilsson, 1985). A enzima  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase, presente nas membranas plasmáticas basolaterias dos ionócitos branquiais, e o envolvimento da bomba de  $\text{Na}^+\text{K}^+$ -ATPase na extrusão de Ca do enterócito são outros caminhos de transporte deste elemento (Flik and Verbost, 1993; Grüdtner et al., 1997).

O hormônio secretado pelo corpúsculo de Stannius (STC), glândula endócrina específica de peixes, é o principal regulador do metabolismo do Ca tanto em peixes marinhos quanto em vários peixes de água doce (Verbost et al., 1993). Um aumento nos níveis plasmáticos do  $\text{Ca}^{2+}$  estimula a secreção de STC que atua sobre as brânquias, intestino e rins com o objetivo de restaurar os níveis normais de Ca (Lall, 2002). Em meio hipertônico, os peixes teleósteos ingerem grandes quantidades de água. A água chega ao intestino juntamente com os sais associados a ela, produzindo um gradiente que, osmoticamente, retira a água do intestino para a corrente sanguínea. O excesso de sais é eliminado pelos ionócitos presentes nas brânquias (Evans et al., 1999).

Os principais fatores que afetam a utilização do Ca são a relação e os níveis de Ca e P; sua biodisponibilidade no ingrediente; idade do animal (jovens são mais eficientes) e pH do intestino delgado (acidez favorece a absorção) (Berstechini, 2006). O cálcio pode interagir com outros minerais essenciais da dieta. Alguns minerais como Mg, estrôncio (Sr), Zn e Cu podem reduzir o potencial de absorção do Ca (Podoliak, 1970; Nakamura, 1982; Hardy e Shearer, 1985; Gatlin III e Phillips, 1989; Vielma e Lall, 1998). Berntssen et al. (2003) registraram diminuição de Ca e P nas escamas de peixes alimentados com dietas com excesso de cádmio.

### **3.3. Outros macrominerais na nutrição de peixes**

O magnésio é um mineral essencial necessário no metabolismo do tecido ósseo, nos processos de osmorregulação e transmissão neuromuscular, e na manutenção da homeostase intra e extracelular. Também desempenha papel importante na adaptação respiratória de peixes de água doce (Houston, 1985; Helland et al., 2006), além de ser cofator essencial para muitas reações enzimáticas no metabolismo de proteínas, carboidratos e lipídios (NRC, 1993; Andriquetto et al., 2002). Participa da transferência de grupos fosfatos, hidrólise de grupos fosfatos e pirofosfatos, oxidação de ácidos graxos envolvendo o Acetil CoA, e na reação de ativação de síntese de aminoácidos (Lall, 2002).

A maior parte do Mg em peixes está localizada nos ossos (Lall, 2002), que serve de reservatório para este mineral (Andriquetto et al., 2002). Mas, este elemento também está, em menor proporção, presente no interior de células de tecidos moles, especialmente em células sanguíneas (Lall, 2002).

Diversos autores estimaram a concentração ideal de Mg na dieta para espécies de água doce, apresentando valores entre 400-800 mg/kg de dieta, podendo variar de acordo com a espécie (Ogino e Chiou, 1976; Knox et al., 1981; Gatlin III et al., 1982; Reigh et al., 1991; Shearer e Åsgård, 1992; Shim e Ng, 1998; Lim e Klesius, 2003; Liang et al., 2012). Entretanto, Shearer e Åsgård (1992) relataram que uma dieta contendo 78 mg/kg poderia satisfazer a exigência de Mg em truta arco-íris criada em água contendo 46 mg de Mg/l. Em trabalho com tilápias, Dabrowska et al. (1989a) registraram valores de exigência deste mineral entre 0,06 a 0,08% de Mg na dieta.

Os peixes apresentam a capacidade de utilizar o Mg presente na água através da sua ingestão pela boca (Hepher, 1988; Lall, 2002), o que faz com que a exigência em Mg dos peixes possa ser suprida tanto pela água quanto pela dieta (NRC, 1993).

Para a maioria das espécies marinhas, não há a necessidade de suplementação de Mg na dieta, uma vez que a sua concentração na água do mar é bastante elevada (Bishop e Lall, 1977; Sakamoto e Yone, 1979b), sendo superior a 50 mM. Este mineral é o terceiro íon mais abundante em águas salgadas, enquanto que na água doce sua concentração é de aproximadamente 200  $\mu$ M (Rankin e Davenport, 1981). Assim, em peixes de água doce, a exigência em Mg é suprida principalmente via dieta, enquanto que, em peixes marinhos, o Mg é ingerido pela boca, sendo em ambos os casos excretado através dos rins (Hickman e Trump, 1969; Oikari e Rankin, 1985; Steffens, 1989).

A essencialidade do Mg para os peixes tem sido reconhecida e sinais de deficiência como anorexia, redução no crescimento, lentidão, elevada mortalidade e redução de Mg no osso e no corpo, têm sido relatados para várias espécies de peixes (Lall, 2002). O bagre do canal e a truta arco-íris, alimentados com dietas deficientes em Mg, apresentaram a musculatura com aparência flácida (Knox et al., 1981; Gatlin III e Wilson, 1984). Carpas alimentadas com dieta deficiente em Mg desenvolveram convulsões, catarata (Ogino e Yang, 1980), alta mortalidade, diminuição no crescimento e perda de apetite (Ogino e Chiou, 1976). Liang et al. (2012) registraram diminuição no crescimento, pior conversão alimentar, menor teor de Mg nos tecidos e alta mortalidade em carpas capim (*Ctenopharyngodon idella*) alimentadas com dieta deficiente em



magnésio. De acordo com esses autores, 687 mg/kg de dieta foram suficientes para o máximo crescimento e deposição de Mg no tecido em peixes cultivados em água contendo entre 2,67-3,74 mg/l de magnésio.

Interações entre Mg e o  $\text{Ca}^{2+}$  foram descritas por Shearer (1989). A deposição de Ca na carcaça e nos ossos é inversamente proporcional ao Mg da dieta, tanto em carpa comum como em truta arco-íris, demonstrando diminuição no crescimento sob dietas com excesso de magnésio (2.100 mg/kg) (Ogino e Chiou, 1976; Ogino e Takeda, 1978). Interação entre proteína e Mg foi registrada por Dabrowska et al. (1989b), ao observar que o excesso de Mg (0,32%) em dieta com baixa proteína (24%) produziu sinais de toxicidade, enquanto a deficiência de Mg em dieta rica em proteína (44%) resultou em estado de hipercalcemia nos peixes. Cowey et al. (1977), trabalhando com truta arco-íris, observaram aumento significativo de Ca renal com formação de cálculos em dietas deficientes em magnésio.

Interação entre Mg e Na foi observada em “guppy” (*Poecilia reticulata* Peters) (Shim e Ng, 1998) e em carpa comum (van der Velden et al., 1992). Em ambos os trabalhos, a concentração de Na nos ossos aumentou enquanto que a de Mg diminuiu quando os animais receberam dietas deficientes em Mg, indicando possível mobilização do Mg do osso que pode ter sido substituído por sódio. Aumento significativo na deposição de Mg em escamas, vértebras e opérculos de garoupa foi observado quando estas foram alimentadas com ração suplementada com P, enquanto que rações com excesso de Ca (até 12 g/kg) diminuíram a deposição de Mg nas escamas (Ye et al., 2006).

Tanto o excesso quanto a deficiência do Mg podem interferir na sua utilização, assim como na utilização de outros minerais (Ye et al., 2010). Portanto, determinar a biodisponibilidade deste mineral em diferentes ingredientes e a sua exigência para os peixes, objetivando a formulação de dietas nutricionalmente adequadas, deve ser prioridade para uma produção que visa bom desempenho zootécnico e menor impacto ambiental.

O sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) é a forma inorgânica mais utilizada deste mineral para suplementação em dietas práticas, mas, de acordo com Dabrowska et al. (1989a), o acetato de magnésio ( $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) foi a forma inorgânica de maior biodisponibilidade para tilápias do Nilo. Ingredientes proteicos de origem vegetal podem conter entre 4 e 6 kg/g de magnésio (Lall, 2002). Entre os ingredientes utilizados para a formulação de rações para peixes, os grãos são os que apresentam menor teor

deste mineral (0.15–2%). As farinhas de carne e peixe são ingredientes ricos em Mg, mas os diferentes teores de tecido esquelético presentes nestas farinhas contribuem para os variáveis valores de Mg encontrados nestes ingredientes. Em produtos de origem vegetal, o Mg está presente de forma quelada à porção porfirina da clorofila (Dabrowska et al., 1989a).

O sódio ( $\text{Na}^+$ ) e o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) são os principais íons presentes nos fluidos extracelulares do organismo, enquanto que o potássio ( $\text{K}^+$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^+$ ) se destacam como principais cátions intracelulares, desempenhando função vital no controle da pressão osmótica e equilíbrio ácido-base (Lall, 2002). As bombas de Na e K (ATPases), presentes nas membranas plasmáticas, mantêm de forma ativa a alta concentração de  $\text{Na}^+$  extracelular e  $\text{K}^+$  intracelular. Este gradiente é utilizado para transportar diversos compostos sem gasto direto de energia (Lall, 2002).

A relação  $\text{Na} + \text{K}/\text{Ca} + \text{Mg}$  é essencial ao funcionamento do músculo cardíaco pelo seu envolvimento na contração e expansão muscular, bem como na estimulação do sistema nervoso. O sódio constitui a maior parte das bases do soro sanguíneo e, juntamente com o K, está envolvido na homeostasia dos fluidos e eletrólitos do organismo (Andriguetto et al., 2002). A pressão osmótica dos fluidos intra e extracelulares é rigorosamente controlada, em grande parte, por mecanismos reguladores, dependentes de energia, que determinam a taxa de absorção dos íons de Na e de água pelas membranas epiteliais das brânquias, intestino, pele e rins (Lall, 2002).

Em nutrição animal, a suplementação do Na e do Cl é feita através do sal comum ( $\text{NaCl}$ ) e, em conjunto, estes dois minerais atuam na permeabilidade celular (Andriguetto et al., 2002). Deficiências de Na e K são difíceis de reproduzir, uma vez que os peixes adquirem esses elementos de seu ambiente aquático (Lall, 2002). De acordo com Chow e Schell (1980), a exigência em Na para peixes pode variar, dependendo da espécie, de 1 a 3g/kg da dieta.

A suplementação de níveis elevados (1,5-12% da dieta) de  $\text{NaCl}$  em dietas para ‘‘cocho salmon’’ (*Oncorhynchus kisutch*) (Zaugg e McLain, 1970) e truta arco-íris (Salman e Eddy, 1988) resultou em inibição do crescimento e redução do consumo. Por outro lado, não foram encontrados efeitos da suplementação de  $\text{NaCl}$  na dieta (abaixo de 1%) sob a performance de bagres do canal e do salmão do Atlântico (Lall, 2002). A suplementação do  $\text{NaCl}$  na dieta dos peixes eurialinos ‘‘red drum’’ (*Sciaenops ocellatus*), cultivados em águas com baixa salinidade (abaixo de 6%), resultou em aumento de crescimento (Gatlin III et al., 1992). Em animais terrestres, a deficiência de

Na pode causar diminuição no crescimento, amolecimento dos ossos, queratinização da córnea, inatividade gonadal, hipertrofia adrenal, mudanças nas funções celulares e piora na conversão alimentar. A deficiência em K pode causar enfraquecimento generalizado dos músculos e distensão intestinal (Andriguetto et al., 2002; Lall, 2002).

Os altos teores desses minerais presentes nos ingredientes comumente utilizados na formulação de dietas para peixes faz com que não seja necessária a sua suplementação. Entretanto, a suplementação de K foi caracterizada como necessária por Shearer (1988) trabalhando com “chinook salmon” (*Oncorhynchus tshawytscha*) alimentados com dieta purificada. De acordo com o autor, os juvenis cultivados em água doce exigiram 0,8% de K na dieta para máximo crescimento; por outro lado, peixes cultivados em água salgada, onde a concentração de K é alta, não exigiram a suplementação do mineral para o crescimento (Bishop e Lall, 1977; Sakamoto e Yone, 1978).

A grande maioria dos ingredientes proteicos de origem animal, em especial a farinha de peixe, é rica em Na (0.5 a 1%), enquanto que ingredientes proteicos de origem vegetal apresentam teores relativamente menores do mesmo mineral (0.01 a 0.07%). A forma mais comum do Na presente nos ingredientes é a de mineral livre ionizável como de cloreto, sulfato, ou fosfato ou sais ionizáveis como de ácidos carboxílicos em tecidos de plantas e animais. Assim, o Na presente nos ingredientes é muito solúvel e de alta biodisponibilidade. A biodisponibilidade do Na a partir da farinha de carne e ossos (FCO) varia com a espécie, uma vez que depende da taxa de solubilização do trato digestivo (Lall, 2002).

A distribuição do K nos ingredientes tem padrão diferente do Na (Thomson, 1972). Dentre os ingredientes proteicos, o farelo de glúten de milho e a farinha de peixes são as fontes com menores teores de K, enquanto que o farelo de soja, farelo de algodão, farelo de alfafa desidratada e o melaço de cana são boas fontes deste mineral, podendo conter acima de 2% desse elemento. Grãos de cereal integral apresentam entre 0.1 a 0.5% de K e, assim como o Na, a sua forma mais comum presente nos ingredientes é a de íon altamente solúvel e biodisponível (Lall, 2002).

## **4. Farinha de carne e ossos**

### **4.1. Importância da farinha de carne e ossos na formulação de dietas para peixes**

Os custos com a alimentação na piscicultura correspondem a aproximadamente 70% dos custos da produção total (Kubitza, 1997; Pezzato et al., 2000), uma vez que as dietas de peixes caracterizam-se por apresentarem elevado teor proteico (Soares et al., 2000). No processo de formulação de rações, a farinha de peixe era o principal ingrediente proteico de origem animal para a maioria das espécies cultivadas no âmbito da aquicultura mundial (Hardy, 2010). Mas em razão do contínuo desenvolvimento da produção aquícola faz hoje com que a crescente demanda pela farinha de peixe não seja atendida, uma vez que este insumo sofre progressiva escassez no mercado mundial (Hardy, 2010; FAO, 2012), pela estagnação mundial da captura dos peixes pelágicos que são essenciais para a sua produção (Tacon e Metian, 2008). O aumento na demanda deste ingrediente pelas fábricas de rações para animais domésticos (El-Sayed, 1999) e, mesmo na produção de alimentos para o consumo humano, também são fenômenos que podem causar o encarecimento do uso da farinha de peixe na aquicultura (Tacon, 1994).

Assim, em função da oferta limitada e do elevado custo no mercado, a farinha de peixe vem sendo utilizada com mais moderação para melhorar a sustentabilidade econômica da aquicultura, fazendo com que sejam necessárias informações cada vez mais precisas sobre o valor nutritivo de fontes proteicas alternativas com baixo custo e alto potencial produtivo (Teixeira et al., 2006; Santos et al., 2008).

A substituição dos ingredientes, usualmente utilizados nas rações para peixes, por determinados produtos e coprodutos da agroindústria, resíduos de culturas e produtos não destinados ao consumo humano tem se apresentado como prática econômica alternativa (Santos et al., 2008). São muitos os ingredientes em potencial que podem ser utilizados na substituição parcial da farinha de peixes em dietas aquícolas (Hardy, 1996). Neste contexto, FCO, coproduto da agroindústria, tem sido utilizada na alimentação de salmonídeos por décadas (Bureau et al., 2000). Este ingrediente é produzido em grandes quantidades, principalmente pelo aumento da produção pecuária (Teixeira et al., 2003), mas não é adequado para o consumo humano e, se não for

reutilizado nas rações para animais, pode, além de proporcionar perdas econômicas para o setor industrial, causar danos ao meio ambiente (Vieites et al., 2000).

## **4.2. Características e composição química das farinhas de carne e ossos**

A farinha de carne e ossos é obtida em unidades industrializadoras de coprodutos de abatedouros após desossa parcial ou completa da carcaça de bovinos e suínos, bem como da coleta de resíduos em casas de carnes e processados por fábricas de farinhas independentes. É composta de ossos e resíduos de tecidos dos animais e não deve conter cascos, chifres, pelos, conteúdo estomacal, sangue e outras matérias-primas (MAPA, 2008). Para a farinha ser classificada como FCO, o produto deve apresentar conteúdo proteico em torno de 35 a 55%, concentração de P superior a 3,6%, e teor de Ca de até 2,5 vezes o nível do teor de P; uma relação superior a esta indica que o produto foi adulterado (Lana, 2007). Quando a FCO apresentar menos de 25% de cinzas, ou menos de 3,8% de P, o produto passa a ser denominado apenas de farinha de carne, possuindo aproximadamente 55 a 60% de proteína (DIFISA, 1988). A farinha de carne e ossos pode ser classificada, ainda, em função da origem do material, em mistas, quando oriunda de diferentes espécies animais (bovinos, suínos, ovinos etc), ou simples, quando oriundas de uma espécie animal (Bortolo, 2008).

A farinha de carne e ossos é caracterizada como ingrediente de excelente fonte proteica, apresentando bom perfil de aminoácidos, sendo frequentemente utilizada como ingrediente na formulação de dietas para peixes como a truta arco-íris (Sugiura et al., 2000), tilápia do Nilo (El-Sayed, 1999) e “catfish” africano (Goda et al., 2007). Em associação com sua qualidade nutricional, a FCO é também fonte proteica de origem animal de baixo custo, podendo ser utilizada em dietas formuladas com alto teor de proteína de origem vegetal (Suloma et al., 2013). Este ingrediente também é utilizado na formulação de rações para peixes como fonte de P em substituição ao fosfato de origem mineral, que muitas vezes torna-se inacessível pelo alto custo (Faria Filho et al., 2002; Teixeira et al., 2003). Pode também aumentar a disponibilidade deste mineral em dietas para suínos e frangos com alto teor de proteína de origem vegetal (Traylor et al., 2005), atuando positivamente no crescimento e na melhor utilização do P como registrado por Suloma et al. (2013) em tilápias do Nilo.

Este coproduto da agropecuária é também fonte de outros minerais como o Ca, além de apresentar quantidades apreciáveis de aminoácidos, vitaminas e energia, quando bem processado (Teixeira et al., 2003; Campestrini, 2005). Em relação ao seu perfil aminoacídico, a FCO apresenta alta disponibilidade dos aminoácidos essenciais arginina, leucina e lisina, mas é limitante nos aminoácidos cisteína, metionina e triptofano (Parsons et al., 1997; Adedokun e Adeola, 2005; Traylor et al., 2005; Noreen e Salim, 2008).

Segundo Brumano et al. (2006) e Gomes et al. (2007), o cuidado e o conhecimento acurado da composição química e energética dos alimentos deve ser redobrado quando se faz uso de coprodutos de origem animal, haja vista a pouca padronização desses alimentos, cujos valores nutritivos variam conforme o processamento a que são submetidos ao tipo e às proporções dos seus constituintes. Possivelmente, pelas diferenças no tipo da matéria-prima utilizada no processamento, o valor energético desses coprodutos tem sido um dos componentes de grande variação (Pozza et al., 2008). Assim, pela dificuldade de padronização desses produtos, talvez seja necessário estabelecer a composição química de cada lote ou a composição média dos lotes.

A eficiência da utilização da FCO pelos animais pode ser modificada dependendo do tipo e qualidade do material utilizado; protocolo de processamento (temperatura, pressão e tempo de retenção); uso de antioxidantes; contaminação por microrganismos patógenos; presença de poliaminas em grandes proporções, assim como a porcentagem de nutrientes e a digestibilidade dos mesmos (Bellaver, 2009). De acordo com Butolo (2002), a diversidade de tipos de equipamentos para a extração da gordura pode proporcionar variação nos níveis de gordura residual nas FCOs e não é raro o uso de produtos em discordância com os valores considerados nas formulações, causando em determinadas circunstâncias o desbalanceamento do Ca e do fósforo.

Assim, a quantidade de restos de carne em relação à quantidade de ossos gera diversos tipos de FCOs, o que influencia no valor nutricional e econômico das mesmas, conforme indicam os valores de energia digestível e coeficiente de digestibilidade da proteína bruta descritos pelas tabelas de composição química, propostas por Rostagno et al. (2011), Tabelas Brasileiras de Nutrição para Tilápias (Furuya, 2010) e pelas tabelas de composição química do NRC (1998).

De modo geral, os conteúdos de proteína e energia bruta das diferentes FCOs são inversamente proporcionais à porcentagem de matéria mineral (Wang e Parsons,

1998 ; Hendriks et al., 2002; Adedokun e Adeola, 2005; Pozza et al., 2008 e Rostagno et al., 2011). As diferentes relações entre as proporções de proteína bruta e matéria mineral se devem principalmente às proporções de ossos e tecidos tendinosos (Sartorelli et al., 2003; Nunes et al., 2005) presentes nas diferentes farinhas de carne e ossos. Parsons et al. (1997) caracterizam o conteúdo de cinzas da FCO como um bom indicador da qualidade proteica.

De acordo com o NRC (1998) e Rostagno et al. (2011), o valor energético das FCOs pode ser influenciado pela proteína bruta e pelo extrato etéreo de forma positiva e pela matéria mineral de forma negativa, uma vez que a formação de sabões (saponificação) pode ocorrer entre os conteúdos de minerais e gordura, contribuindo para redução da digestibilidade das dietas (Noblet e Perez, 1993). Adams e Jensen (1987) constataram ainda que o conteúdo de óleo das FCOs eleva o valor da energia e pode melhorar o desempenho e as características de carcaça dos animais. Pozza et al. (2008) relataram que o coeficiente de digestibilidade da FCO é dependente do tamanho das partículas, sendo que a FCO com partículas médias (DGM 503 A 704  $\mu\text{m}$ ) apresenta melhor coeficiente de digestibilidade do que a FCO com partículas mais grossas (DGM 1,031  $\mu\text{m}$ ).

A digestibilidade dos nutrientes da FCO sofre ainda influência do material de origem como os tipos suína, bovina ou mista, principalmente em relação ao perfil de aminoácidos, sendo que as farinhas mistas compostas por material de bovinos e suínos apresentam menor digestibilidade do que quando separadas por uma espécie (Campestrini, 2005). Atualmente, melhores práticas de produção parecem estar em uso, e estudos recentes têm mostrado que as FCOs produzidas apresentam maior digestibilidade (Bureau e Cho, 1999). A alta variabilidade na qualidade da proteína e na digestibilidade de aminoácidos dessas farinhas produzidas comercialmente ainda é observada em animais monogástricos (Parsons et al., 1997; Wang e Parsons, 1997; Wang e Parsons, 1998). Desta forma, cuidados devem ser tomados e atenção deve ser redobrada quando se faz uso de coprodutos de origem animal, haja vista a pouca padronização desses alimentos, cujos valores nutritivos variam conforme o processamento a que são submetidos, e ao tipo e proporções de seus constituintes.

## LITERATURA CITADA

- Abimorad, E. G., and D. J. Carneiro. 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia 33: 1101-1109.
- Adams, K. L., and A. H. Jensen. 1987. High-fat maize in diets for pigs and sows. Anim Feed Sci Tech 17: 201-212.
- Adedokun, S. A., and O. Adeola. 2005. Metabolizable energy value of meat and bone meal for pigs. J Anim Sci 83: 2519-2526.
- Alves, R. C. P., and A. L. Baccarin. 2005. Efeitos da produção de peixes em tanques-rede sobre a sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no Córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava), baixo Rio Titê. Rima, São Carlos.
- Andrews, J. W., T. Murai, and C. Campbell. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. Journal Nutrition 103: 766-771.
- Andriguetto, J. M. et al. 2002. Nutrição Animal. Nobel, São Paulo.
- Arai, S., T. Nose, and H. Kawatsu. 1974. Effects of minerals supplemented to the fishmeal diet on growth of eel, *Anguilla japonica*. Bulletin of Freshwater Fisheries Research Laboratory 24: 95-100.
- Austreng, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. Aquaculture 13: 265-272.
- Baeverfjord, G., T. Åsgård, and K. D. Shearer. 1998. Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. Aquacult Nutr 4: 1-11.
- Bellaver, C. 2009. Qualidade no processamento em fábricas de farinhas e gorduras animais. In: V Encontro Técnico Unifrango, Maringá, PR
- Berg, A. 1968. Studies on the metabolism of calcium and strontium in fresh-water fish. I. Relative contributions of direct and intestinal absorption. Memorie Dell'Istituto Italiano Di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi 23: 161-196.
- Berntssen, M. H. G., R. Waagbø, H. Toften, and A. K. Lundebye. 2003. Effects of dietary cadmium on calcium homeostasis, Ca mobilization and bone deformities in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr. Aquacult Nutr 9: 175-183.
- Bertechini, A. G. 2006. Nutrição de monogástricos. UFLA.
- Bishop, F. J., and S. P. Lall. 1977. Studies on Mineral and Protein Utilization by Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Grown in Sea Water. Disease and Nutrition Section, Department of Fisheries and Environment, Canada.



- Bjornsson, B. T., and S. Nilsson. 1985. Renal and extra-renal excretion of calcium in the marine teleost, *Gadus morhua*. *American Journal of Physiology* 248: 18-22.
- Borlongan, I. G., and S. Satoh. 2001. Dietary phosphorus requirement of juvenile milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal). *Aquac Res* 32: 26-32.
- Bortolo, M. 2008. Avaliação aminoacídica de fontes protéicas para cães utilizando diferentes metodologias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- Boscolo, W. R. et al. 2005. Exigência de fósforo para a levinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 27: 87-91.
- Boscolo, W. R., C. Hayashi, C. M. Soares, W. M. Furuya, and F. Meurer. 2001. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases iniciais e de crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30: 1391-1396.
- BRASIL. 2010. Boletim Estatístico de Pesca e Aquicultura. Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasília.
- Brown, M. L., F. Jaramillo Jr, and D. M. Gatlin III. 1993. Dietary phosphorus requirement of juvenile sunshine bass, *Morone chrysops* x *M. saxatilis*. *Aquaculture* 113: 355-363.
- Brumano, G. et al. 2006. Composição química e valores de energia metabolizável de alimentos protéicos determinados com frangos de corte em diferentes idades. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35: 2297-2302.
- Bueno, G. W. et al. 2012. Digestibilidade do fósforo em dietas como estratégia nutricional para redução de efluentes da tilapicultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 64: 183-191.
- Bureau, D. P., and C. Y. Cho. 1999. Measuring digestibility in fish. UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory. Technical document, University of Guelph, Ontario, Canada.
- Bureau, D. P. et al. 2000. Feather meals and met and bone meals from different origins as proteins source in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Aquaculture* 181: 281 - 291.
- Butolo, J. E. 2002. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. 1 ed. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal - CBNA, Campinas.
- Campestrini, E. 2005. Farinha de Carne e Ossos. *Nutritime 2* Accessed Date Accessed. | doi:DOI|
- Cheng, A. C., J. D. Wu, S. D. Yang, and C. H. Liou. 2005. Dietary phosphorus requirement of juvenile Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) *Journal of The Fisheries Society of Taiwan* 32: 41-52.
- Cho, C. Y. 1987. La energia en la nutrición de los peces. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta, Madrid.
- Cho, C. Y., S. J. Slinger, and H. S. Bayley. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* 73: 25-41.
- Chow, K. W., and W. R. Schell. 1980. The Minerals. FAO/UNDP, Italia.
- Clearwater, S. J., A. M. Farag, and J. S. Meyer. 2002. Bioavailability and toxicity of dietborne copper and zinc to fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 132: 269-313.
- Cowey, C. B., D. Knox, J. W. Adron, S. George, and B. Pirie. 1977. The production of renal calcinosis by magnesium deficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Brit J Nutr* 38: 127-135.
- Cowey, C. B., and J. R. Sargent. 1979. Nutrition. Academic Press, New York.
- Cozzolino, S. M. F. 2005. Biodisponibilidade de nutrientes. Manole, Barueri, SP.

- Da Silva, A. Y. H., and S. M. F. Cozzolino. 2007. Fósforo. 2 ed. Editora Manole Interesse Geral, Barueri, SP.
- Dabrowski, K., and M. C. Portella. 2006. Feeding plasticity and nutritional physiology in tropical fishes. Elsevier, Amsterdam.
- Dabrowska, H., K. D. Günther, and K. Meyer-Burgdorff. 1989a. Availability of various magnesium compounds to tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 76: 269-276.
- Dabrowska, H., K. Meyer-Burgdorff, and K. D. Günther. 1989b. Interaction between dietary protein and magnesium level in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 76: 277-291.
- Dato-Cajegas, C. S., and A. Yakupitiyage. 1996. The need for dietary mineral supplementation for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, cultured in a semi-intensive culture *Aquaculture* 144: 227-237.
- Davis, D. A., and D. M. Gatlin III. 1996. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Fisheries Sciences* 4: 75-99.
- DE Silva, S. S., and T. A. Anderson. 1995. Fish nutrition. Chapman & Hall, London.
- Degani, G., and A. Revach. 1991. Digestive capabilities of three commensal fish species: carp, *Cyprinus carpio* L., tilapia, *Oreochromis aureus* × *O. niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquac Res* 22: 397-403.
- DIFISA, Divisão de Fiscalização de Alimentos para Animais. 1988. Padrões mínimos de matéria prima destinada à alimentação animal.
- Dougall, D. S., L. C. Woods III, L. W. Douglass, and J. H. Soares. 1996. Dietary phosphorus requirement of juvenile striped bass *Morone saxatilis*. *Journal of the world aquaculture society* 27: 82-91.
- Dove, G. R., O. W. Tiemier, and C. W. Deyoe. 1976. Effects of Three Diets on Growth and Mineral Retention of Channel Catfish Fingerlings. *Transactions of the American Fisheries Society* 105: 481-485.
- El-Sayed, A. F. M. 2006 *Tilapia Culture* CABI Publishing, Massachusetts, USA.
- El-Sayed, A. M. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis* spp. *Aquaculture* 179: 149-168.
- English, W. R., T. E. Schwedler, and L. A. Dyck. 1994. Aphanizomenon flos-aquae, A Toxic Blue-Green Alga in Commercial Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Ponds. *Journal of Applied Aquaculture* 3: 195-210.
- Evans, D. H., P. M. Piermarini, and W. T. W. Potts. 1999. Ionic Transport in the Fish Gill Epithelium. *Journal of Experimental Zoology* 283: 641-652
- Eya, J. C., and R. T. Lovell. 1997. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds. *Aquaculture* 154: 283-291.
- FAO. 2009. The state of world fisheries and aquaculture 2008, Roma
- FAO. 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture, Rome, Italy.
- Faria Filho, D. E. et al. 2002. Avaliação da Farinha de Carne e Ossos na Alimentação de Frangos de Corte. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 4: 1-9.
- Flik, G., T. J. Schoenmakers, J. A. Groot, C. H. van Os, and S. E. Wendelaar Bonga. 1990. Calcium absorption by fish intestine: the involvement of ATP- and sodium-dependent calcium extrusion mechanisms. *Journal of Membrane Biology* 113: 13-22.
- Flik, G., and P. M. Verboost. 1993. Calcium transport in fish gills and intestine. *Journal of Experimental Biology* 184: 17-29.
- Furuya, W. M. 2010. Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias. GFM, Toledo, Pr.

- Furuya, W. M. et al. 2008a. Exigência de fósforo disponível para tilápia-do-nilo (35 a 100 g). *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 961-966.
- Furuya, W. M. et al. 2008b. Exigência de fósforo disponível para juvenis de tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 1517-1522.
- Furuya, W. M., L. E. Pezzato, A. C. Pezzato, M. M. Barros, and E. C. d. Miranda. 2001. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 30: 1143-1149.
- Gatlin III, D. M., D. S. MacKenzie, S. R. Craig, and W. H. Neill. 1992. Effects of Dietary Sodium Chloride on Red Drum Juveniles in Waters of Various Salinities. *The Progressive Fish-Culturist* 54: 220-227.
- Gatlin III, D. M., and H. F. Phillips. 1989. Dietary calcium, phytate and zinc interactions in channel catfish. *Aquaculture* 79: 259-266.
- Gatlin III, D. M., E. H. Robinson, W. E. Poe, and R. P. Wilson. 1982. Magnesium requirement of fingerling channel catfish and signs of magnesium deficiency. *J Nutr* 112: 1182-1187
- Gatlin Iii, D. M., and R. P. Wilson. 1984. Studies on the manganese requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 41: 85-92.
- Georgievskii, V. I. 1982. General information on minerals Butterworths, London.
- Glencross, B. D., M. Booth, and G. L. Allan. 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquacult Nutr* 13: 17-34.
- Goda, A. M., E. R. El-Haroun, and M. A. C. Kabir. 2007. Effect of totally or partially replacing of fish meal by alternati protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. *Aquac Res* 38: 279-287.
- Gomes, F. A., E. J. Fassani, P. B. Rodrigues, and J. C. Silva Filho. 2007. Valores energéticos de alguns alimentos utilizados em rações para codornas japonesas. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36: 396-402.
- Gonçalves, E. G., and D. J. Carneiro. 2003. Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e energia de alguns ingredientes utilizados em dietas para o pintado (*Pseudoplatystoma coruscans*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 32: 779-786.
- Gonçalves, G. S., L. E. Pezzato, M. M. Barros, G. K. Kleman, and D. F. Rocha. 2005. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para a tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 2155-2163.
- Grüdtner, V. S., P. Weingrill, and A. L. Fernandes. 1997. Aspectos da absorção no metabolismo do cálcio e vitamina D. *Rev Bras Reumatol* 37: 143-152.
- Guimarães, I. G., L. E. Pezzato, M. M. Barros, and R. d. N. Fernandes. 2012. Apparent nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 1801-1808.
- Hardy, R. W. 1996. Alternate protein sources for salmon and trout diets *Animal Feed Science Technology* 59: 71-80.
- Hardy, R. W. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquac Res* 41: 770-776.
- Hardy, R. W., and K. D. Shearer. 1985. Effect of dietary calcium phosphate and zinc supplementation on whole body zinc concentration of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 181-184.
- Harvey, L. 2001. Mineral bioavailability. *Nutrition & Food Science* 31: 179-182.

- Haylor, G. S., M. C. M. Beveridge, and K. Jauncey. 1988. Phosphorus nutrition of juvenile *Oreochromis niloticus*. In: The second international symposium on Tilapia in aquaculture, Bangkok. p 341-345.
- Helland, S. et al. 2006. Hyper dense vertebrae and mineral content in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with graded levels of phytic acid. *Aquaculture* 261: 603-614.
- Hendriks, W. H. et al. 2002. Nutritional quality and variation of meat and bone meal. *Asian - Australasian Journal of Animal Sciences* 15: 1507-1516.
- Hepher, B. 1988. Nutrition of pond fishes Cambridge University Press, Cambridge.
- Hepher, B. 1993. Nutrición de peces comerciales em estanques. 1 ed. Ed. Limusa S.A., México.
- Hernandez, M., T. Takeuchi, and T. Watanabe. 1994. Effect of gelatinized corn meal as a carbohydrate source on growth performance, intestinal evacuation, and starch digestion in common carp. *Fisheries Science* 60.
- Hickman, C. P., and B. F. Trump. 1969. The kidney. Academic Press, New York.
- Hickman Jr, C. P. 1968. Ingestion, intestinal absorption, and elimination of seawater and salts in the southern flounder, *Paralichthys lethostigma*. *Canadian Journal of Zoology* 46: 457-466.
- Hilton, J. W. 1989. The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture* 79: 223-244.
- Hossain, M. A., and M. Furuichi. 1999. Necessity of dietary calcium supplement in black sea bream. *Fish. Sci.* 65: 893-897.
- Hossain, M. A., and M. Furuichi. 2000a. Essentiality of dietary calcium supplement in fingerling scorpion fish (*Sebastiscus marmoratus*). *Aquaculture* 189: 155-163.
- Hossain, M. A., and M. Furuichi. 2000b. Essentiality of dietary calcium supplement in redlip mullet *Liza haematocheila*. *Aquacult Nutr* 6: 33-38.
- Hossain, M. A., and M. Furuichi. 2000c. Necessity of calcium supplement to the diet of Japanese flounder. *Fisheries Science* 66: 660-664.
- Houston, A. H. 1985. Erythrocytic magnesium in freshwater fishes. *Magnesium* 4: 106-128.
- Huyseune, A. 2000. Skeletal System. G.K. Ostrander. Academic Press, London.
- Ichii, T., and Y. Mugiya. 1983. Effects of a dietary deficiency in calcium on growth and calcium uptake from the aquatic environment in the goldfish, *Carassius auratus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 74: 259-262.
- Jobling, M. 2001. Feed composition and analysis. Blackwell-Science, Oxford-UK.
- Knox, D., C. B. Cowey, and J. W. Adron. 1981. Studies on the nutrition of salmonid fish. The magnesium requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Brit J Nutr* 45: 137-148.
- Kubarik, J. 1997. Tilapia on highly flexible diets. *Feed International* 6: 16-18.
- Kubitza, F. 1997. Nutrição e alimentação dos peixes, Piracicaba.
- Lall, S. P. 1991. Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. In: First International Symposium on Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste, University of Guelph. p 21-36.
- Lall, S. P. 2002. The Minerals. 3 ed. Elsevier Science, USA.
- Lana, R. P. 2007. Nutrição e Alimentação Animal - Mitos e Realidades. Suprema, Viçosa, MG.
- Li, M. H., and E. H. Robinson. 1996. Phosphorus Availability of Common Feedstuffs to Channel Catfish *Ictalurus punctatus* as Measured by Weight Gain and Bone Mineralization1. *Journal of the World Aquaculture Society* 27: 297-302.

- Liang, J. J., L. X. Tian, Y. J. Liu, H. J. Yang, and G. Y. Liang. 2012. Dietary magnesium requirement and effects on growth and tissue magnesium content of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquacult Nutr* 18: 56-64.
- Lim, C., and P. H. Klesius. 2003. Influence of dietary levels of magnesium on growth, tissue mineral content, and resistance of channel catfish *Ictalurus punctatus* challenged with *Edwardsiella ictaluri*. *Journal of the World Aquaculture Society* 34: 18–28.
- Lim, C., and C. D. Webster. 2006. *Tilápia: Biology, Culture and Nutrition*. Haworth Press, New York.
- Lovell, R. T. 1978. Dietary Phosphorus Requirement of Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Transactions of the American Fisheries Society* 107: 617-621.
- MacIntosh, D. J., and D. C. Little. 1995. *Nile tilapia (Oreochromis niloticus)*. Blackwell Science, Oxford.
- MAPA, M. D. A. P. E. A. 2008. Instrução Normativa 34/2008. SISLEGIS.
- Marshall, W. S., S. E. Bryson, and C. M. Wood. 1992. Calcium transport by isolated skin of rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* 166: 297-316.
- Martini, L. A. 2006. Cálcio e fósforo. *Nutrição Humana* 1.
- Maynard, L. A. 1974. *Nutrição animal*. Freitas Bastos.
- McCormick, S. D., S. Hasegawa, and T. Hirano. 1992. Calcium uptake in the skin of a freshwater teleost. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 89: 3635-3638.
- McDowell, L. R. 1992. *Minerals in animal and human nutrition*. Academic Press Limited, San Diego, California.
- Meurer, F., C. Hayashi, W. R. Boscolo, and C. M. Soares. 2002. Lipídeos na alimentação de alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31: 566-573.
- Miranda, E. C., A. C. Pezzato, L. E. Pezzato, and W. M. Furuya. 2000. Disponibilidade aparente de fósforo em ingredientes pela tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 22: 669-675.
- Murakami, Y. 1967. Studies on a cranial deformity in hatchery-reared young carp. *Fish Pathology* 2: 1-10.
- Nakamura, Y. 1982. Effects of dietary phosphorus and calcium contents on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 48: 409–413.
- Noblet, J., and J. M. Perez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J Anim Sci* 71: 3389-3398.
- Noreen, U., and M. Salim. 2008. Determination of nutriente digestibility and amino acid availability of various feed ingredients for *Labeo rohita*. *International Journal of Agriculture and Biology* 10: 551-555.
- Nose, T. 1966. Recent advances in the study of fish digestion in Japan. In: *Symposium on Feeding Trout and Salmon Culture, SC II-7, Belgrade*. p 17.
- Nose, T., and S. Araf. 1976. *Recent advances on studies on mineral nutrition of fish in Japan*. Fishing News, England.
- NRC, National Research Council. 1998. *Nutriente Requirements for Swine*. 10 ed. Natl. Acad. Press, Washington.
- NRC, National Research Council. 1993. *Nutrient Requirements of fish*. National Academy of Science, Washington.
- Nunes, R. V. et al. 2005. Valores energéticos de subprodutos de origem animal para aves. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 1217-1224.

- Odum, E. P., and G. W. Barret. 2007. *Fundamentos da Ecologia*. 5 ed. Thompson Pioneira.
- Ogino, C., and J. Y. Chiou. 1976. Mineral requirements in fish. 2. Magnesium requirements of carp. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 42: 71-75.
- Ogino, C., and M. Kamizono. 1975. Mineral requirement in fish -I Effects of dietary salt-mixture levels on growth, mortality, and body composition in rainbow trout and carp. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 41: 429-434.
- Ogino, C., and H. Takeda. 1976. Mineral requirements in fish 3. Calcium and phosphorus requirements in carp. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 45: 1527-1532.
- Ogino, C., and H. Takeda. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 44: 1019-1022.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda, and T. Watanabe. 1979. Availability of Dietary Phosphorus in Carp and Rainbow Trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 45: 1527-1532.
- Ogino, C., and G. Yang. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 46: 455-458.
- Oikari, A. O., and J. C. Rankin. 1985. Renal excretion of magnesium in a freshwater teleost, *Salmo gairdneri*. *Journal of Experimental Biology* 117: 319-333.
- Oliva-Teles, A., and A. Pimentel-Rodrigues. 2004. Phosphorus requirement of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. *Aquac Res* 35: 636-642.
- Onishi, T., M. Suzuki, and M. Takeuchi. 1982. Change in carp hepatopancreatic enzyme activities with dietary phosphorus levels. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 47: 353-357.
- Parry, G. 1966. Osmotic Adaptation in Fishes. *Biological Reviews* 41: 392-440.
- Parsons, C. M., F. Castanon, and Y. Han. 1997. Protein and Amino Acid Quality of Meat and Bone Meal. *Poultry Science* 361-368: 361-368.
- Perry, S. F., G. G. Goss, and J. C. Fenwick. 1992. Interrelationships between gill chloride cell morphology and calcium uptake in freshwater teleosts. *Fish Physiology and Biochemistry* 10: 327-337.
- Pezzato, L. E. 2001. *Digestibilidade em peixes*, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Pezzato, L. E., M. M. Barros, D. M. Fracalossi, and J. E. P. Cyrino. 2004. *Nutrição de peixes*. TecArt, São Paulo.
- Pezzato, L. E., M. M. Barros, and W. M. Furuya. 2009. Valor nutritivo dos alimentos utilizados na formulação de rações para peixes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 43-51.
- Pezzato, L. E. et al. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia* 31: 1595-1604.
- Pezzato, L. E. et al. 2000. Valor nutritivo do farelo de coco para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 22: 695-690.
- Pezzato, L. E., M. J. S. Rosa, M. M. Barros, and I. G. Guimarães. 2006. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. *Ciência Rural* 36: 1600-1605.
- Phillips, A. M., H. A. Podoliak, and H. A. Poston. 1963. The relationship of protein and ash in water fat free samples of fish tissue. *Fisheries Research Bulletin* 26: 49-51.

- Podoliak, H. A. 1970. Effect of some major heavy metals cations on the absorption and exchange by brook trout of calcium from water. *Fisheries Research Bulletin* 33: 56.
- Pond, W. G., D. C. Church, and K. R. Pond. 2005. *Basic animal nutrition and feeding*. 1 ed. Wiley, Hoboken.
- Pozza, P. C. et al. 2008. Composição química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 30: 33-40.
- Prasad, A. S. 1978. *Trace Elements and Iron in Human Metabolism*. Plenum Pub, New York.
- Quintero-Pinto, L. G. 2008. Exigências dietárias e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
- Quintero-Pinto, L. G., B. S. Pardo-Gamboa, A. M. C. Quintero-Pardo, and L. E. Pezzato. 2011. Exigências e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápias. *Veterinária e Zootecnia* 5: 30-43.
- Rankin, J. C., and J. Davenport. 1981. *Animal osmoregulation*. Blackie.
- Reigh, R. C., E. H. Robinson, and P. B. Brown. 1991. Effects of dietary magnesium on growth and tissue magnesium content of blue tilapia *Oreochromis aureus*. *Journal of the world aquaculture society* 22: 192–200.
- Riche, M., and P. B. Brown. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 142: 269-282.
- Robinson, E., D. Labomascus, D. B. Brown, and L. T. Linton. 1987a. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture* 64: 267-276.
- Robinson, E. H., D. LaBomascus, P. B. Brown, and T. L. Linton. 1987b. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. *Aquaculture* 64: 267-276.
- Robinson, E. H., S. D. Rawles, P. B. Brown, H. E. Yette, and L. W. Greene. 1986. Dietary calcium requirement of channel catfish *Ictalurus punctatus*, reared in calcium-free water. *Aquaculture* 53: 263-270.
- Robinson, E. H., S. D. Rawles, H. E. Yette, and L. W. Greene. 1984. An estimate of the dietary calcium requirement of fingerling *Tilapia aurea* reared in calcium-free water. *Aquaculture* 41: 389-393.
- Rodehutsord, M. 1996. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 200 g to supplements of dibasic sodium phosphate in a semipurified diet. *J Nutr* 126: 324-331.
- Rostagno, H. S. et al. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 3 ed. UFV, Viçosa.
- Roy, P. K., and S. P. Lall. 2003. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Aquaculture* 221: 451-468.
- Roy, P. K., P. E. Witten, B. K. Hall, and S. P. Lall. 2002. Effects of dietary phosphorus on bone growth and mineralisation of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Fish Physiology and Biochemistry* 27: 35-48.
- Sadiku, S. O. E., and K. Jauncey. 1995. Digestibility, apparent amino acid availability and waste generation potential of soybean flour: poultry meat meal blend based diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), fingerlings. *Aquac Res* 26: 651-657.
- Sakamoto, S., and Y. Yone. 1973. Effect of Dietary Calcium/Phosphorus Ratio upon Growth, Feed Efficiency and Blood Serum Ca and P Level in Red Sea Bream. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 39: 343-348.

- Sakamoto, S., and Y. Yone. 1976. Requirement of red sea bream for dietary calcium. Report Fisheries Research Laboratory Kyushu University 3: 59–64.
- Sakamoto, S., and Y. Yone. 1978. Requirement of read sea bream for dietary Na and K. Faculty of Agriculture, Kyushu University 23: 79-84.
- Sakamoto, S., and Y. Yone. 1979a. Availabilities of Phosphorus Compounds as Dietary Phosphorus Sources for Red Sea Bream. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University 23: 177-184.
- Sakamoto, S., and Y. Yone. 1979b. Requirement of resd sea bream for dietary Mg. Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries 45: 57-60.
- Sakomura, N. K., and H. S. Rostagno. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 1 ed. FUNEP, Jaboticabal.
- Sallum, W. B. 2000. Óxido crômico III como indicador externo em ensaios metabólicos para o matrinhã (*Bricon cephalus*, Gunther 1869) (Teleostei, Characidae), Universidade Federal de Lavras., Lavras.
- Salman, N. A., and F. B. Eddy. 1988. Effect of dietary sodium chloride on growth, food intake and conversion efficiency in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). Aquaculture 70: 131-144.
- Santos, E. L., W. M. C. Winterle, M. C. M. M. Ludke, and J. M. Barbosa. 2008. Digestibilidade de ingredientes alternativos para Tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*): Revisão. Rveista Brasileira de Engenharia de Pesca 3: 135-149.
- Sartorelli, S., A. Bertechini, E. Fassani, R. Kato, and E. Fialho. 2003. Nutritional and microbiological evaluation of meat and bone meal produced in the state of Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência Avícola 5: 51-60.
- Satoh, S., N. K. Porn-Ngam, T. Takeuchi, and T. Watanabe. 1996. Influence of dietary phosphorus levels on growth and mineral availability in rainbow trout. Fisheries Science 62: 483 – 487.
- Schamber, C. R. 2008. Exigência de fósforo para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na terminação, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- Schoenmakers, T. J. M., P. M. Verbost, G. Flik, and S. E. Wendelaar Bonga. 1993. Transcellular intestinal calcium transport in freshwater and seawater fish and its dependence on sodium/calcium exchange Journal of Experimental Biology 176: 195-206.
- Schwarz, F. J. 1995. Determination of mineral requirements of fish. Journal of Applied Ichthyology 11: 164-174.
- Shearer, K., and T. Åsgård. 1992. The effect of water-borne magnesium on the dietary magnesium requirement of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fish Physiology and Biochemistry 9: 387-392.
- Shearer, K. D. 1988. Dietary potassium requirement of juvenile chinook salmon. Aquaculture 73: 119-129.
- Shearer, K. D. 1989. Whole body magnesium concentration as an indicator of magnesium status in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 77: 201–210.
- Shim, K. F., and S. H. Ng. 1998. Magnesium requirements of the guppy (*Poecilia reticulata* Peters). Aquaculture 73: 131-141.
- Skonberg, D. I., L. Yogev, R. W. Hardy, and F. M. Dong. 1997. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 157: 11-24.
- Smith, R. R., M. C. Peterson, and A. C. Allred. 1980. Effect of Leaching on Apparent Digestion Coefficients of Feedstuffs for Salmonids. The Progressive Fish-Culturist 42: 195-199.



- Soares, C. M., C. Hayashi, V. B. Furuya, W. M. Furuya, and E. M. Galdioli. 2000. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*, L.). Revista Brasileira de Zootecnia 29: 15-22.
- Stech, M. R., and D. J. Carneiro. 1988. Utilização do farelo de soja e da soja integral na alimentação do pacu (*Piaractus mesopotamicus*). III Digestibilidade da fração protéica. In: AQUICULTURA BRASIL'98, Recife. p 16.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. 1 ed. Editora Acribia, Zaragoza.
- Steffens, W. 1989. Principles of Fish Nutrition. Chichester, UK:Ellis Horwood.
- Strain, J. J., and K. D. Cashman. 2002. Minerais e oligoelementos. 1 ed. Koogan, Rio de Janeiro.
- Sugiura, S. H., J. K. Babbitt, F. M. Dong, and R. W. Hardy. 2000. Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquac Res 31: 585-593.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, and R. W. Hardy. 1998a. Effects of dietary supplements on the availability of minerals in fish meal; preliminary observations. Aquaculture 160: 283-303.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, C. K. Rathbone, and R. W. Hardy. 1998b. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonoids. Aquaculture 159: 177-202.
- Suloma, A., R. S. Mabroke, and E. R. El-Haroun. 2013. Meat and bone meal as a potential source of phosphorus in plant-protein-based diets for Nile tilapia. Aquaculture International 21: 375-385.
- Sundell, K., and B. T. Bjornsson. 1988. Kinetics of calcium fluxes across the intestinal mucosa of marine teleost, *Gadus morhua*, measured using an *in vitro* perfusion method. Journal of Experimental Biology 140: 171-186.
- Tacon, A. G. J. 1994. Feed ingredients for carnivorous fish species: alternatives to fishmeal and other fishery resources. FAO, Rome, Italy.
- Tacon, A. G. J., and S. S. De Silva. 1983. Mineral composition of some commercial fish feeds available in Europe. Aquaculture 31: 11-20.
- Tacon, A. G. J., and M. Metian. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. Aquaculture 285: 146-158.
- Takeuchi, M., and J. Nakazoe. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish 43: 347-352
- Teixeira, A. S., J. S. Cavalcanti, P. R. Ost, and N. A. Schoulten. 2003. Probióticos em rações para frangos de corte utilizando farinha de carne e ossos com diferentes níveis de contaminação bacteriana Ciência e agrotecnologia 27: 927-933.
- Teixeira, E. A. et al. 2006. Substituição de farinha de peixes em rações para peixes. Revista Brasileira de Reprodução Animal 30: 118-125.
- Tengjaroenkul, B., B. J. Smith, T. Caceci, and S. A. Smith. 2000. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture 182: 317-327.
- Thomson, D. J. 1972 Potassium in Animal Nutrition. International Minerals and Chemical Corp. , Libertyville, IL.
- Traylor, S. L., G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 2005. Bioavailability of phosphorus in meat and bone meal for swine. J Anim Sci 83: 1054-1061.
- Tundisi, J. G., and T. M. Tundisi. 2008. Limnologia. Oficina de Textos, São Paulo.

- Utne, F. 1978. Standart methods and terminology in finfish nutrition. In: Symposium of Finfish Nutrition and Fish Feed Technology Hamburg. p 14.
- van der Ploeg, M., and C. E. Boyd. 1991. Geosmin Production by Cyanobacteria (Blue-green Algae) in Fish Ponds at Auburn, Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society* 22: 207-216.
- van der Velden, J. A. et al. 1992. Physiological effects of low-magnesium feeding in the common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Experimental Zoology* 264: 237-244.
- Vandenberg, G. W., and J. De La Noüe. 2001. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) assessed using three methods of faeces collection and three digestibility markers. *Aquacult Nutr* 7: 237-245.
- Verbost, P. M. et al. 1993. Branchial calcium uptake: possible mechanisms of control by stanniocalcin. *Fish Physiology and Biochemistry* 11: 205-215.
- Vieites, F. M. et al. 2000. Valores de Aminoácidos Digestíveis Verdadeiros da Farinha de Carne e Ossos para Aves. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 2300-2307.
- Vielma, J., and S. P. Lall. 1998. Phosphorus utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in freshwater is not influenced by higher dietary calcium intake. *Aquaculture* 160: 117-128.
- Viola, S., G. Zohar, and Y. Arieli. 1986. Phosphorus requirements and its availability from different sources for intensive pond culture species in Israel. Part I. Tilapia. *Bamidgeh* 38: 3-12.
- Wang, X., and C. M. Parsons. 1997. Effect of Processing Systems on Protein Quality of Feather Meals and Hog Hair Meals. *Poultry Science* 76: 491-496.
- Wang, X., and C. M. Parsons. 1998. Effect of Raw Material Source, Processing Systems, and Processing Temperatures on Amino Acid Digestibility of Meat and Bone Meals. *Poultry Science* 77: 834-841.
- Watanabe, T., V. Kiron, and S. Satoh. 1997. Trace mineral in fish nutrition. *Aquaculture* 151.
- Watanabe, T., S. Satoh, and T. Takeuchi. 1988. Availability of minerals in fish meal to fish. *Asian Fisheries Science* 1: 175-195.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, A. Murakami, and C. Ogino. 1980. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. *Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries* 46: 897-899.
- Watanabe, T., T. T. Takeuchi, S. Satoh, and V. Kiron. 1996. Digestive crude protein contents in various feedstuffs determined with four freshwater fish species. *Fisheries Science* 62: 278-282.
- Watts, D. L. 1990. Nutrient Interrelationships: Minerals — Vitamins — Endocrines. *Journal of Orthomolecular Medicine* 5: 11-19.
- Williams, R. J. P. 1984. *Biochemistry of the essential ultratrace elements*. Plenum.
- Wilson, R. P., E. H. Robinson, D. M. Gatlin, 3rd, and W. E. Poe. 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *J Nutr* 112: 1197-1202.
- Windell, J. T., J. W. Foltz, and J. A. Sarokon. 1978. Effect of Fish Size, Temperature, and Amount Fed on Nutrient Digestibility of a Pelleted Diet by Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*. *Transactions of the American Fisheries Society* 107: 613-616.
- Witten, P. E., W. Villwock, N. Peters, and B. K. Hall. 2000. Bone resorption and bone remodelling in juvenile carp, *Cyprinus carpio* L. *Journal of Applied Ichthyology* 16: 254-261.
- Yang, S.-D., T.-S. Lin, F.-G. Liu, and C.-H. Liou. 2006. Influence of dietary phosphorus levels on growth, metabolic response and body composition of juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture* 253: 592-601.

- Ye, C.-X. et al. 2006. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* 255: 263-271.
- Ye, C. X. et al. 2010. Dietary magnesium did not affect calcium and phosphorus content in juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquacult Nutr* 16: 378-384.
- Yone, Y., and N. Toshima. 1979. . The utilization of phosphorus in fish meal by carp and back sea bream. . *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 45: 753-756.
- Zaugg, W. S., and L. R. McLain. 1970. Adenosinetriphosphatase activity in gills of salmonoids: Seasonal variations and salt water influence in Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Comparative Biochemistry Physiology* 35: 587–596.
- Zhang, C. et al. 2006. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. *Aquaculture* 255: 201-209.

## II – BIODISPONIBILIDADE DE MINERAIS DE DIFERENTES FARINHAS DE CARNE E OSSOS PARA A TILÁPIA DO NILO

### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a biodisponibilidade dos minerais cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) da farinha de carne e ossos com diferentes teores de proteína bruta (PB). Um ensaio de digestibilidade “in vivo” foi realizado com 180 juvenis de tilápia do Nilo ( $32,65 \pm 4,52$  g) da linhagem GIFT, distribuídos em aquários cônicos, em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e três repetições. Foram avaliadas cinco farinhas de carne e ossos com 30,90; 35,26; 38,06; 41,38 e 44,36% de PB. Para a determinação dos coeficientes de disponibilidade e digestibilidade aparentes (CDA) foi utilizada ração-referência com aproximadamente 3.120 kcal de ED/kg e 32% de PB. As rações-teste foram compostas por 70% da dieta-referência e 30% de cada farinha de carne e ossos avaliada. Os valores dos CDAs foram submetidos à análise de variância e em caso de significância submetidos à análise de regressão polinomial ( $P < 0,05$ ). Também foi realizada análise de correlação linear entre a composição química das farinhas e os CDA dos nutrientes e dos minerais. Os CDA médios dos minerais Ca, P, Na, K e Mg variaram entre -2,35 e 26,75; 3,7 e 55,31; 37,83 e 82,77; -0,72 e 23,04; 24,38 e 331,84%, respectivamente. Foi observado efeito da matéria mineral (MM) e da PB sobre a disponibilidade aparente do Ca e P, e sobre a digestibilidade aparente da MS. Foi observado correlação positiva entre os teores de PB e os CDA de todos os minerais analisados com exceção do K e do Mg, os quais apresentaram correlação positiva com a MM. Os CDAs do Ca, P e Na apresentaram correlação negativa com a MM. OCDA da MS apresentou correlação positiva apenas com a PB e o mineral Na. Os CDA do Ca e do P apresentaram correlação negativa com os teores dos minerais Ca, P e Mg. A farinha de carne e ossos com 46,37% de proteína bruta apresentou maior CDA dos nutrientes e minerais. As farinhas de carne e ossos avaliadas podem ser utilizadas como fonte de minerais para a tilápia do Nilo.

**Palavras-chave:** disponibilidade, minerais, correlação, *Oreochromis niloticus*

## ABSTRACT

Bioavailability of calcium (Ca), phosphorus (P), sodium (Na), potassium (K) and magnesium (Mg) of meat and bone meal with different levels of crude protein (CP) were evaluated. An *in vivo* digestibility trial was carried out with 180 juveniles of Nile tilapia ( $32.65 \pm 4.52$  g), GIFT strain, divided into conical tanks. Five meat and bones meals with 30.90, 35.26, 38.06, 41.38 and 44.36% CP were evaluated in a completely randomized design with five treatments and three replications. To determine the apparent digestibility coefficients (ADC) a reference diet based on soybean meal and poultry meal by product with approximately 3,120 kcal DE.kg<sup>-1</sup> and 32% of CP was elaborated. The test diets were composed of 70% of reference diet and 30% of each meat and bone meal. The values of ADCs were submitted to variance analysis and in case of significance were then submitted to polynomial regression analysis ( $P < 0.05$ ). Analysis of linear correlation between the chemical composition of the meals and ADC of nutrients and minerals was also performed. ADCs mean values of the minerals Ca, P, Na, K and Mg varied between -2.35 and 26.75; 3.7 and 55.31; 37.83 and 82.77; -0.72 and 23.04; 24.38 and 331.84 %, respectively. Effect of ash and CP on ADC of Ca and P, and on the ADC of dry matter (DM) were observed. Positive correlation between the CP and the ADC of all minerals analyzed was observed except for K and Mg, which showed a positive correlation with the ash content of the meals. The ADCs of Ca, P and Na, showed a negative correlation with the ash content. The ADC of DM was positively correlated only with the CP and the mineral Na. The ADC of Ca and P were negatively correlated with the levels of minerals Ca, P and Mg. The meat and bone meals with 46.37 % CP showed higher ADC of nutrients and minerals. The meat and bones evaluated can be used as a source of minerals for Nile tilapia.

**Keywords:** availability, minerals, correlation, *Oreochromis niloticus*

## **Introdução**

Os custos com a alimentação na piscicultura correspondem a, aproximadamente, 70% dos custos da produção total (Kubitza, 1997; Pezzato et al., 2000), uma vez que as rações de peixes caracterizam-se por apresentarem elevado teor proteico (Soares et al., 2000). Estudos sobre o valor nutritivo dos principais produtos e coprodutos produzidos no Brasil utilizados na elaboração de rações são importantes do ponto de vista nutricional e econômico, objetivando maior precisão no balanceamento das dietas para organismos aquáticos (Abimorad e Carneiro, 2004). A avaliação do valor nutritivo dos alimentos é importante para avaliar seu potencial de inclusão em dietas de peixes (Cho, 1987), atualizar tabelas de composição de alimentos (Sakomura e Rostagno, 2007) e criar dados confiáveis sobre a digestibilidade dos nutrientes para formular rações de baixo custo e menor impacto ambiental (Vandenberg e De La Noüe, 2001).

Os minerais são nutrientes necessários para o normal funcionamento dos processos biológicos e para a manutenção da higidez animal. Como constituintes de ossos e dentes, proporcionam resistência e rigidez às estruturas esqueléticas. Nos fluidos corporais, os minerais, na sua forma iônica, são indispensáveis para a manutenção do equilíbrio ácido-base e osmorregulação com o meio aquático, além de atuarem em atividades de integração envolvendo os sistemas nervoso e endócrino (Jobling, 2001). Como componentes de pigmentos do sangue, enzimas e compostos orgânicos em tecidos e órgãos, são indispensáveis para os processos metabólicos essenciais que envolvem operações de trocas gasosas e aquelas relacionadas com energia (NRC, 1993).

A biodisponibilidade dos minerais pode variar de acordo com o teor e a forma com que estes se apresentam na dieta, taxa de consumo e granulometria dos alimentos. Também pode variar pelas interações sinérgicas e antagônicas entre os nutrientes (Watanabe et al., 1997), pelas condições fisiológicas e patológicas do peixe, pela concentração mineral presente na água e pelo tipo de espécie e fase de vida do peixe (Clearwater et al., 2002; Lall, 2002).

No processo de formulação de rações, a farinha de peixe tem sido o principal ingrediente proteico de origem animal para a maioria das espécies cultivadas no âmbito da aquicultura mundial (Hardy, 2010). Mas em razão da oferta limitada e do elevado custo no mercado, a farinha de peixe vem sendo utilizada com mais moderação para melhorar a sustentabilidade econômica da aquicultura, fazendo com que sejam

necessárias informações cada vez mais precisas sobre o valor nutritivo de fontes proteicas alternativas com baixo custo e alto potencial produtivo (FAO, 2008).

A farinha de carne e ossos (FCO), coproduto da agroindústria, tem sido utilizada na alimentação de salmonídeos por décadas (Bureau et al., 2000). Este ingrediente é produzido em grandes quantidades, principalmente pelo aumento da produção pecuária (Teixeira et al., 2003), mas não é adequado para o consumo humano e, se não for reutilizado nas rações para animais, pode, além de proporcionar perdas econômicas para o setor industrial, causar danos ao meio ambiente (Vieites et al., 2000).

A farinha de carne e ossos é caracterizada como ingrediente proteico de origem animal de baixo custo também utilizada como fonte de P e Ca (Teixeira et al., 2003; Campestrini, 2005). Apresenta alta disponibilidade dos aminoácidos essenciais arginina, leucina e lisina, mas é limitante nos aminoácidos cisteína, metionina e triptofano (Parsons et al., 1997; Adedokun e Adeola, 2005; Traylor et al., 2005; Noreen e Salim, 2008). De acordo com o NRC (1998) e Rostagno et al. (2011), o valor energético das FCOs pode ser influenciado pela proteína bruta e pelo extrato etéreo de forma positiva, e pela matéria mineral de forma negativa. A digestibilidade dos nutrientes da FCO sofre influência do material de origem como os tipos suína, bovina ou mista (Campestrini, 2005).

Embora vários estudos tenham relatado a digestibilidade dos nutrientes para diferentes ingredientes componentes de dietas para peixes, estudos sobre os mecanismos que controlam a absorção ou disponibilidade dos minerais ainda são escassos. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a biodisponibilidade dos minerais de cinco diferentes FCOs assim como as interações entre eles.

## **Material e Métodos**

O ensaio de digestibilidade “in vivo” foi conduzido na Estação Experimental de Piscicultura da Universidade Estadual de Maringá, UEM/Codapar, localizada no distrito de Floriano, pertencente ao município de Maringá-PR.

Foram utilizadas 180 juvenis de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem GIFT com peso vivo médio de  $32,65 \pm 4,52$  g provenientes da base avançada da Universidade Estadual de Maringá localizada no rio do Corvo no município de Diamante do Norte-PR. Os animais foram distribuídos em 18 aquários cônicos de fibra de vidro com capacidade individual de 250 L, com 15 peixes por unidade experimental.

Foram avaliadas cinco FCOs com diferentes valores de energia e nutrientes (Tabela 3).

**Tabela 3** – Matéria seca (MS), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE), energia bruta (EB), proteína bruta (PB), cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) das farinhas testadas de carne e ossos (base em matéria natural)

Parâmetros	Farinhas de carne e ossos (% PB)				
	A (30,90)	B (35,26)	C (38,06)	D (41,38)	E (44,36)
MS (%)	93,63	94,05	94,75	95,15	95,64
MM (%)	45,45	42,02	38,76	35,52	32,29
EE(%)	8,42	9,97	10,96	12,52	13,83
EB(kcal/kg)	3031,4	3249,37	3462,88	3767,1	4011,39
PB (%)	33,79	37,49	40,16	43,48	46,37
Ca (%)	12,46	12,25	10,31	9,15	8,4
P (%)	6,69	6,27	5,32	4,99	4,61
Na (%)	0,64	0,66	0,65	0,7	0,69
K (%)	0,91	1,18	1,45	1,68	1,98
Mg (%)	0,28	0,28	0,24	0,21	0,2

Foi elaborada dieta-referência com 3.126 kcal de energia digestível, 32% de proteína bruta, 3,4% de fibra bruta e 0,5% de fósforo disponível (Tabela 4). As dietas-teste foram formuladas com a inclusão de 30% de cada FCO, sendo cada dieta corrigida para a manutenção dos valores de óxido de cromo em 0,5% (Cho e Slinger, 1979).



**Tabela 4** – Composição percentual e químico-bromatológica da dieta-referência

Ingredientes	%
Milho	32,62
Farelo de soja	43,70
Farinha de vísceras de aves	14,95
Amido de milho	2,99
Fosfato bicálcico	1,99
Óleo de soja	1,49
L-lisina HCl	0,10
DL-metionina	0,10
L-treonina	0,10
L-triptofano	0,05
L-arginina	0,10
Supl. min. e vit. DSM <sup>2</sup>	0,50
Vitamina C <sup>2</sup>	0,10
NaCl	0,50
Cloreto de colina	0,10
Antifúngico <sup>3</sup>	0,10
Antioxidante <sup>4</sup>	0,02
Óxido de Crômio (III)	0,50
<b>Composição química (valores calculados)<sup>5</sup></b>	
Matéria seca (%)	90,93
Proteína bruta (%)	32,00
Energia bruta (kcal/kg)	4.170,25
Fibra bruta (%)	3,40
Extrato etéreo (%)	6,53
Cálcio total (%)	1,25
Fósforo disponível (%)	0,50
Lisina (%) <sup>6</sup>	1,48
Metionina (%) <sup>6</sup>	0,49
Metionina+cistina (%) <sup>6</sup>	0,82
Treonina (%) <sup>6</sup>	1,06
Arginina (%) <sup>6</sup>	1,92
Histidina (%) <sup>6</sup>	0,59
Ca (%)	0,452
P (%)	0,880
Na (%)	0,498
K (%)	1,300
Mg (%)	0,181

<sup>1</sup>Níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000UI ; Vit. D3 ; 200.000UI ; Vit. E, 12.000 mg ; Vit. K3, 2.400 mg ; Vit. B1, 4.800 mg ; Vit. B2, 4.800 mg ; Vit. B6, 4.000 mg ; Vit. B12, 4.800 mg ; Ac. Fólico, 1.200 mg ; Pantotenato Ca, 12.000 mg ; Vit. C, 48.000 mg ; Biotina, 48 mg ; Colina, 65.000 mg ; Niacina, 24.000 mg ; Ferro, 10.000 mg ; Cobre, 6.000 mg ; Manganês, 4.000 mg ; Zinco, 6.000 mg ; Iodo, 20 mg ; Cobalto, 2 mg ; Selênio, 20 mg.

<sup>2</sup>Sal calcítico, princípio ativo-42% ácido ascórbico 2-monofosfato.

<sup>3</sup>Propianato de cálcio. <sup>4</sup>Butil hidroxi tolueno

<sup>5</sup>Os valores de composição química dos ingredientes para o cálculo da ração-referência foram retirados das Tabelas brasileiras para aves e suínos (Rostagno et al., 2011). Valores determinados no Laboratório de Nutrição Animal – DZO/UEM, Maringá-PR.

<sup>6</sup>Os valores de aminoácidos estão representados na forma digestível. Determinados pela Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos Ltda., São Paulo, Brasil.

<sup>7</sup>Os valores de minerais da ração-referência foram determinados por metodologia descrita por Bremer Neto et al. (2005).

As farinhas de carne e ossos utilizadas para o experimento foram fornecidas pela empresa Nutron e obtidas a partir de restos da desossa de abatedouro de bovinos classificados, picados e, em seguida, levados a digestores, onde o produto foi submetido a cozimento a 90 PSI por um período de 2 h. A seguir, promoveu-se a despressurização do equipamento, drenagem do excesso de líquido e a secagem iniciada com o digestor aberto e pressão variável. O produto foi retirado do digestor e levado sobre uma malha fina para a separação de parte da gordura, após, foi prensado para retirar o excesso de gordura e seguiu para a moagem.

A dieta-referência foi formulada com base nas exigências nutricionais de tilápias de acordo com NRC (1993) para todos os nutrientes. Na confecção das dietas-teste, após moagem, pesagem e homogeneização dos ingredientes, foi acrescida água a 60°C na proporção de 25% do peso total da ração. A mistura foi aglomerada em moinho de carne elétrico e desidratada em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48 h.

Toda água utilizada no ensaio de digestibilidade foi proveniente de um poço artesiano. A água era previamente estocada em dois tanques circulares de 2.000 L dentro do laboratório com a finalidade de evitar mudanças na temperatura e evitar a produção de plâncton. Cada aquário de digestibilidade possuía aeração individual, realizada por meio de pedra porosa acoplada a dispersores de ar para manutenção dos níveis de oxigênio dissolvido acima de 5 mg/L.

As concentrações dos minerais cálcio (Ca), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg) da água utilizada durante o experimento, proveniente de poço artesiano, foram determinadas pela empresa Instituto de Tecnologia do Paraná - TecPar, Laboratório de Tecnologias Ambientais e Agronômicas LAAG. Para a coleta das amostras todo o equipamento (mãos e frasco plástico de 5 L) foi limpo com detergente neutro para evitar contaminação. As amostras foram previamente preservadas com HNO<sub>3</sub> 1% v/v e submetidas à digestão a 100°C em tubos de polipropileno com tampa em sistema de aquecimento por 2 h. Em seguida, as amostras foram aspiradas diretamente nos equipamentos, para as determinações de Ca e Mg sendo necessária a diluição das amostras (20x) com água ultrapurificada (condutividade máxima 0,1 uS/cm, produzida em sistema MILII Q da MILLIPORE). Os minerais Ca, P e Mg foram analisados por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial, e a determinação dos minerais Na e K foi realizada por meio de fotometria de chama. Para as curvas analíticas, soluções padrão foram preparadas na faixa de concentração de 0,1 a 2,0 mg/L em HNO<sub>3</sub> 1% v/v com

coeficientes de correlação lineares maiores que 0,9999. Os limites de quantificações do Na e K são 0,1 mg/L; e do Ca, Mg e P são: 0,01 mg/L, 0,005 mg/L e 0,05 mg/L, respectivamente.

Antes do início das coletas, os peixes foram adaptados aos aquários cônicos, ao manejo e às rações durante sete dias. As fezes foram coletadas em aquários de digestibilidade pelo método de *Guelph* (Bureau e Cho, 1999). O arraçoamento foi realizado diariamente, até a saciedade aparente dos peixes no período entre 8 h e 17 h, duas alimentações pela manhã e a cada hora no período da tarde. Trinta minutos após o último arraçoamento, às 17h30min, todos os aquários eram lavados e toda a água renovada para que os frascos coletores fossem acoplados individualmente no fundo de cada aquário, para coletar as fezes por decantação.

As coletas foram realizadas durante cinco dias, formando assim um “pool” de fezes originado de cada aquário. Ao final de cada período de coleta, as fezes foram desidratadas em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 48 h. Em seguida, moídas em moinho tipo bola (Silva e Queiroz, 2002). As análises bromatológicas das FCOs, da dieta-referência e das fezes (Tabelas 3 e 4) foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002).

As soluções minerais para a determinação dos teores de minerais das FCOs, da dieta-referência e das fezes (Tabelas 3 e 4) foram determinadas por digestão úmida nítrico-perclórica com equipamento digestor e controle de temperatura, de acordo com a metodologia descrita por Bremer Neto et al. (2005). Após o procedimento de digestão, as soluções minerais foram levadas a volume de 25 mL, utilizando-se água deionizada e acondicionadas em frascos de polietileno para a posterior determinação do teor de minerais realizada.

As quantificações dos teores de Ca e Mg das amostras de fezes, dieta-referência e dos ingredientes, foram obtidas por visualização de registros, por meio de espectrofotômetro de absorção atômica e, os comprimentos de onda utilizados para as leituras das concentrações de Ca, Mg, foram, respectivamente, 422,7 e 285,2 nm. As curvas de calibração foram preparadas com soluções-padrão próprias para trabalho em absorção atômica (Silva, 1990). Para as análises de Na e K foram usados kits laborclin® e as leituras feitas em fotômetro de chama. A determinação do P foi realizada por colorimetria em que, através da intensidade de cor azul ou amarelo refletida pelas moléculas formadas, foi estabelecida uma relação entre concentração de P em solução e

a absorvância em comprimento de onda de 680 nm através do aparelho espectrocolorímetro (Lima, 2003).

As leituras do óxido de cromo (III) nas amostras de fezes e nas dietas foram realizadas pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida (Bremer Neto et al., 2005) com formação do composto vermelho/violeta de máxima absorção a 550 nm (Williams, 1979).

Para a determinação do coeficiente de disponibilidade aparente (CDA) dos minerais: Ca, P, Na, K e Mg das dietas e dos ingredientes foram utilizadas as expressões descritas por Pezzato et al. (2002) e Sugiura et al. (1998b), respectivamente.

$$CDA = 100 - \left[ 100 \cdot \left( \frac{\%I_r}{\%I_f} \right) \cdot \left( \frac{\%N_f}{\%N_r} \right) \right]$$

em que: CDA = coeficiente de disponibilidade aparente;  $I_r$  = % de óxido de cromo na ração;  $I_f$  = % de óxido de cromo nas fezes;  $N_r$  = nutrientes na ração;  $N_f$  = nutriente nas fezes.

$$CDA_{ing} = \frac{(Nutr_{(dt)} \times CD_{(dt)} - 0,7 Nutr_{(dr)} \times CD_{(dr)})}{Nutr_{ing} \times 0,3}$$

em que: CDA(ing) = coeficiente de disponibilidade aparente do ingrediente;  $Nutr_{(dt)}$  = % nutriente na dieta-teste;  $CD_{(dt)}$  = coeficiente de disponibilidade aparente da dieta-teste;  $Nutr_{(dr)}$  = % nutrientes na dieta-referência;  $CD_{(dr)}$  = coeficiente de disponibilidade da dieta-referência;  $Nutr_{(ing)}$  = % nutriente no ingrediente.

Os CDAs foram submetidos à análise de variância, em caso de significância submetidos à análise de regressão polinomial ( $P < 0,05$ ). Foi realizada correlação linear entre a composição química e os CDAs dos nutrientes. Os efeitos da matéria mineral e proteína bruta sobre os CDA do Ca, P e da MS foram estimados por meio de regressão polinomial. Todas as análises estatísticas foram realizadas no pacote IBM SPSS 20.0.

## Resultado

A qualidade da água manteve-se estável durante o experimento e as médias dos parâmetros monitorados nos aquários durante o período experimental foram: pH =

7,0±0,2; temperatura = 27±2°C; oxigênio dissolvido = 5,5±0,5 mg/L e amônia = 0,04±0,1 mg/L. Os níveis de cálcio, fósforo total, magnésio, potássio e sódio da água de cultivo, foram, respectivamente, de 35,7 mg/L, 0,05 mg/L, 0,284 mg/L, 0,9 mg/L e 315 mg/L.

A disponibilidade dos minerais foi altamente variável entre as FCOs testadas (Tabela 5). Os minerais Ca e P apresentaram maior disponibilidade na farinha E. O maior coeficiente de disponibilidade aparente foi encontrado para o Mg na farinha B, enquanto o menor foi encontrado para o Ca na farinha A.

**Tabela 5** – Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (CDAMS) e proteína bruta (CDAPB). Coeficiente de disponibilidade aparente do cálcio (CDACa), fósforo (CDAP), sódio (CDANa), potássio (CDAK) e magnésio (CDAMg) das farinhas de carne e ossos testadas

Parâmetros	Farinhas de carne e ossos (% PB)				
	A (30,90)	B (35,26)	C (38,06)	D (41,38)	E (44,36)
CDAMS(%)	49,16±9,02	39,72±2,27	57,58±9,03	54,45±7,19	82,87±4,96
CDAPB (%)	46,66±5,53	53,61±2,79	60,38±5,73	74,61±4,53	86,99±1,94
CDACa (%)	- 2,35±8,26	-3,05±6,06	0,22±1,85	12,04±5,05	26,75±11,88
CDAP (%)	3,7±0,54	27,44±21,38	13,9±9,03	31,44±5,35	55,31±10,11
CDANa (%)	67,88±9,61	37,83±5,82	56,53±7,57	82,77±18,85	73,79±11,41
CDAK (%)	21,29±0,56	-0,72±0,85	12,12±0,66	23,04±0,53	1,18±0,14
CDAMg(%)	24,38±7,04	331,84±4,70	45,2±1,85	39,55±5,05	44,19±11,88

Média±desvio-padrão.

Foi observado efeito linear entre os níveis de proteína bruta (PB) das farinhas testadas ( $P < 0,05$ ) e os CDA da matéria seca (MS) e dos minerais Ca e P, segundo as equações  $y = 2,5558x - 46,1473x$ ,  $R^2 = 0,49$ ;  $y = 2,3243x - 86,8559$ ,  $R^2 = 0,60$ ; e  $y = 4,0982x - 142,645$ ,  $R^2 = 0,66$ , respectivamente, indicando que quanto maior o nível de PB das FCOs maior os CDAMS, CDACa e P.

As farinhas C, D e E, com menor teor de matéria mineral (MM) apresentaram maiores valores de CDAPB e CDAMS em relação às farinhas A e B. Assim, foi observado efeito quadrático ( $P < 0,05$ ), por meio de regressão polinomial, do teor de MM sobre o CDAPB, 47,99% de MM resulta no menor CDAPB, 33,14%, segundo a equação  $y = 0,154764x^2 - 14,8555x + 398,624$ ;  $R^2 = 0,92$ . O mesmo efeito foi observado para o CDAMS,  $P < 0,05$ , FCOs com 44,62% de MM resulta no menor CDAMS, 39,77%, estimado segundo a equação  $y = 0,4607224x^2 - 36,6510x + 773,529$ ,  $R^2 = 0,69$ .

Também foi observado, por meio de regressão polinomial, efeito quadrático ( $P < 0,05$ ) do teor de MM sobre os CDA do P e do Ca,  $y = 0,3449x^2 - 29,699x + 642,023$

$R^2 = 0,68$ ;  $y = 0,3306x^2 - 26,7968x + 539,285$ ,  $R^2 = 0,74$ , respectivamente. Os menores CDA do P e do Ca foram estimados para farinhas com 43,05% e 40,53% de MM, respectivamente. O teor de MM das farinhas não influenciaram significativamente ( $P > 0,05$ ) os CDA do Na, K e Mg.

Foi observado correlação positiva entre os teores de PB, Na e K e os CDA de todos os minerais analisados com exceção do K e do Mg, os quais apresentaram correlação positiva com o teor de MM, Ca, P e Mg. Já os teores de MM, Ca, P e Mg apresentaram correlação negativa com os CDA da PB, MS, Ca, P e Na, a exceção dos CDA dos minerais K e Mg (Tabela 6).

**Tabela 6** – Correlação linear entre os valores de proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), coeficiente de digestibilidade aparente da proteína bruta (CDAPB) e matéria seca (CDAMS), coeficiente de disponibilidade aparente do cálcio (CDACa), fósforo (CDAP), sódio (CDANa), potássio (CDAK) e magnésio (CDAMg) das farinhas de carne e ossos testadas

	CDAPB	CDAMS	CDACa	CDAP	CDANa	CDAK	CDAMg
PB	0,955**	0,727**	0,794**	0,817**	0,420	-0,254	-0,263
MM	-0,958**	-0,748**	-0,80*	-0,81**	-0,43	0,23	0,298
Ca	-0,93**	-0,76**	-0,79**	-0,74**	-0,56*	0,047	0,488
P	-0,92**	-0,73**	-0,74**	-0,73**	-0,45	0,141	0,389
Na	0,906**	0,579	0,774**	0,802**	0,55*	-0,03	-0,25
K	0,956**	0,762**	0,803**	0,813**	0,426	-0,25	-0,30
Mg	-0,93**	-0,77**	-0,78**	-0,73**	-0,581*	0,015	0,52*

\*\*Correlação significativa em nível de 0,01.

\* Correlação significativa em nível de 0,05.

## Discussão

Os valores do CDAPB encontrados no presente trabalho estão de acordo com os resultados de Cho et al. (1982), que observaram CDAPB de cerca de 85% para a FCO em trabalho com a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Bureau et al. (1999) descreveram valores de CDAPB entre 83-89%. Yu et al. (2013), em trabalho com o ‘snakehead’ (*Ophiocephalus argu*), encontraram CDAPB da FCO (80,05%) superior ao da farinha D e inferior à farinha E avaliadas no presente trabalho.

Os valores dos CDAP registrados no presente trabalho estão de acordo com valores encontrados por Guimarães et al. (2012), em estudo com a tilápia do Nilo, mas superiores ao valor determinado por Sugiura et al. (2000b) em truta arco-íris de 26,9% em FCO com 58,5% de PB, indicando a baixa qualidade do ingrediente utilizado pelos autores. A disponibilidade do P é dose dependente sendo mais alta em ingredientes com menor teor de MM e P (Satoh et al., 1997; Rodehutschord et al., 2000b; Rodehutschord et

al., 2000a; Sugiura e Hardy, 2000) assim, os valores do CDAP encontrados por Pimentel-Rodrigues e Oliva-Teles (2007) foram mais altos em relação aos registrados no presente trabalho, variando de 45,45% a 74,16%, pelo fato de os autores terem avaliado o P inorgânico em níveis que atendiam exatamente a exigência dietética do mineral.

Avila et al. (2000) e Sugiura et al. (2003) também observaram que a restrição dietética do P aumenta a sua absorção intestinal. Isto sugere que a eficácia do sistema de transporte do fosfato diminui quando os níveis de P dietético são muito elevados (Coloso et al., 2003), fazendo com que o excesso de P dietético ocasione excessiva excreção de P e efeitos negativos sobre a mineralização óssea e crescimento (Rodehutsord et al., 2000b; Rodehutsord et al., 2000a; Roy e Lall, 2003; Albrektsen et al., 2009). De acordo com Sugiura et al. (2000b), a absorção do P de origem óssea apresenta um platô que poderia estar relacionada com a capacidade limitada de algumas espécies de peixes para digerir P ósseo em níveis dietéticos elevados. Em geral, a disponibilidade do P varia muito, dependendo da espécie de peixe e do ingrediente. A carpa comum (*Cyprinus carpio*), peixe que não apresenta estômago verdadeiro, tem menor absorção do P disponível a partir de farinhas de peixe do que os peixes com estômago diferenciado (NRC, 1993). Yone e Toshima (1979) postularam que a falta de ácido gástrico foi responsável pela menor disponibilidade de P da farinha de peixe para carpa comum, em comparação com ‘black sea bream’ (*Mylio macrocephalus*).

Trabalhando com truta arco-íris, Riche e Brown (1996) observaram que o máximo de disponibilidade aparente do P ocorreu quando dietas experimentais continham concentrações de P dietético próximas à exigência e que a disponibilidade de P diminuiu com níveis de P dietético acima e abaixo desse valor. Sugiura et al. (2000a) constataram que a concentração de P nas fezes de truta arco-íris alimentadas com dietas semipurificadas com níveis suplementares de P foi semelhante quando os níveis de P dietético foram inferiores ou similares aos da exigência, e significativamente maiores em um nível acima da exigência estimada. Satoh et al. (1997) também observaram que a suplementação de dietas com P em níveis duas a três vezes acima da exigência reduz a absorção do P tanto em truta arco-íris quanto em carpa comum, porém a resposta foi diferente nas duas espécies, o que pode ser explicado pela ausência de estômago em carpa (Lall, 2002). A fração óssea dos ingredientes deve ser hidrolisada por ácidos gástricos e enzimas em fosfatos inorgânicos simples para a absorção intestinal (Nakamura, 1985).

As diferenças biológicas relacionadas com a atividade de secreção de ácidos e enzimas podem assim causar variações na capacidade de digerir o P entre as diferentes espécies. As tilápias e os salmonídeos utilizam o P presente nas farinhas de peixe de forma mais eficiente do que a carpa comum e o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) (NRC, 1993). As diferenças na biodisponibilidade do P para salmonídeos e tilápias ou carpas é também pela limitada secreção de sucos gástricos dessas espécies (Ogino et al., 1979).

A disponibilidade do Ca das diferentes farinhas determinada neste estudo variou consideravelmente, mas foi comparável aos valores relatados para outras espécies de peixes alimentadas com dietas à base de produtos de origem animal (NRC, 1993; Sugiura et al., 2000b). Por outro lado, maiores valores de disponibilidade de Ca foram relatados para a quirera de arroz, sorgo e milho e menores para o farelo de arroz e de trigo (Guimarães et al., 2011). Albrektsen et al. (2009) avaliaram a disponibilidade de minerais de farinhas de peixe em salmão do Atlântico (*Salmo salar*) e registraram todos os valores de CDACa negativos. Os autores sugerem que os valores de disponibilidade negativos para o Ca possam indicar excesso deste elemento pelo seu consumo por ingestão da água do mar, rica em Ca, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho em que os CDACa das farinhas A e B foram negativos indicando excreção do excesso de Ca tanto proveniente da dieta quanto absorvido a partir da água, uma vez que o teor de Ca na água de cultivo utilizada no presente trabalho foi 35,7 mg/L, valor muito superior ao determinado por O'Connell e Gatlin III (1994) em água de baixo teor de Ca de 0,1 mg/L.

De acordo com Flik et al. (1993) e Flik e Verbost (1993), a absorção do Ca pelas espécies de tilápias através das brânquias é maior do que a partir do epitélio intestinal, embora os fatores que regulem estes mecanismos sejam ainda complexos, envolvendo vários hormônios e interações com outros minerais. Vielma e Lall (1998), trabalhando com a utilização de minerais por salmões do Atlântico, observaram que em dietas com teor de P similar ao exigido pela espécie, a exigência de Ca foi suprida exclusivamente a partir do mineral presente na dieta basal ou em combinação com a absorção do Ca da água. Resultados semelhantes foram relatados por Andrews et al. (1973), Bishop e Lall (1977), Ogino e Takeda (1978) e por Robinson et al. (1986).

Os peixes têm acesso ao Ca do ambiente, uma vez que este mineral é ativamente absorvido pelo epitélio branquial em peixes de água doce, e ingerido com a água em peixes marinhos (Flik et al., 1995.). O cálcio procedente da água é utilizado mesmo



quando disponível no alimento, sendo sua captação quantitativamente tão alta quanto à da dieta. Com baixos níveis de Ca na água, o Ca da dieta passa a ser mais aproveitado. Assim, se a água contiver apenas 5 mg de Ca/l, o peixe absorverá mais Ca da dieta do que se a água possuir 50 mg de Ca/l (Steffens, 1987).

Foi observado, após período de aclimação de 24 h, eficiente absorção de Ca proveniente da água de cultivo com 5 mg/L, por bagres do canal (Chow e Schell, 1980). Ye et al. (2006), também trabalhando com a suplementação de Ca em dietas para garoupa (*Epinephelus coioides*), concluíram, corroborando com outros trabalhos, que a grande maioria dos peixes tem a capacidade de absorver Ca tanto do ambiente aquático em que vivem quanto dos ingredientes presentes na dieta para suprir sua exigência deste mineral, sem a necessidade de suplementação (Steffens, 1987; Schwarz, 1995).

Os CDAMg determinados no presente trabalho variaram de 24,38 a 331,84%. A alta disponibilidade de Mg observada neste estudo está de acordo com os dados reportados com salmão do Atlântico e truta arco-íris (Sugiura et al., 1998b; Cheng e Hardy, 2003) e tilápia do Nilo (Gonçalves et al., 2005). Maior disponibilidade de Mg é esperada em tilápias, uma vez que nesta espécie ocorre maior absorção intestinal de Mg (80 % de absorção total de Mg) do que a partir das brânquias.

O CDAMS estima a quantidade de resíduos sólidos lançados para o ambiente, podendo ser utilizado para auxiliar na avaliação do impacto ambiental da produção aquícola. O principal impacto dos resíduos sólidos (matéria orgânica) é a deterioração da qualidade do solo por fermentação anaeróbica, que muda ou destrói a fauna nativa dos ecossistemas bentônicos do ambiente local (Sugiura e Hardy, 2000). O CDAMS dos ingredientes da ração também pode fornecer uma estimativa da qualidade geral da dieta ou dos ingredientes se não houver informações suficientes sobre os ingredientes e as comparações são restritas a tipos semelhantes de ingredientes. Isso corrobora com os resultados obtidos no presente trabalho uma vez que a farinha E de maior CDAMS também apresentou melhor CDAPB e demais minerais com exceção do K.

Os valores de CDAMS registrados estão de acordo com os valores de CDAMS encontrados por Guimarães et al. (2012), mas superiores ao apresentado por Sugiura et al. (2000b) e por Yu et al. (2013) com ‘snakehead’. A qualidade dos produtos de origem animal pode variar consideravelmente de acordo com os métodos de processamento das matérias-primas e da própria composição dos resíduos que fazem parte do ingrediente (Dong et al., 1993). Diferenças anatômicas e fisiológicas entre as espécies já foram apontadas como um dos principais fatores para as diferenças entre os

estudos de digestibilidade (Cho e Bureau, 2001). Assim, os altos valores de CDAMS, relatados por Gaylord e Gatlin III (1996), poderiam ser resultado de efeitos relacionados com a espécie, uma vez que os autores trabalharam com peixe carnívoro.

O efeito positivo da PB sobre a digestibilidade da MS e da disponibilidade dos minerais Ca e P encontrados no presente trabalho também foram registrados por Sugiura et al. (2000b) e Guimarães et al. (2012). O aumento nos teores de MM na dieta, encontrados no presente trabalho, associado com significativa redução da digestibilidade da PB foi também observado por Shearer et al. (1992). Bureau et al. (1999) não encontraram a mesma tendência de aumento nos CDAPB com a diminuição dos teores de MM mesmo com grande variação desse componente (14,7 a 31,7%). Esse resultado pode ser por efeitos relacionados com a espécie, uma vez que peixes carnívoros são capazes de digerir alguns produtos de proteína animal (principalmente ossos, tecidos conjuntivos e quitina) melhor do que os peixes onívoros/herbívoros (Baldisserotto, 2002).

A interação negativa entre os teores de PB e os CDA dos minerais K e Mg, associada à correlação positiva observada entre os teores de MM e os CDA dos minerais K e Mg, podem indicar que a utilização desses minerais pela tilápia do Nilo, criada nas condições experimentais do presente trabalho, pode ser regulada mais pelas interações entre os minerais do que pela quantidade absoluta ingerida de K e Mg.

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com outros resultados registrados na literatura para o efeito inibitório da MM, Ca e P sobre a disponibilidade dos minerais Ca e P. Sugiura et al. (2000b), em trabalho para a determinação da disponibilidade dos minerais da FCO para a truta arco-íris, registraram diminuição da disponibilidade dos minerais P, Ca e Fe com o aumento no teor de MM na dieta. Ainda de acordo com os autores, aparentemente os peixes têm a capacidade de digerir e absorver o P de origem óssea até próximo a sua exigência, mas não acima dela. Isso indica que altos teores de Ca, P e MM da dieta, não só aumentam proporcionalmente a excreção fecal de P como também reduzem a sua absorção pelo peixe (Sugiura et al., 1998a).

A correlação positiva do CDA do P com os teores de Na estão de acordo com resultados observados por Martini (2006) e Da Silva e Cozzolino (2007), que observaram sinergismo em nível de absorção intestinal entre ambos os elementos, uma vez que a absorção do P é feita na porção proximal do intestino por mecanismo de transporte ativo com cotransporte do íon sódio.

Yu et al. (2013) observaram que os CDAMS das FCOs foram significativamente menores do que os da proteína e energia, como resultado da grande quantidade de MM. Sugiura et al. (2000b) registraram a mesma tendência ao avaliarem a disponibilidade dos nutrientes de diferentes ingredientes em truta arco-íris. Babbitt et al. (1995) observaram que a redução do conteúdo ósseo de farinha de peixe aumenta a disponibilidade de minerais.

A composição química e a qualidade dos coprodutos de origem animal podem apresentar valores variados dependendo da matéria prima de origem e dos métodos de processamento (Dong et al., 1993). Entretanto, a disponibilidade do P, assim como de outros minerais presentes nos coprodutos de origem animal, pode ser estimada. O teor da MM parece diminuir a disponibilidade de outros minerais e nutrientes de forma significativa como indicado pela correlação linear negativa entre os teores de MM e os CDA da PB e da MS, e de todos os minerais analisados, com exceção do Mg e do K. Esse resultado indica que altos teores de ossos em ingredientes de origem animal, assim como o de MM, podem reduzir a quantidade absoluta desses minerais disponíveis, assim como da PB, para os peixes. No presente trabalho, a correlação linear significativa entre os teores de MM e digestibilidade da MS e dos minerais Ca e P foi também registrada, e resultados semelhantes foram encontrados por Guimarães et al. (2012) em trabalho com tilápias do Nilo e Gaylord e Gatlin III (1996) com ‘red drum’ (*Sciaenops ocellatus*). Gaylord e Gatlin III (1996) observaram que os teores de minerais em excesso influenciam na biodisponibilidade dos minerais presentes na dieta por interagirem de forma antagônica com outros minerais durante a passagem dos nutrientes pelo intestino, inibindo sua absorção.

Pimentel-Rodrigues e Oliva-Teles (2007), trabalhando com suplementação de P de origem inorgânica em dietas para juvenis de robalo (*Dicentrarchus labrax*), também observaram correlação inversa entre o nível de MM da dieta e a disponibilidade do fósforo. Hua e Bureau (2010), avaliando a biodisponibilidade do P em peixes de diferentes espécies, observaram em tilápias interação negativa significativa entre os teores de P dos ingredientes com a utilização do P de origem inorgânica. Isto sugere que, embora o P inorgânico monobásico seja altamente disponível para os peixes, quando combinado com o P de origem óssea da dieta, tem a sua disponibilidade significativamente reduzida. Interação semelhante também foi encontrada em salmonídeos por Hua e Bureau (2006), a suplementação de P inorgânico resultou em formação de fosfato de cálcio insolúvel no intestino, quando ocorre redução do pH

estomacal (pH 2-4 na estômago) ou quando o pH encontra-se neutro ou ligeiramente alcalino (pH 7-8 no intestino) ao longo do trato gastrintestinal.

De acordo com Sugiura et al. (1998b) e Sugiura et al. (2000b), valores negativos de disponibilidade também podem ser por interações entre o ingrediente-teste e a dieta basal. No entanto, o valor negativo não indica um balanço negativo de nutrientes, mas uma propriedade antagonista do ingrediente-teste sob a absorção dos nutrientes na dieta. Estes autores observaram ainda que este padrão de valores, abaixo de 0%, era mais comum com os minerais Ca, cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), Na, estrôncio (Sr) e zinco (Zn) do que com o magnésio. Esta observação está de acordo com os resultados deste estudo, em que foram observados valores de CDA negativos para o Ca. Além disso, a disponibilidade de P menor nas farinhas A, B e C pode estar relacionada com o conteúdo ósseo da matéria-prima utilizada na elaboração dessas farinhas.

A correlação negativa do teor de Ca sob a disponibilidade do P e do Ca provavelmente está relacionada ao excesso de Ca e seu efeito antagônico sobre a taxa de absorção de P pelo intestino. O excesso de Ca em relação ao P faz com que ocorra a combinação de ambos os minerais com formação do fosfato de cálcio, composto indisponível biologicamente para o peixe (Andrews et al., 1973; Cowey e Sargent, 1979; Nakamura, 1982). Ao contrário de muitos outros minerais, o aumentando na ingestão do Ca não resultou em aumento na absorção líquida desse elemento sugerindo que a absorção do Ca foi regulada ou que o Ca foi precipitado como fosfato de cálcio no intestino (Sugiura et al., 1998b).

Foi observada correlação negativa entre os teores de P e o CDAP de forma semelhante aos resultados encontrados por Guimarães et al. (2012). Albrektsen et al. (2009) registraram correlação positiva entre Mg e os macrominerais Ca e P, contrariando os resultados encontrados no presente trabalho, e registrados por outros autores, em que o Mg apresentou correlação sobre os CDA dos minerais Ca e fósforo (Sugiura et al., 1998b; Sugiura et al., 2000a; Guimarães et al., 2012). Durante o processo de formulação de rações, o potencial de alguns componentes, presentes nos ingredientes, em diminuir a absorção dos minerais presentes na dieta deve ser levado em consideração. Satoh et al. (1996), trabalhando com dietas para trutas, observaram que o excesso de P reduziu a síntese proteica e a disponibilidade de zinco. Assim, os alimentos apresentam dois efeitos opostos: fornecer minerais e fornecer substâncias que reduzem a absorção dos minerais e, neste contexto, a biodisponibilidade dos minerais presentes nos ingredientes é resultado da soma desses dois efeitos. Quando o primeiro

efeito é maior que o segundo o valor da disponibilidade dos minerais ficará em torno de 0 e 100%, enquanto que quando o segundo efeito é maior do que o primeiro este mesmo valor ficará abaixo de 0%, ou seja, o ingrediente apresenta disponibilidade negativa de certo mineral. De acordo com Sugiura et al. (2000b), entender melhor o segundo efeito do ponto de vista nutricional é de extrema importância.

Assim, a FCO pode ser utilizada como fonte alternativa de minerais para a tilápia do Nilo, mas quando composta com elevados teores de MM, pode possivelmente ocasionar antagonismos entre minerais quando utilizada em dietas que já atendam as exigências quantitativas dos mesmos. Considerando a capacidade de utilização dos minerais provenientes tanto da dieta quanto da água pela tilápia do Nilo, a FCO E, com 46,37% de PB, apresenta maior valor nutritivo para compor dietas para a espécie, resultando em menor impacto em termos de excreção de nitrogênio e fósforo.

## LITERATURA CITADA

- Abimorad, E. G., and D. J. Carneiro. 2004. Métodos de coleta de fezes e determinação dos coeficientes de digestibilidade da fração protéica e da energia de alimentos para o pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). Revista Brasileira de Zootecnia 33: 1101-1109.
- Adedokun, S. A., and O. Adeola. 2005. Metabolizable energy value of meat and bone meal for pigs. J Anim Sci 83: 2519-2526.
- Albrektsen, S., B. Hope, and A. Aksnes. 2009. Phosphorous (P) deficiency due to low P availability in fishmeal produced from blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in feed for under-yearling Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt. Aquaculture 296: 318-328.
- Andrews, J. W., T. Murai, and C. Campbell. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. Journal Nutrition 103: 766-771.
- Avila, E. M., H. Tu, S. Basantes, and R. P. Ferraris. 2000. Dietary phosphorus regulates intestinal transport and plasma concentrations of phosphate in rainbow trout. Journal of comparative physiology B 170: 201-209.
- Babbitt, J. K., R. W. Hardy, K. Reppond, and T. M. Scott. 1995. Processes for improving the quality of whitefish meal. Journal of Aquatic Food Product Technology 3: 59-68.
- Baldisserotto, B. 2002. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. Ed. UFSM.
- Bishop, F. J., and S. P. Lall. 1977. Studies on Mineral and Protein Utilization by Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Grown in Sea Water. Disease and Nutrition Section, Department of Fisheries and Environment, Canada.
- Bremer Neto, H., C. A. F. Graner, L. E. Pezzato, and C. R. Padovani. 2005. Determinação de rotina do cromo em fezes, como marcador biológico, pelo método espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. Ciência Rural 35: 691-697.
- Bureau, D. P., and C. Y. Cho. 1999. Measuring digestibility in fish. UG/OMNR Fish Nutrition Research Laboratory. Technical document, University of Guelph, Ontario, Canada.
- Bureau, D. P. et al. 2000. Feather meals and met and bone meals from different origins as proteins source in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. Aquaculture 181: 281 - 291.
- Bureau, D. P., A. M. Harris, and Y. C. Cho. 1999. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout. Aquaculture 180: 345-358.
- Campestrini, E. 2005. Farinha de Carne e Ossos. Nutritime 2 Accessed Date Accessed. | doi:DOI|
- Cheng, Z. J., and R. W. Hardy. 2003. Effects of extrusion processing of feed ingredients on apparent digestibility coefficients of nutrients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquacult Nutr 9: 77-83.
- Cho, C. Y. 1987. La energia en la nutrición de los peces. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta, Madrid.
- Cho, C. Y., and D. P. Bureau. 2001. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquac Res 32: 349-360.
- Cho, C. Y., and S. J. Slinger. 1979. Apparent Digestibility Measurement in Feedstuffs for Rainbow Trout. p 239-248.

- Cho, C. Y., S. J. Slinger, and H. S. Bayley. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: Energy intake, expenditure and productivity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* 73: 25-41.
- Chow, K. W., and W. R. Schell. 1980. *The Minerals*. FAO/UNDP, Italia.
- Clearwater, S. J., A. M. Farag, and J. S. Meyer. 2002. Bioavailability and toxicity of dietborne copper and zinc to fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 132: 269-313.
- Coloso, R. M. et al. 2003. Dietary P regulates phosphate transporter expression, phosphatase activity, and effluent P partitioning in trout culture. *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology* 173: 519-530.
- Cowey, C. B., and J. R. Sargent. 1979. *Nutrition*. Academic Press, New York.
- Da Silva, A. Y. H., and S. M. F. Cozzolino. 2007. *Fósforo*. 2 ed. Editora Manole Interesse Geral, Barueri, SP.
- Dong, F. M. et al. 1993. Chemical composition and protein digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets. *Aquaculture* 116: 149-158.
- FAO. 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Yearbook of fishery statistics: summary tables. <http://www.fao.org> Accessed Date Accessed.| doi:DOI|
- Flik, G. et al. 1993. Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> transport in gills and gut of tilapia, *Oreochromis mossambicus*: A review. *Journal of Experimental Zoology* 265: 356-365.
- Flik, G., and P. M. Verboost. 1993. Calcium transport in fish gills and intestine. *Journal of Experimental Biology* 184: 17-29.
- Flik, G., P. M. Verboost, and E. Wendelaar Bonga. 1995. Calcium transport processes in fishes. Academic Press, San Diego.
- Gaylord, T. G., and D. M. Gatlin III. 1996. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 139: 303-314.
- Gonçalves, G. S., L. E. Pezzato, M. M. Barros, G. K. Kleeman, and D. F. Rocha. 2005. Efeitos da suplementação de fitase sobre a disponibilidade aparente de Mg, Ca, Zn, Cu, Mn e Fe em alimentos vegetais para a tilápia-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 2155-2163.
- Guimarães, I. G., L. E. Pezzato, M. M. Barros, and R. d. N. Fernandes. 2012. Apparent nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 1801-1808.
- Guimarães, I. G., L. E. Pezzato, M. M. Barros, L. Tachibana, and R. d. N. Fernandes. 2011. Digestibilidade do amido e disponibilidade de Ca e P em alimentos energéticos extrusados para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Ciência Animal Brasileira* 12: 415-419.
- Hardy, R. W. 2010. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquac Res* 41: 770-776.
- Hua, K., and D. Bureau. 2006. Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. *Aquaculture* 254: 455-465.
- Hua, K., and D. Bureau. 2010. Quantification of differences in digestibility of phosphorus among cyprinids, cichlids, and salmonids through a mathematical modelling approach. *Aquaculture* 308: 152-158.
- Jobling, M. 2001. *Feed composition and analysis*. Blackwell-Science, Oxford-UK.
- Kubitza, F. 1997. *Nutrição e alimentação dos peixes*, Piracicaba.
- Lall, S. P. 2002. *The Minerals*. 3 ed. Elsevier Science, USA.

- Lima, M. R. 2003. Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. 2 ed. UFPR, Curitiba.
- Martini, L. A. 2006. Cálcio e fósforo. Nutrição Humana 1.
- Nakamura, Y. 1982. Effects of dietary phosphorus and calcium contents on the absorption of phosphorus in the digestive tract of carp. Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries 48: 409–413.
- Nakamura, Y. 1985. Sodium-dependent absorption of inorganic phosphate by the carp intestine. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology 80: 437-439.
- Noreen, U., and M. Salim. 2008. Determination of nutriente digestibility and amino acid availability of various feed ingredients for *Labeo rohita*. International Journal of Agriculture and Biology 10: 551-555.
- NRC, Nacional Reasearch Council. 1998. Nutriente Requiremnts for Swine. 10 ed. Natl. Acad. Press, Washington.
- NRC, Nacional Reasearch Council. 1993. Nutrient Requirements of fish. National Academy of Science, Washington.
- O'Connell, J. P., and D. M. Gatlin III. 1994. Effects of dietary calcium and vitamin D3 on weight gain and mineral composition of the blue tilapia (*Oreochromis aureus*) in low-calcium water. Aquaculture 125: 107-117.
- Ogino, C., and H. Takeda. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. Bulletin of Japanese Society of Science and Fisheries 44: 1019-1022.
- Ogino, C., L. Takeuchi, H. Takeda, and T. Watanabe. 1979. Availability of Dietary Phosphorus in Carp and Rainbow Trout Nippon Suisan Gakkaishi 45: 1527-1532.
- Parsons, C. M., F. Castanon, and Y. Han. 1997. Protein and Amino Acid Quality of Meat and Bone Meal. Poultry Science 361–368: 361-368.
- Pezzato, L. E. et al. 2002. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia 31: 1595-1604.
- Pezzato, L. E. et al. 2000. Valor nutritivo do farelo de coco para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Acta Scientiarum. Animal Sciences 22: 695-690.
- Pimentel-Rodrigues, A., and A. Oliva-Teles. 2007. Phosphorus availability of inorganic phosphates and fish meals in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles. Aquaculture 267: 300-307.
- Riche, M., and P. B. Brown. 1996. Availability of phosphorus from feedstuffs fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 142: 269-282.
- Robinson, E. H., S. D. Rawles, P. B. Brown, H. E. Yette, and L. W. Greene. 1986. Dietary calcium requirement of channel catfish *Ictalurus punctatus*, reared in calcium-free water. Aquaculture 53: 263-270.
- Rodehutsord, M., Z. Gregus, and E. Pfeffer. 2000a. Availability of phosphorus to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. 2. Digestibility measurements with inorganic phosphates and different protein sources. In: IX International Symposim on Nutrition and Feeding in Fish, Miyazaki, Japan. p 180.
- Rodehutsord, M., Z. Gregus, and E. Pfeffer. 2000b. Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. Aquaculture 188: 383-398.
- Rostagno, H. S. et al. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3 ed. UFV, Viçosa.



- Roy, P. K., and S. P. Lall. 2003. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Aquaculture* 221: 451-468.
- Sakomura, N. K., and H. S. Rostagno. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 1 ed. FUNEP, Jaboticabal.
- Satoh, S., N. K. Porn-Ngam, T. Takeuchi, and T. Watanabe. 1996. Influence of dietary phosphorus levels on growth and mineral availability in rainbow trout. *Fisheries Science* 62: 483 – 487.
- Satoh, S., V. Viyakarn, T. Takeuchi, and T. Watanabe. 1997. Availability of phosphorus in various phosphates to carp and rainbow trout determined by a simple fractionation method. *Fisheries Science* 63: 297–300.
- Schwarz, F. J. 1995. Determination of mineral requirements of fish. *Journal of Applied Ichthyology* 11: 164-174.
- Shearer, K. D., A. Maage, J. Opstvedt, and H. Mundheim. 1992. Effects of high-ash diets on growth, feed efficiency, and zinc status of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 106: 345-355.
- Silva, D. J. 1990. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos. 2 ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Silva, D. J., and A. C. Queiroz. 2002. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. Imprensa Universitária, Viçosa.
- Soares, C. M., C. Hayashi, V. B. Furuya, W. M. Furuya, and E. M. Galdioli. 2000. Substituição parcial e total da proteína do farelo de soja pela proteína do farelo de canola na alimentação de alevinos de piavuçu (*Leporinus macrocephalus*, L.). *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 15-22.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. 1 ed. Editora Acribia, Zaragoza.
- Sugiura, S., F. Dong, and R. Hardy. 2000a. Primary responses of rainbow trout to dietary phosphorus concentrations. *Aquacult Nutr* 6: 235-245.
- Sugiura, S. H., J. K. Babbitt, F. M. Dong, and R. W. Hardy. 2000b. Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquac Res* 31: 585-593.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, and R. W. Hardy. 1998a. Effects of dietary supplements on the availability of minerals in fish meal; preliminary observations. *Aquaculture* 160: 283-303.
- Sugiura, S. H., F. M. Dong, C. K. Rathbone, and R. W. Hardy. 1998b. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonoids. *Aquaculture* 159: 177-202.
- Sugiura, S. H., and R. W. Hardy. 2000. Environmentally friendly feeds. John Wiley & Sons, New York.
- Sugiura, S. H., N. K. McDaniel, and R. P. Ferraris. 2003. In vivo fractional P(i) absorption and NaPi-II mRNA expression in rainbow trout are upregulated by dietary P restriction. *American Journal of Physiology Regulatory, Integrative Comparative Physiology* 285: 770-781.
- Teixeira, A. S., J. S. Cavalcanti, P. R. Ost, and N. A. Schoulten. 2003. Probióticos em rações para frangos de corte utilizando farinha de carne e ossos com diferentes níveis de contaminação bacteriana *Ciência e agrotecnologia* 27: 927-933.
- Traylor, S. L., G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 2005. Effects of particle size, ash content, and processing pressure on the bioavailability of phosphorus in meat and bone meal for swine. *J Anim Sci* 83: 2554-2563.

- Vandenberg, G. W., and J. De La Noüe. 2001. Apparent digestibility comparison in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) assessed using three methods of faeces collection and three digestibility markers. *Aquacult Nutr* 7: 237-245.
- Vieites, F. M. et al. 2000. Valores de Aminoácidos Digestíveis Verdadeiros da Farinha de Carne e Ossos para Aves. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 2300-2307.
- Vielma, J., and S. P. Lall. 1998. Phosphorus utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in freshwater is not influenced by higher dietary calcium intake. *Aquaculture* 160: 117-128.
- Watanabe, T., V. Kiron, and S. Satoh. 1997. Trace mineral in fish nutrition. *Aquaculture* 151.
- Williams, W. J. 1979. Chromate and dichromate. Butterworths, London.
- Ye, C.-X. et al. 2006. Effect of dietary calcium and phosphorus on growth, feed efficiency, mineral content and body composition of juvenile grouper, *Epinephelus coioides*. *Aquaculture* 255: 263-271.
- Yone, Y., and N. Toshima. 1979. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and back sea bream. . *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 45: 753-756.
- Yu, H. R. et al. 2013. Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile snakehead, *Ophiocephalus argus*. *Aquacult Nutr* 19: 139-147.