

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ZOOTECNIA
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DIGESTIBILIDADE E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO
FÓSFORO EM RAÇÕES PARA TAMBAQUI NA FASE ENTRE
100 E 500 GRAMAS**

ALUNO (A): Dayana da Conceição da Costa

ORIENTADOR (A): Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim

CHAPADINHA, MA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ZOOTECNIA
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DIGESTIBILIDADE E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO
FÓSFORO EM RAÇÕES PARA TAMBAQUI NA FASE ENTRE
100 E 500 GRAMAS**

Trabalho apresentado ao curso de Zootecnia da Universidade Federal do Maranhão como requisito indispensável para graduação em Zootecnia

ALUNO (A): Dayana da Conceição da Costa

ORIENTADOR (A): Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim

CHAPADINHA, MA

2017

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Costa, Dayana da Conceição da.

Digestibilidade e Eficiência de Utilização do Fósforo em Rações para Tambaqui na Fase entre 100 e 500 Gramas / Dayana da Conceição da Costa. - 2017.

34 p.

Orientador(a): Marcos Antonio Delmondes Bomfim.

Monografia (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha/MA, 2017.

1. Colossoma macropomum. 2. Método indireto. 3. Mineral. I. Bomfim, Marcos Antonio Delmondes. II. Título.

DAYANA DA CONCEIÇÃO DA COSTA

**DIGESTIBILIDADE E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FÓSFORO EM RAÇÕES
PARA TAMBAQUI NA FASE ENTRE 100 E 500 GRAMAS**

Trabalho apresentado ao curso de
Zootecnia da Universidade Federal do
Maranhão como requisito
indispensável para graduação em
Zootecnia

Aprovada em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Felipe Barbosa Ribeiro – Universidade Federal do Maranhão

MSc. Thalles José Rego de Sousa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim – Universidade Federal do Maranhão

Orientador

CHAPADINHA, MA

2017

DEDICATÓRIA

A Deus, fonte inesgotável de sabedoria, a
minha mãe, meu pai, minha avó, meus
irmãos e meu tio Antonio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, por ter saúde, por possuir uma família maravilhosa que sempre está ao meu lado, e por todas as realizações até aqui que o Senhor me proporcionou.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, por colaborar de forma significativa para minha formação profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcos Antonio Delmondes Bomfim, por me receber em seu grupo de pesquisa, pela confiança e presteza nesses dois últimos anos de graduação.

A minha mãe, Iraci, por todo amor e carinho, por estar sempre ao meu lado e estar sempre pronta a me ajudar a realizar os meus sonhos. Ao meu pai, José Maria, minha avó, Francisca, meus irmãos, Daniele e Danrley, e meu tio, Antonio, pela contribuição para a minha formação.

Aos meus amigos (irmãos) Neliane Galvão, Hyanne Lima e Maykon Sousa, pela amizade sincera e verdadeira durante esses anos, por todos os momentos compartilhados, pela generosidade e incentivo em todos os meus projetos de vida.

Aos meus amigos da Universidade Federal do Maranhão, André Alves, Geridiane Oliveira, Alynne Pereira, Alane Silva, Monique Natty, Rosilda Lopes, Luciano Santos, Milene Lima, Cleomar Gonçalves (Kassio Ventury), Neyfran Batista, Brenda Garreto, José Florival, Brenda Fernandes, Marilene Sousa, Mayla Lima, Maylane Lima, pela amizade e pelos momentos de alegria.

A todos do grupo de nutrição e alimentação de organismos aquáticos (LANUMA): Neliane Galvão, Rafael Marchão, Dhulya Rodrigues, Thalles Sousa, Janayra Silva, Amós Feitosa, Adenias Teixeira, Hadassa Ramos, pela amizade e contribuição para a realização deste trabalho, e a todos aqueles que colaboraram de alguma forma.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

Não é sobre chegar ao topo do mundo e
saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te
fortaleceu
É sobre ser abrigo e também ter morada em
outros corações
E assim ter amigos contigo em todas as
situações.

Ana Vilela

RESUMO

DIGESTIBILIDADE E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DO FÓSFORO EM RAÇÕES PARA TAMBAQUI NA FASE ENTRE 100 E 500 GRAMAS

Objetivou-se determinar os coeficientes de digestibilidade aparente e eficiência de utilização do fósforo em rações para tambaqui com diferentes níveis desse mineral, na fase entre 100 e 500 gramas. No ensaio de digestibilidade, foram utilizados trinta peixes com peso médio de $387,57 \pm 56,63$ g, distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado composto por seis tratamentos, três repetições por tratamento e cinco peixes por parcela. Os tratamentos foram constituídos de seis rações experimentais com diferentes níveis de fósforo total (0,41; 0,60; 0,79; 0,98; 1,17; e 1,36%), isoproteicas, isoenergéticas e isocálcicas, adicionados com 0,50% de óxido crômico (99,50% da ração experimental + 0,50% de Cr_2O_3), como indicador indigestivo na determinação dos coeficientes de digestibilidade pelo método indireto, utilizando a técnica de coleta de fezes por decantação. Os peixes foram mantidos em aquários de polietileno (1.000 L), sendo alimentados durante o dia até a saciedade aparente por 20 dias. No início da noite, as gaiolas foram transferidas para incubadoras de fibra de vidro de formato cônico (220 L) adaptadas para a coleta de fezes, sendo a coleta realizada a cada duas horas. Para determinação do consumo de ração, consumo de fósforo total, consumo de fósforo digestível e do fósforo excretado nas fases, paralelamente, 150 juvenis ($85,40 \pm 1,10\text{g}$; $112,03 \pm 1,57\text{g}$; e $140,63 \pm 1,57\text{g}$), foram utilizados em experimento de dose-resposta montado em delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos, cinco repetições em três blocos e cinco peixes por parcela, durante 89 dias. Os coeficientes de digestibilidade aparente do fósforo (CDAP) diminuíram de forma quadrática com o aumento do nível de fósforo na ração, de acordo com a equação $\text{CDAf} = 139,27 - 178,58\text{Fos} + 77,64\text{Fos}^2$ ($R^2 = 0,76$). Apesar da redução nos coeficientes de digestibilidade do fósforo, o teor de fósforo digestível (PD) aumentou linearmente em função da elevação dos níveis de fósforo total da ração, de acordo com a equação $\text{PD} = 0,169 + 0,3448\text{Fos}$ ($R^2 = 0,82$). O consumo de ração não variou entre os tratamentos, contudo o consumo de fósforo total, de fósforo digestível e a excreção fecal de fósforo aumentaram linearmente com o aumento dos níveis de fósforo dietético. Conclui-se que a suplementação de fósforo em rações para tambaquis na fase dos 100 a 500 g aumenta o teor de fósforo digestível, porém diminui os seus coeficientes de digestibilidade aparente, aumentando a excreção fecal.

Palavras-chave: *Colossoma macropomum*, método indireto, mineral.

ABSTRACT

DIGESTIBILITY AND EFFICIENCY OF PHOSPHORUS UTILIZATION IN RATIONS FOR TAMBAQUI IN THE PHASE BETWEEN 100 AND 500 GRAMS

The objective was to determine the apparent digestibility coefficients of phosphorus in tambaqui rations with different phosphorus levels, in the phase between 100 and 500 grams. In the digestibility assay, thirty fishes with a average weight of 387.57 ± 56.63 g were used, distributed in a completely randomized design with six treatments, three replicates per treatment and five fish per plot. The treatments were constituted of six experimental with different levels of total phosphorus (0.41; 0.60; 0.79; 0.98; 1.17; and 1.36%), isoproteic, isoenergetic and isocalcium rations added with 0.50% of chromic oxide (99.50% of the experimental ration + 0.50% of Cr_2O_3), as indigestive indicator in the determination of digestibility coefficients by the indirect method, using the feces collect technique by decantation. The fish were kept in polyethylene aquariums (1000 L), being fed during the day to apparent satiety for 20 days. In the early evening, the cages were transferred to a conical-shaped glass fiber incubator (220 L) adapted for feces collect, being the collect realized every two hours. For the determination of ration consumption, total phosphorus consumption, digestible phosphorus consumption and phosphorus excreted in the phases, 150 juveniles (85.40 ± 1.10 g, 112.03 ± 1.57 g, and 140.63 ± 1.57 g), were used in a dose-response experiment set up in a randomized block design with six treatments, five replicates in three blocks and five fish per plot during 89 days. The phosphorus apparent digestibility coefficients (CDAP) decreased in a quadratic form with the increase of the phosphorus level in the ration, according to the equation $\text{ADCP} = 139.27 - 178.58\text{Fos} + 77.64\text{Fos}^2$ ($R^2 = 0.76$). Despite the reduction in the phosphorus digestibility coefficients, the digestible phosphorus (PD) content increased linearly as a function of the elevation of total phosphorus levels of the ration, according to equation $\text{DP} = 0.169 + 0.3448\text{Fos}$ ($R^2 = 0.82$). The ration consumption did not vary among treatments, however, consumption of total phosphorus, digestible phosphorus and fecal phosphorus excretion increased linearly with increased levels of dietary phosphorus. It is concluded that phosphorus supplementation in tambaqui rations in the 100-500 g phase increases the digestible phosphorus content, but decreases its apparent digestibility coefficients, increasing fecal excretion.

Keywords: *Colossoma macropomum*, indirect method, mineral.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específico	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 A piscicultura no Brasil	14
3.2 O tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	15
3.3 O fósforo	16
3.3 Digestibilidade	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Composição centesimal e química das rações experimentais na fase entre 100 e 500 gramas (matéria natural).21
- Tabela 2** - Coeficientes de digestibilidade aparente do fósforo (CDAf) em função do nível de fósforo da ração para tambaqui na fase entre 100 a 500 gramas.25
- Tabela 3** - Nível de fósforo digestível (Pd) em função do nível de fósforo da ração para tambaquis na fase entre 100 a 500 gramas.25
- Tabela 4** – Consumo de ração (CR), Consumo de fósforo total (CTF), consumo de fósforo digestível (CFD) e fósforo fecal excretado (PFEX) de tambaquis na fase entre 100 a 500 gramas e resumo da análise de variância, em função do nível de fósforo total da ração.27
- Tabela 5** – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação as para as variáveis, consumo de fósforo total (CFT), consumo de fósforo digestível (CFD) e fósforo fecal excretado (PFEX) de tambaquis na fase entre 100 e 500 gramas, em função dos níveis de fósforo total da ração.28

1 INTRODUÇÃO

A piscicultura é um dos setores da aquicultura que mais cresce no Brasil. É definida como uma atividade que tem como objetivo proporcionar a criação de peixes em cativeiro, de forma a exercer controle sobre seu crescimento e reprodução, oferecendo ao mercado consumidor proteína animal de qualidade (FERNANDES et al., 2010). Sendo o Brasil um país favorável à criação de peixes devido aos seus recursos hídricos, em 2015 este setor foi responsável por 69,9% da produção total da aquicultura (IBGE, 2015).

Dentre as espécies mais cultivadas no país, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) ocupa a segunda posição no *ranking* de peixes com 28,1% do total nacional, sendo a Região Norte responsável pela maior produção desta espécie (IBGE, 2015). Isso se deve as suas características zootécnicas, como o hábito alimentar onívoro, crescimento rápido, rusticidade, tolerando baixos teores de oxigênio dissolvido na água. Além disso, tem alto valor comercial, pois sua carne é bastante apreciada. (RODRIGUES, 2014; BRANDÃO et al., 2015).

O crescimento da sua produção incentivou os pesquisadores a buscar informações sobre essa espécie (DAIRIKI e SILVA, 2011). Sua alimentação em confinamento é baseada em rações comerciais, que elevam os custos de produção. Neste sentido, faz-se necessário determinar suas exigências nutricionais, para a elaboração de dietas balanceadas que otimizem o seu desempenho com a menor geração de resíduos (SILVA et al., 2003).

Na nutrição animal, os minerais são exigidos para várias funções no metabolismo e osmorregulação (RIBEIRO, 2005), como formação de membranas celulares, fosfoproteínas, transferência de energia, regulação do equilíbrio ácido-básico (BOMFIM, 2013), entre outras. Dentre esses minerais, o cálcio e o fósforo são macrominerais essenciais exigidos em maiores quantidades por esses animais. Ambos minerais devem ser considerados juntos, pois fazem parte do desenvolvimento e manutenção do sistema esquelético (QUINTERO-PINTO, 2008). No entanto, ao contrário do cálcio, que pode ter suas necessidades atendidas por meio da absorção da água (ROCHA, 2016), o fósforo deve ser adicionado na ração devido estar em baixas concentrações nas águas naturais (TANG et al., 2012).

O fósforo é essencial para a mineralização óssea, metabolismo de lipídios (PEZZATO et al., 2006), metabolismo de aminoácidos e carboidratos (QUINTERO-PINTO, 2008). Além disso, está presente nos ácidos nucleicos, fosfolipídios, enzimas, compostos glicolíticos e na produção de energia (ATP) (ROCHA, 2016). Por outro lado, sua deficiência

nesses animais diminui o seu crescimento, ocorrendo má eficiência alimentar e mineralização óssea (TANG et al., 2012). Além disso, a deficiência de fósforo aumenta a gliconeogênese no fígado, incrementando a síntese de ácidos graxos a partir dos aminoácidos (QUINTERO-PINTO, 2008).

Este mineral se encontra distribuído na natureza associado a outros elementos (DIEMER, 2011), podendo estar nas formas inorgânica e orgânica de origem animal e vegetal. O fósforo inorgânico é absorvido em maior parte devido às fosfatases intestinais hidrolisarem a forma orgânica (QUINTERO-PINTO, 2008). Por outro lado, o fósforo de origem vegetal que se encontra como ácido fítico (hexafosfato de inositol), que é de baixa digestão com tendência a ser excretado pelas fezes (QUINTERO-PINTO et al., 2011). Em razão disso, as rações para peixe à base de ingredientes de origem vegetal são suplementadas com fontes inorgânicas, sendo mais utilizado o fosfato bicálcico, o que torna o mineral mais digestível no trato gastrointestinal.

A absorção do fósforo se dá por mecanismos de transporte ativo e passivo em animais não ruminantes. O mecanismo de transporte ativo ocorre no duodeno, sendo mediado por um cotransportador, nesse caso pelo íon sódio. Nesse tipo de transporte há a possibilidade de saturação nos transportadores. Enquanto que o mecanismo de transporte passivo ocorre no jejuno e íleo, e a taxa de absorção depende da sua concentração no lúmen, sendo não saturável quando há gradiente de concentração eletricamente favorável (BÜNZEN, 2009; QUINTERO-PINTO et al., 2011; BOMFIM, 2013). O fósforo inorgânico quando em altas concentrações no lúmen é absorvido principalmente por transporte passivo (TANG et al., 2012). O contrário ocorre em baixas concentrações desse mineral, onde a absorção se dá essencialmente por transporte ativo, aumentando sua eficiência de absorção intestinal (BOMFIM, 2013).

Neste sentido, a eficiência de utilização desse mineral pode ser comprometida pelos níveis dietéticos abaixo ou acima da exigência nutricional, principalmente quando utilizados ingredientes de origem vegetal na formulação das rações. Pois quando a concentração está abaixo da exigência pode limitar o desempenho dos animais, enquanto a elevação nos teores de fósforo reduz a sua eficiência de aproveitamento aumentando, sua descarga fecal e eutrofização do meio aquático (PEZZATO et al., 2006; BOMFIM, 2013). Considerando a carência de informações na literatura e a importância do tambaqui no crescimento da piscicultura nacional o objetivo desse trabalho foi determinar a digestibilidade e a eficiência de utilização do fósforo em rações com diferentes níveis de fósforo para tambaqui na fase entre 100 a 500 gramas.

2 OBJETIVOS

1.1 Geral

Determinar a digestibilidade e eficiência de utilização do fósforo em rações para o tambaqui (*Colossoma macropomum*) na fase entre 100 a 500 gramas.

1.2 Específico

Avaliar os efeitos da variação dos níveis de fósforo total sobre os coeficientes de digestibilidade do fósforo em rações para tambaqui (*Colossoma macropomum*), na fase entre 100 a 500 gramas;

Avaliar os efeitos da variação dos níveis de fósforo total sobre a eficiência de utilização do fósforo em rações para tambaqui (*Colossoma macropomum*), na fase entre 100 a 500 gramas;

Viabilizar informações que proporcionem a elaboração de rações de maior aproveitamento do fósforo e menor capacidade poluente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A piscicultura no Brasil

Pertencente ao ramo da aquicultura, esta atividade tem por objetivo a criação de peixes para atender a demanda mundial em proteína animal, visto que a população vem crescendo aceleradamente. É uma das atividades mais antigas no mundo que adquiriu caráter comercial a cerca de 150 anos no Japão (RIBEIRO, 2005).

O Brasil é um país com grande capacidade para a piscicultura devido aos recursos hídricos que possui, sendo, por isso, considerado um dos países com maior potencial para a expansão da atividade. Em 2015, a produção total da piscicultura no país registrou 483,24 mil toneladas (IBGE, 2015), sendo as espécies mais criadas são a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com 45,4%, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) com 28,1%, o tambacu (*Colossoma macropomum* x *Piaractus mesopotamicus*) e a tambatinga (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*), ambos somando 7,7%.

A piscicultura apresenta uma grande diversidade de espécies com adaptação a determinadas regiões e aceitação do mercado, nesse contexto as regiões norte e nordeste se encaixam por apresentar espécies de grande potencial de cultivo. No entanto, apesar de importante, espera-se que nos próximos anos essa atividade ganhe caráter sustentável em termos ambientais e com maior crescimento (SANTOS, 2007).

Entre os fatores que afetam a poluição ambiental causada pela piscicultura, e que indicam a intensificação de estudos, está tanto no uso de rações e no manejo nutricional, como também o tipo de sistema de cultivo (CYRINO et al., 2010). Alguns autores apontam fatores ligados aos alimentos para organismos aquáticos quanto ao impacto ambiental, como a digestibilidade, palatabilidade, estabilidade na água, origem das fontes de proteína (vegetal ou animal), hábito alimentar das espécies, e composição química dos alimentos (BARAK et al., 2003; DE SILVA e ANDERSON, 1995; HEINEN et al., 1996; KUZ'MINA, 2008; CYRINO et al., 2010).

A alimentação excessiva causa aumento dos resíduos que, conseqüentemente, irá poluir as águas pela descarga destes, principalmente de fósforo e nitrogênio. Dessa forma, o uso de rações ambientalmente corretas e adequadas à fase de criação é uma estratégia para

ajudar a solucionar o impacto que a piscicultura tem causado ao meio ambiente. Segundo Cyrino et al. (2010), cerca de 80% dos componentes existentes nas rações para peixes (que não são absorvidos no trato gastrointestinal do animal) são eliminados na água na forma de fezes e outros resíduos metabólicos. Além disso, a ração representa o maior custo na produção, sendo, por isso, importante o uso racional na piscicultura.

3.2 O tambaqui (*Colossoma macropomum*)

O tambaqui é uma espécie rústica pertencente à classe Actinopterygii, ordem Characiformes e família Characidae, ocorrendo naturalmente nas bacias do rio Amazonas e Orinoco (GOMES et al., 2010). Esta espécie compõe o grupo dos peixes redondos junto com o pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e a pirapitinga (*Piaractus brachipomum*), que são importantes para a piscicultura nacional (KUBTIZA, 2004).

Segundo dados do IBGE, a piscicultura no Brasil em 2015 foi responsável pela produção de 483,24 mil toneladas, sendo o tambaqui a segunda espécie mais criada no país, ficando atrás apenas da tilápia. Devido ao clima brasileiro, seu cultivo no país se concentra nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste, onde encontra, ainda, ampla aceitação pelo mercado (KUBTIZA, 2004).

É uma espécie que apresenta dorso em tonalidades pardas e ventre esbranquiçado na fase juvenil, enquanto na fase adulta apresenta manchas escuras irregulares ventrais e caudais, com dorso em tonalidade esverdeada (ANSELMO, 2008). Seu porte máximo pode alcançar em torno de 45 Kg e 100 cm de comprimento, e naturalmente realiza migrações reprodutivas atingindo maturação sexual entre 4 e 5 anos de idade (CARDOSO, 2001). Além disso, apresenta boa adaptação a ambientes com pouco oxigênio (SENA, 2012), com valores abaixo de 1 mg L^{-1} de oxigênio dissolvido, devido essa espécie conseguir expandir o lábio inferior quando em extrema falta de oxigênio e com isso consegue aproveitar o oxigênio da água das camadas superficiais (ARAÚJO-LIMA e GOULDING, 1998; BALDISSEROTTO, 2009; RODRIGUES, 2014).

Possui hábito alimentar onívoro com tendência a herbívoro (DAIRIKI e SILVA, 2011) e em seu habitat natural, sua alimentação é feita por frutos e sementes e zooplâncton (RODRIGUES, 2014). Segundo Dairiki e Silva (2011), as preferências dietéticas do tambaqui mudam de zooplâncton a frutos e sementes de acordo com a fase de crescimento.

Segundo Nunes et al. (2006), antigamente, o cultivo extensivo era a forma mais comum de piscicultura dessa espécie, sem a adição de alimento suplementar, em que apenas a produtividade natural sustentava uma baixa densidade de indivíduos, o que resultava numa baixa eficiência de produção. Atualmente, o aprimoramento das práticas de manejo dessa espécie atribuído ao uso de rações comerciais levou ao incremento no aumento da criação de tambaqui, o que contribui para atender a demanda mundial em proteína animal.

3.3 O fósforo

O fósforo é um importante mineral que se faz essencial na formação da estrutura óssea, participando de inúmeros processos metabólicos, dentre estes a formação de membranas celulares e de ATP (BÜNZEN et al., 2008). Além disso, está presente em praticamente todos os ingredientes alimentícios, como mistura das formas inorgânica e orgânica (QUINTERO-PINTO, 2008).

Os peixes absorvem o fósforo da água em poucas quantidades e têm uma baixa eficiência na utilização desse mineral, sendo necessário a sua suplementação em rações para atender suas exigências nutricionais (QUINTERO-PINTO, 2008; TANG et al., 2012). Pois quando há carência na concentração de fósforo no organismo animal, pode causar redução no desempenho, no desenvolvimento das vilosidades intestinais, da eficiência alimentar e da mineralização óssea, além de elevar a atividade de enzimas gliconeogênicas e o teor de gordura corporal, sendo o último, provavelmente, pela inibição da β -oxidação dos ácidos graxos ou via estímulo à lipogênese a partir do esqueleto carbônico dos aminoácidos catabolizados. Em consequência, há redução na deposição de proteína corporal, devido ao baixo aproveitamento dos aminoácidos, aumentando, assim, a descarga de nitrogênio no ambiente (BOMFIM, 2013).

Esse mineral pode ser encontrado em diferentes formas e concentrações, por exemplo, o fosfato livre se encontra na forma inorgânica enquanto o fósforo de origem animal é encontrado na forma orgânica (QUINTERO-PINTO, 2008), que, em tese, é cem por cento disponível para digestão e absorção aos animais. Em ingredientes de origem vegetal, além do baixo teor de fósforo, cerca de 50 a 80% está associado ao fitato (BOMFIM, 2013), sendo que a molécula de ácido fítico torna-se um dos principais problemas para a digestão do fósforo

pelos animais não ruminantes. Isso ocorre devido à ausência da produção endógena da enzima fitase, impedindo que ele seja disponível a esses animais.

Em vista disso, uma estratégia compensatória utilizada é a adição de fósforo de origem inorgânica nas rações contendo fósforo de origem vegetal para atender as exigências nutricionais de peixes (BOMFIM, 2013). Com isso, aumentam-se os custos com alimentação para esses animais e a taxa de excreção de fósforo no ambiente.

Portanto a utilização de níveis dietéticos de fósforo ajustado às exigências nutricionais dos peixes e sua disponibilidade nos alimentos é o modo mais seguro para se evitar perdas excessivas deste elemento em ambientes aquáticos (PONTES et al., 2011), aumentando a sustentabilidade ambiental e a capacidade de suporte do sistema de produção, por ser o principal agente eutrofizante do meio aquático (DIEMER, 2011).

Há uma relação entre cálcio e fósforo em que a deficiência ou excesso de um prejudica a utilização do outro, pois atuam no desenvolvimento e manutenção do sistema esquelético, sendo os maiores constituintes dos ossos (37% Ca e 16% P) (QUINTERO-PINTO et al., 2011; DIEMER, 2011), afetando a digestibilidade de outros minerais, como zinco, magnésio e ferro (SANTOS, 2012). Para algumas espécies de peixes essa relação se apresenta na faixa de 1,5 a 2,1:1,0 nas escamas e ossos e entre 0,7 e 1,6:1,0 no corpo inteiro dependendo principalmente do estágio de desenvolvimento, enquanto o nível de fósforo no corpo inteiro é de aproximadamente 0,4 a 0,5 % do peso fresco (LALL, 2002; QUINTERO-PINTO, 2008).

3.3 Digestibilidade

O termo digestibilidade refere-se à porção do alimento que é digerido no tubo digestivo do animal, ou seja, indica a quantidade percentual de cada nutriente do alimento que o animal tem condição de utilizar. A digestibilidade pode ser aparente ou verdadeira. A digestibilidade aparente refere-se à diferença entre a quantidade do nutriente ingerido e o excretado nas fezes. Para determinação da digestibilidade verdadeira, também é contabilizada pelas perdas endógenas (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007).

A digestibilidade é uma importante ferramenta nos estudos de nutrição porque permite avaliar a qualidade de uma dieta ou ingrediente, indicando o seu valor nutricional, assim como dos níveis de nutrientes não digeridos (FURUYA et al., 2001), permitindo a

elaboração de rações que atendam com maior exatidão às exigências nutricionais dos peixes, e consequentemente, minimizem as perdas de nutrientes no meio ambiente (QUINTERO-PINTO, 2008).

Em geral, para a determinação da digestibilidade de um alimento ou nutriente são empregados dois métodos, o direto e o indireto (LÔBO JÚNIOR et al., 2001; SAKOMURA e ROSTAGNO, 2007). O método direto é realizado através da coleta total de fezes e peso de todo alimento consumido, enquanto o método indireto é feito por meio de indicadores não digestíveis, sendo estimada pela relação da concentração do nutriente em relação a um indicador inerte, tanto no alimento quanto nas fezes (SENA, 2012; KITAGIMA, 2009). Esses indicadores podem ser internos e externos, sendo os indicadores internos componentes naturais existentes na ração, não digestíveis e de proporção constante. São exemplos algumas fibras não digestíveis. Enquanto os indicadores externos são substâncias indigestíveis adicionado à ração em pequena quantidade, como o óxido de cromo (Cr_2O_3) e de titânio (TiO_2), entre outros (KITAGIMA, 2009).

O uso de indicadores baseia-se no fato de que à medida que o alimento transita pelo trato gastrointestinal, a concentração do indicador aumenta progressivamente pela remoção de constituintes dos alimentos digeridos e absorvidos. O aumento na concentração do indicador é proporcional a digestibilidade e, portanto, essa pode ser calculada pela relação da concentração do indicador no alimento e nas fezes.

O coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) indica a porcentagem utilizada do nutriente dentro da quantidade total oferecida (KITAGIMA, 2009). E quanto mais alto os valores do CDA melhor é o aproveitamento do nutriente e do alimento no trato digestivo do animal. Ressalte-se que existem muitos fatores que influenciam os coeficientes de digestibilidade dos alimentos em peixes: a metodologia utilizada para a coleta de fezes (técnicas com o peixe dentro ou fora d'água), a espécie do peixe, a idade do peixe, a composição do alimento, a salinidade, a temperatura da água e o tipo de processamento do alimento (BOMFIM e LANNA, 2004).

Abimorad e Carneiro (2004) concluíram em seu estudo avaliando diferentes métodos de coleta de fezes (dissecação, extrusão das fezes, Guelph e Guelph modificado) sobre os coeficientes de digestibilidade da proteína e da matéria seca em pacu, concluindo que todos os métodos de coleta de fezes estudados podem ser adotados para a determinação dos

coeficientes de digestibilidade da fração proteica dos alimentos para o pacu, desde que usados criteriosamente.

Lösch (2013) utilizou dois métodos de coleta de fezes, decantação e dissecação, para avaliar a digestibilidade aparente de rações contendo diferentes níveis de fósforo (0,6%, 0,8%, 1,0% e 1,20%) para pacu, sendo que para o método da decantação foi utilizado apenas dois níveis de fósforo (0,6% e 1,20%), concluindo que o nível que propôs maior digestibilidade desse mineral pelos dois métodos utilizados foi o nível de 0,6% de fósforo total na ração para pacu.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Nutrição e Alimentação de Organismos Aquáticos do Maranhão (LANUMA), no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais - CCAA da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, localizado no município de Chapadinha, Maranhão. Foi conduzido de acordo com as normas éticas de pesquisa com animais após aprovação pelo Comitê de Ética no Uso Animal da Universidade Federal do Maranhão (Nº do Protocolo: 23115008833/2014-31).

Para determinação da digestibilidade do fósforo, foram utilizados 30 peixes com peso $387,57 \pm 56,63$ gramas em experimento montado em delineamento inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos, três repetições (no tempo), e cinco peixes por unidade experimental durante 20 dias.

Os tratamentos foram constituídos de seis rações experimentais com diferentes níveis de fósforo total (0,41; 0,60; 0,79; 0,98; 1,17; e 1,36%), isoproteicas, isoenergéticas e isocálcicas, contendo 0,50% de óxido crômico (Cr_2O_3), como indicador indigestivo na determinação de coeficientes de digestibilidade pelo método indireto (FRACALOSSI et al., 2013). As rações experimentais contendo os respectivos níveis de fósforo avaliados no experimento estão apresentadas na Tabela 1.

No período pré-experimental, constituído de uma semana, os peixes foram estocados nas instalações experimentais e alimentados com ração comercial para adaptação às condições do experimento.

No período experimental do ensaio de digestibilidade, os peixes foram distribuídos em seis gaiolas confeccionadas com tela de plástico em formato cilíndrico. Durante o dia, as gaiolas foram mantidas em caixas de polietileno (aquários) com capacidade volumétrica de 1.000 litros. As caixas apresentavam sistema de abastecimento e drenagem individuais, e aeração suplementar. No início da noite, as gaiolas foram transferidas para incubadoras de fibra de vidro de formato cônico (220 litros), adaptado para coleta de fezes.

Paralelamente, 150 juvenis de três pesos iniciais distintos ($85,40 \pm 1,10\text{g}$; $112,03 \pm 1,57\text{g}$; e $140,63 \pm 1,57\text{g}$), foram utilizados em experimento de dose-resposta montado em delineamento de blocos ao acaso (critério em função do peso médio inicial), composto por seis tratamentos, com cinco repetições por tratamento em três blocos e cinco peixes por

unidade experimental durante 89 dias para determinação dos consumos de ração e, consequentemente, de fósforo total.

Tabela 1 - Composição centesimal e química das rações experimentais na fase entre 100 e 500 gramas (matéria natural)

Ingredientes (%)	Nível de fósforo total (%)					
	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36
Farelo de soja	60,424	60,424	60,424	60,424	60,424	60,424
Milho	26,825	26,825	26,825	26,825	26,825	26,825
Óleo de soja	5,776	5,776	5,776	5,776	5,776	5,776
Inerte	1,800	1,440	1,080	0,720	0,360	0,000
Lisina-HCl	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135
DL-Metionina	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245
L-Treonina	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386
Calcáreo Calcítico	3,341	2,672	2,004	1,336	0,668	0,000
Fosfato Bicálcico	0,000	1,028	2,056	3,084	4,112	5,140
Premix Vitamínico e Mineral ⁵	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
Vitamina C ⁴	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Sal	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Antioxidante (BHT)	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Composição calculada ¹						
Proteína Bruta (%)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Proteína Digestível (%) ²	27,44	27,44	27,44	27,44	27,44	27,44
Energia Digestível (kcal/kg) ²	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00	3000,00
Extrato Etéreo (%)	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75
Fibra Bruta (%)	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67
Ca Total (%)	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
P total (%)	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36
P não-fítico (%)	0,15	0,34	0,53	0,72	0,91	1,10
P digestível calculado (%) ³	0,12	0,30	0,48	0,66	0,84	1,02
Lisina Digestível (%) ²	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
Metionina + Cistina Digestível (%) ²	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040	1,040
Treonina Digestível (%) ²	1,408	1,408	1,408	1,408	1,408	1,408
Triptofano Digestível (%) ²	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375

¹ Com base nos valores propostos por Rostagno et al. (2011);

² Com base nos coeficientes de digestibilidade do milho, farelo de soja e óleo de soja propostos por Vidal Júnior (2000) e para os aminoácidos sintéticos propostos por Rostagno et al. (2011);

³ Com base nos coeficientes de digestibilidade do milho, farelo de soja e fosfato bicálcico propostos para tilápia do Nilo por Furuya et al. (2010);

⁴ Vit. C: sal cálcica 2-monofosfato de ácido ascórbico, 42% de princípio ativo;

⁵ Suplemento vitamínico e mineral comercial (5 kg/t), com níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 1.200.000 UI; Vit. D₃, 200.000 UI; Vit. E, 1.200 mg; Vit. K₃, 2.400 mg; Vit. B₁, 4.800 mg; Vit. B₂, 4.800 mg; Vit. B₆, 4.800 mg; Vit. B₁₂, 4.800 mg; Vit. C, 48 g; ác. Fólico, 1.200 mg; pantotenato de Ca, 12.000 mg; Vit. C, 48.000 mg; biotina, 48 mg; cloreto de colina, 108 g; niacina, 24.000 mg; Fe, 50.000 mg; Cu, 3.000 mg; Mn, 20.000 mg; Zn, 30.000 mg; I, 100 mg; Co, 10 mg; Se, 100 mg.

A temperatura da água foi monitorada diariamente, às 7:30 e 17:30 horas, com o auxílio de um termômetro de bulbo de mercúrio, graduado de 0 a 50°C. Os teores do pH e do teor de oxigênio dissolvido e da amônia na água foram monitorados a cada sete dias por intermédio de um pHmetro, oxímetro e kit comercial para teste de amônia tóxica, respectivamente.

Os parâmetros físico-químicos da água foram mantidos dentro dos padrões recomendados para a criação da espécie ao longo do período experimental, conforme preconizado por Gomes et al. (2010) e Mendonça et al. (2012). As temperaturas máximas e mínimas da água mantiveram-se de $27,6 \pm 0,05$ °C e $28,1 \pm 0,30$ °C, respectivamente. A concentração de oxigênio dissolvido na água ficou de $8,87 \pm 0,50$ ppm, pH $6,96 \pm 0,43$ e amônia total $\leq 1,00$.

Os ingredientes das rações experimentais foram misturados, umedecidos em água aquecida a cerca de 50°C e peletizados utilizando-se de um moinho de carne. Em seguida, as rações foram secas ao sol durante o dia e ao final da tarde foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C durante 24 horas. Após a secagem foram trituradas e peneiradas para obtenção de péletes em diferentes diâmetros.

No ensaio de digestibilidade as rações foram fornecidas *ad libitum* em sete refeições (08:00, 11:00, 14:00, 16:00, 16:30, 17:00 e 17:30 horas), e no ensaio de dose-resposta as rações foram fornecidas *ad libitum* em seis horários de alimentação (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00 horas), sendo que, em cada refeição, eram realizados sucessivos repasses, possibilitando a ingestão máxima, até a aparente saciedade.

No ensaio de digestibilidade, após 30 minutos da última alimentação, os aquários foram limpos e 70% da água renovada, possibilitando assim a remoção de eventuais resíduos de ração que poderia contaminar as fezes dos peixes. Em seguida, as gaiolas com os peixes foram transferidas do tanque de alimentação para incubadoras de fibra de vidro, onde permaneciam das 18:00 até as 08:00 horas da manhã do dia seguinte.

Nas incubadoras de fibra de vidro, foram utilizados coletores adaptados na porção inferior para a coleta das fezes por decantação. Para evitar fermentação das fezes, os coletores foram mantidos em caixas térmicas com gelo durante todo período de coleta, que ocorreu em intervalo de duas horas (das 20:00 até às 6:00 horas da manhã seguinte). Após cada coleta, as fezes foram depositadas em placa de petri e levadas para estufa de circulação forçada de ar para secagem durante 72 horas para fins de análises laboratoriais. A digestibilidade aparente

do fósforo foi estimada por meio do cálculo do fator de indigestibilidade, utilizando-se as fórmulas descritas por Cho & Slinger (1979).

$$CDA(\%) = 100 - \left[100 \times \left(\frac{\% Cr_2O_3 r}{\% Cr_2O_3 f} \right) \times \left(\frac{\% P f}{\% P r} \right) \right]$$

Em que:

CDA = coeficiente de digestibilidade aparente (%);

% Cr₂O₃r = percentagem de óxido de crômio na ração;

% Cr₂O₃f = percentagem de óxido de crômio nas fezes;

% P f = percentagem de fósforo nas fezes;

% P r = percentagem de fósforo na ração

Com base no coeficiente de digestibilidade do fósforo (CDAf), foi determinado o teor de fósforo digestível (Pd) de cada ração; e no ensaio de dose-resposta o consumo de ração (CR), consumo de fósforo total (CFT) e digestível (CPD), e a excreção fecal de fósforo (PFEX), conforme as equações abaixo:

- Pd (%) = [teor de fósforo total da ração (%) x CDAf (%)]/100;
- CR (g) = consumo de ração durante o período experimental;
- CFT (g) = [CR (g) x teor de fósforo total da ração(%)]/100;
- CFD (g) = [CFT (g) x CDAf (%)]/100;
- PFEX (g) = CFT (g) – CFD (g).

As análises bromatológicas das rações e fezes foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Maranhão – UFMA e no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Piauí - UFPI, conforme procedimentos descritos por Detmann et al. (2012).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SAS 9.0 (2002). As variáveis avaliadas foram submetidas à análise de variância ao nível de cinco por cento de probabilidade. Para as variáveis que apresentaram efeito significativo dos níveis de fósforo total pela análise de variância, realizaram-se análises de regressão por meio de modelos linear e quadrático. Também foi avaliado o modelo descontinuo “Linear Response Plateau” (LRP). Para a escolha do modelo de melhor ajuste, levou-se em consideração o valor de P (significância) e o R^2 (SQ do modelo/ SQ do tratamento).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que os níveis de fósforo total na dieta afetaram os coeficientes de digestibilidade aparente de fósforo. Os coeficientes de digestibilidade diminuíram de forma quadrática ($P < 0,10$) à medida que se aumentou o nível de fósforo da ração. Apesar da redução dos coeficientes de digestibilidade aparente do fósforo, os valores de fósforo digestível aumentaram de forma linear em função da elevação dos teores de fósforo total ($P < 0,01$) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 - Coeficientes de digestibilidade aparente do fósforo (CDAf) em função do nível de fósforo da ração para tambaqui na fase entre 100 a 500 gramas

	Nível de fósforo da ração						Média
	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36	
Calculado (%)	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36	
Analisado (%)	0,607	0,820	0,993	1,252	1,380	1,434	
CDAf	62,57±12,69	37,14±13,45	42,20±7,45	40,70±16,49	40,74±10,62	40,43±6,90	43,98±9,26
CV (%) ¹	8,72						
$P > F^2$	0,0001						

¹ Coeficiente de variação;

² Efeito quadrático ($P < 0,10$): $CDAf = 139,27 - 178,58Fos + 77,64Fos^2$ ($R^2 = 0,76$).

Tabela 3 - Nível de fósforo digestível (Pd) em função do nível de fósforo da ração para tambaquis na fase entre 100 a 500 gramas

	Nível de fósforo da ração						Média
	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36	
Calculado (%)	0,41	0,60	0,79	0,98	1,17	1,36	
Analisado (%)	0,607	0,820	0,993	1,252	1,380	1,434	
Pd (%)	0,380±0,08	0,305±0,11	0,0418±0,08	0,511±0,21	0,562±0,15	0,580±0,10	0,459±0,11
CV (%) ¹	11,21						
$P > F^2$	0,0003						

¹ Coeficiente de variação;

² Efeito linear ($P < 0,01$): $Pd = 0,169 + 0,3448Fos$ ($R^2 = 0,82$).

Os resultados assemelham-se aos observados por Santos (2012), ao avaliar a digestibilidade de nutrientes e energia contendo níveis crescentes de fósforo total para o tambaqui, que verificou redução dos coeficientes de digestibilidade aparente do fósforo para esta espécie, e também com pacu (*Piaractus mesopotamicus*), em experimento realizado por

Nervis et al. (2015), que avaliaram a digestibilidade aparente de fósforo com diferentes níveis deste mineral para essa espécie e verificaram que o menor nível de fósforo proporcionou maior coeficiente de digestibilidade.

Esses resultados podem indicar que fontes de fósforo inorgânico podem ter um menor aproveitamento para esta espécie ou nesta fase de criação. O fósforo se encontra em praticamente todos os ingredientes alimentícios como mistura das formas orgânicas e inorgânicas. Ao chegar ao intestino, as fosfatases intestinais hidrolisam a forma orgânica do fósforo e a forma inorgânica é absorvida em maior quantidade, ocorrendo maior porcentagem da absorção total nos animais jovens do que nos adultos (MCDOWELL, 1992; QUINTERO-PINTO, 2008).

No presente estudo observou-se que a ração com menor nível de fósforo proporcionou um maior coeficiente de digestibilidade aparente, e que o menor coeficiente de digestibilidade foi alcançado com o maior nível de fósforo total (Tabela 2). Essa resposta também pode estar relacionada ao mecanismo de absorção de fósforo, que pode ocorrer por transporte ativo e passivo. O mecanismo de transporte ativo ocorre no duodeno, sendo mediado por um cotransportador, nesse caso pelo íon sódio. Nesse tipo de transporte há a possibilidade de saturação nos transportadores. Enquanto que o mecanismo de transporte passivo ocorre no jejuno e íleo, e a taxa de absorção depende da sua concentração no lúmen, sendo não saturável quando há gradiente de concentração eletricamente favorável (BÜNZEN, 2009; QUINTERO-PINTO et al., 2011; BOMFIM, 2013). Neste sentido, a principal forma de absorção vai depender da concentração de fósforo no lúmen.

Tang et al. (2012), ao avaliarem diferentes níveis de fósforo disponível em dietas para o catfish amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*), relataram que os coeficientes de digestibilidade aparente de fósforo aumentaram a medida que se elevou o nível de fósforo disponível da dieta. Esses autores, por outro lado, verificaram que quando há baixa concentração de fósforo inorgânico no lúmen, houve um aumento da eficiência de absorção intestinal desse mineral. Já, quando em altas concentrações a eficiência na absorção é menor, corroborando, no último caso, aos efeitos observados no presente estudo.

Efeito contrário também foi encontrado por Furuya et al. (2001), ao avaliarem a digestibilidade aparente de alguns alimentos para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), observaram aumento nos coeficientes de digestibilidade aparente com o aumento de fósforo não-fítico das dietas.

No presente estudo, houve aumento do fósforo digestível com o aumento dos níveis de fósforo das dietas (Tabela 3). Santos (2012) verificou que o tabaqui mostrou alta capacidade de absorção de ingredientes de origem vegetal, obtendo valores de fósforo digestível de 0,30 até 1,10% a partir dos CD Af. Nervis et al. (2015) também observaram resultados semelhantes quanto a disponibilidade de fósforo das dietas, corroborando com este estudo.

Verificou-se que o consumo de ração não variou ($P > 0,05$) entre os tratamentos. Contudo os consumos de fósforo total e digestível aumentaram de forma linear ($P < 0,01$ e $P < 0,01$) e, em contrapartida, houve uma maior excreção fecal deste mineral ($P < 0,01$) (Tabela 4).

Tabela 4 – Consumo de ração (CR), Consumo de fósforo total (CTF), consumo de fósforo digestível (CFD) e fósforo fecal excretado (PFEX) de tabaquis na fase entre 100 a 500 gramas e resumo da análise de variância, em função do nível de fósforo total da ração

Nível de fósforo total calculado (%)	Nível de fósforo total analisado (%)	Variável			
		CR (g)	CFT (g)	CFD (g)	PFEX (g)
0,41	0,61	429,41	2,61	1,63	0,98
0,60	0,82	425,72	3,49	1,30	2,20
0,79	0,99	430,81	4,28	1,81	2,47
0,98	1,25	414,84	5,20	2,11	3,08
1,17	1,38	422,15	5,82	2,37	3,45
1,36	1,43	415,10	5,95	2,41	3,55
$P > F^1$		0,7888	0,0001	0,0001	0,0001
$CV (\%)^2$		5,29	5,73	5,52	5,94

¹ $P > F$ - Significância do Teste “F” da análise de variância;

² CV – Coeficiente de variação.

Nervis et al. (2015) e Tang et al. (2012) também verificaram maior excreção fecal desse mineral com o aumento do fósforo disponível, demonstrando que a eficiência de utilização do fósforo diminuiu com a elevação da concentração dietética de fósforo, provavelmente em função da maior utilização do transporte passivo. Desta forma, torna-se desnecessário o uso de rações com níveis de fósforo acima da exigência, já que a ração se torna mais onerosa, além disso, contribui para a descarga desse mineral no meio ambiente (OLIVA-TELES e PIMENTEL-RODRIGUES, 2004).

O fósforo junto com o nitrogênio são os minerais que mais contribuem com a poluição ambiental, pois o fósforo atua como um agente eutrofizante do meio aquático. Por

isso, é de extrema importância o ajuste desse mineral nas rações às suas exigências, assegurando o desempenho zootécnico, associado a uma piscicultura sustentável.

Tabela 5 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação as para as variáveis, consumo de fósforo total (CFT), consumo de fósforo digestível (CFD) e fósforo fecal excretado (PFEX) de tambaquis na fase de engorda, em função dos níveis de fósforo total da ração

Variável	Modelo	Equação	P>F ¹	R ²
CFT (g)	Linear	$CFT = 2,095147 + 0,793806Fos$	0,0001	1,00
CFD (g)	Linear	$CFD = 1,197067 + 0,211714Fos$	0,0001	0,81
PFEX (g)	Linear	$PEX = 0,897787 + 0,492166Fos$	0,0001	0,96

¹ P>F - Significância do Teste “F” da análise de variância.

Considerando os resultados obtidos, fica evidenciado a importância dos estudos de digestibilidade do fósforo, devido à necessidade de se suplementar as rações a base de ingredientes de origem vegetal com fontes inorgânicas, o que torna esse mineral o terceiro ingrediente mais oneroso da ração. Além disso, níveis excessivos de fósforo na ração afeta sua digestibilidade, diminuindo os coeficientes de digestibilidade e a eficiência de aproveitamento, e, desta forma, aumentando sua excreção fecal no meio aquático, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas de produção.

6 CONCLUSÃO

A suplementação de fósforo inorgânico em rações para tambaquis na fase entre 100 a 500 g aumenta o teor de fósforo digestível, porém diminui os seus coeficientes de digestibilidade aparente, aumentando a excreção fecal.

REFERÊNCIAS

ABIMORAD, E.G; CARNEIRO, D.J. Métodos de Coleta de Fezes e Determinação dos Coeficientes de Digestibilidade da Fração Proteica e da Energia de Alimentos para o Pacu, *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.5, p.1101-1109, 2004.

ANSELMO, A.A.S. **Resíduos de frutos amazônicos como ingredientes alternativos em rações extrusadas para juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum*** / André Albuquerque dos Santos Anselmo (Mestrado em Biologia de Água Doce e Pesca Interior). Manaus: [s.n.], 2008.

ARAÚJO-LIMA, C.; GOULDING, M. Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia. Tefé, AM: **Sociedade Civil de Mamirauá**, Brasília: CNPq. 186p, 1998.

BALDISSEROTTO, B. Respiração e circulação. In: BALDISSEROTTO, B. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura. 2ª ed. Santa Maria: Editora **UFSM**. p.53-75, 2009.

BARAK, Y.; CYTRIN, E.; GELFAND, I. et al. Phosphorus removal in a marine prototype, recirculating aquaculture system. **Aquaculture**, v.220, p.313-326, 2003.

BOMFIM, M.A.D. Estratégias Nutricionais para Redução das Excreções de Nitrogênio e Fósforo nos Sistemas de Produção de Peixes no Nordeste: Sustentabilidade Ambiental e Aumento da Produtividade. **Revista Científica de Produção Animal**, v.12, n.2, p.122-140, 2013.

BOMFIM, M.A.D; LANNA, E.A.T. Fatores que afetam os coeficientes de digestibilidade nos alimentos para peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.1, n°1, p.20-30, julho/agosto 2004.

BRANDÃO, L.V.; TENÓRIO, G.L.O.; BRANDÃO, V.M.D.; COSTA, L.C.O.; PEREIRA JÚNIOR, G.P.; ROUBACH, R. Influência da adição de fitase em dietas para tambaqui. **Boletim Instituto de Pesca**, v.41, n.4, São Paulo, 2015.

BÜNZEN, S.; ROSTAGNO, H.S.; LOPES, D.C.; HASHIMOTO, F.A.M.; GOMES, P.C.; APOLÔNIO, L.R. Digestibilidade do fósforo de alimentos de origem vegetal determinada em suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37 n.7, p.1236-1242, 2008.

BÜNZEN, S. **Digestibilidade do fósforo de alimentos e exigência de fósforo digestível de aves e suínos**. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CARDOSO, R.S. **Caracterização da Aquicultura no Estado do Amazonas**. Monografia de Graduação. Departamento de Ciências Pesqueiras-FCA/UFAM, Manaus, 30 p, 2001.

CHO, C.Y.; SLINGER, S.J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: HALVER, J.E.; TIEWS, K., eds. 1979. **Proceedings of the World Symposium of Finfish Nutrition and Fish feed Technology**. Berlin, Germany, v.2, p.239-247, 1979.

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J.K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.68-87, 2010 (suplemento especial).

DAIRIKI, J. K.; SILVA, T. B. A. **Revisão de literatura: exigências nutricionais do tambaqui – compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, documento 91, 44p., 2011.

DE SILVA, S.S.; ANDERSON, T.A. **Fish nutrition in aquaculture**. London: Chapman & Hall, 1995.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 214p., 2012.

DIEMER, O. **Fósforo na alimentação de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) criados em tanques-rede**. Tese (Mestrado em Nutrição e Alimentação Animal) – UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2011. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/1625>> Acesso em 02 de jul. de 2016.

FERNANDES, T. R. C; DORIA, C.R.C; MENEZES, J.T.B. Características de carcaça e parâmetros de desempenho do tambaqui (*Colossoma macropomum*, CUVIER, 1818) em diferentes tempos de cultivo e alimentados com rações comerciais. **Boletim Instituto de Pesca**, v. 36, n. 1, p. 45-52, 2010.

FRACALOSSO, D.M; RODRIGUES, A.P.O.; SILVA, T.S.C; CYRINO, J.E.P. Exigências nutricionais e alimentação do tambaqui. In: FRACALOSSO, D.M; CYRINO, J.E.P., eds. **Nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis – SC: Aquabio, p.37-64, 2013.

FURUYA, W. M.; GONÇALVES, G. S.; FURUYA, V. R.B.; HAYASHI, C. Fitase na alimentação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Desempenho e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 924-929, 2001 (suplemento 1).

FURUYA, W. M.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; BOSCOLO, W. R.; CYRINO, J. E. P.; FURUYA, V. R. B.; FEIDEN, A. **Tabelas brasileiras para nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 100p., 2010.

GOMES, L.C.; SIMÕES, L.N.; ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, B. e GOMES, L.C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**, 2ª ed. Santa Maria: Editora da UFSM. p.175-204, 2010.

HEINEN, J.M.; HANKINS, J.A.; ADLER, P.R. Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet. **Aquaculture Research**, v.27, p.699-710, 1996.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, v.43, p.01-49, 2015.

KITAGIMA, R.E. **Digestibilidade da matéria seca, energia, proteína e aminoácidos pelo catfish americano, *Ictalurus punctatus***. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de

Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93219/266458.pdf?sequence=1>> Acesso em 26 de dez. de 2017.

KUBTIZA, F. Coletânea de informações aplicadas ao cultivo do tambaqui, do pacu e de outros peixes redondos. **Panorama da Aquicultura**, 14: 27-39, 2004.

KUZ'MINA, V. Classical and modern concepts in fish digestion. In: CYRINO, J.E.P.; BUREAU, D.P.; KAPOOR, B.G. (Eds.) **Feeding and digestive functions of fishes**. Enfield, NH: Science Publishers, p.85-154, 2008.

LALL, S.P. The Minerals. In: Halver, J.E. & Hardy, R.W. Eds. **Fish Nutrition**, Third Edition, Elsevier Science (USA), p.259-308, 2002.

LÔBO JR, M.F.; REZENDE, A.S.C.; SALIBA, E.O.S.; SAMPAIO, I.B.M. Coeficientes de digestibilidade aparente pelos métodos de indicadores e coleta total de fezes em cães. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.53, n.6, p.691-694, 2001.

LÖSCH, J.A. **Digestibilidade aparente de rações contendo diferentes níveis de fósforo para pacus (*Piaractus mesopotamicus*)**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, 2013. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/1531>> Acesso em 02 de out. de 2017.

McDOWELL, L.R. **Minerals in animal and human nutrition**. Academic Press Limited, San Diego, California, 524p., 1992.

MENDONÇA, P.P.; COSTA, P.C.; POLESE, M.F.; VIDAL JR, M.V.; ANDRADE, D.R. Efeito da suplementação de fitase na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, v.61 (235), p.437-448, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Washington: National Academy of Science, 376p., 2011.

NERVIS, J.A.L.; FEINDEN, A.; MORO, E.B.; MORENO, M.C.; KLEIN, S.; BOSCOLO, W.R. Apparent digestibility of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) diets containing different levels of phosphorus. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 36, núm. 2, p. 4553-4563 Universidade Estadual de Londrina - Londrina, Brasil, 2015.

NUNES, E.S.S.; CAVERO, B.A.S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p.139-143, 2006.

OLIVA-TELES, O.; PIMENTEL-RODRIGUES, A.M.P. Phosphorus requirements of European sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) juveniles. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 636-642, 2004.

PEZZATO, L.E., ROSA, M.J.S., BARROS, M.M. GUIMARÃES, I.G. Exigência em fósforo disponível para alevinos de tilápia do Nilo. **Ciência Rural**, v.36, n.5. p.1600-1605, 2006.

PONTES, T. C.; CAGOL, L.; DUTRA, F. M.; PORTZ, L. Disponibilidade do fósforo em alimentos de origem vegetal: atuação na nutrição de peixes. **Arquivos de Ciências Veterinária e Zoologia UNIPAR**, Umuarama, v. 18, n. 3, p. 199-205, jul./set. 2015.

QUINTERO-PINTO, L.G. **Exigências dietárias e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápia do nilo em três fases de desenvolvimento**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista - Botucatu, 2008. Disponível em: <https://alsafi.ead.unesp.br/bitstream/handle/11449/104062/pinto_lgq_dr_botfmvz.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 06 de mai. de 2016.

QUINTERO-PINTO, L.G.; PARDO-GAMBOA, B.S.; QUINTERO-PARDO, A.M.C.; PEZZATO, L.E. Exigências e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápias. **Veterinária e Zootecnia**, v.2, n.5, p.30-43, 2011.

RIBEIRO, F.B. **Níveis de fósforo total em dietas para alevinos de tilápia do Nilo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2005. Disponível em: <<http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/zootecnia/2005/190374f.pdf>> Acesso em 17 de out. de 2016.

ROCHA, M.K.H.R. **Cálcio e fósforo para juvenis da tilápia-do-nilo**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138299/rocha_mkhr_dr_bot.pdf?sequence=3> Acesso em 28 de set. de 2017.

RODRIGUES, A.P.O. Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Boletim Instituto de Pesca**, v.40, n.1, São Paulo, 40(1): 135 – 145, 2014.

ROSTAGNO, R. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. G.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. E EUCLIDES, R. F. 2011. **Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 141p, 2011.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, O. S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. **Ed. Jaboticabal: FUNEP**, 93 p, 2007.

SANTOS, E.L. **Avaliação do farelo de coco e farelo de resíduo de goiaba na alimentação de tilápia do Nilo**. 71 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007. Disponível em: <<http://tede2.ufrpe.br:8080/tede/handle/tede2/6738>>. Acesso em: 12 de jun. de 2016.

SANTOS, J.G.A. **Exigência em fósforo digestível para tambaqui (Colossoma macropomum)**. [manuscrito] / Janaína Gomes Araújo Santos. Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, 2012. Disponível em: https://ppgca.evz.ufg.br/up/67/o/Tese2012_Janaina_Santos.pdf Acesso em: 25 de jun. de 2016.

SENA, M. F. **Digestibilidade aparente de alimentos para Tambaqui (*Colossoma macropomum*)** [manuscrito] / Monaliza Freitas Sena. Goiânia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/893?locale=pt_BR> Acesso em 03 de set. 2017.

SILVA, J.A.M.; FILHO, M.P.; PEREIRA, M.I.O. Frutos e Sementes Consumidos pelo Tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) Incorporados em Rações. Digestibilidade e Velocidade de Trânsito pelo Trato Gastrointestinal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n. 6, p. 1815-1824, 2003 (Suplemento 2).

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 2002. 525p.

TANG, Q.; WANG, C.; XIE, C.; JIN, J.; HUANG, Y. Dietary Available Phosphorus Affected Growth Performance, Body Composition, and Hepatic Antioxidant Property of Juvenile Yellow Catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. **The Scien. World Journal**, 2012. doi:10.1100/2012/987570. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/987570/abs/>>.

VIDAL JUNIOR, M. V. **Técnicas de determinação de digestibilidade e determinação de digestibilidade de nutrientes de alimentos para tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Viçosa, MG: UFV. 96p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Viçosa, 2000.