

Jorge Filipe Banze

**Silagem ácida de vísceras de atum em dietas para juvenis de jundiá
(*Rhamdia quelen*): digestibilidade e desempenho em diferentes
níveis de substituição à farinha de peixe**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do grau de Mestre em Aquicultura.

Orientadora: Dra. Débora Machado Fracalossi
Coorientadora: Dra. Dariane Beatriz Schoffen Enke

Florianópolis – SC
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Banze, Jorge Filipe

Silagem ácida de vísceras de atum em dietas para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*): digestibilidade e desempenho em diferentes níveis de substituição à farinha de peixe / Jorge Filipe Banze ; orientadora, Débora Machado Fracalossi ; coorientadora, Dariane Beatriz Schoffen Enke. - Florianópolis, SC, 2015.

82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Resíduos de pescado. 3. Silagem. 4. Hidrólise. 5. *Rhamdia quelen*. I. Fracalossi, Débora Machado. II. Enke, Dariane Beatriz Schoffen. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

**Silagem ácida de vísceras de atum em dietas para juvenis de jundiá
(*Rhamdia quelen*): Digestibilidade e desempenho em diferentes
níveis de substituição à farinha de peixe**

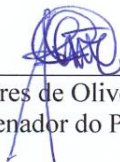
Por

JORGE FILIPE BANZE

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de
Pós-Graduação em Aquicultura.



Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



Dra. Débora Machado Fracalossi – *Orientadora*



Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez



Dr. Giuliano Palémão Carlos Maia Huergo



Dra. Lia Ferraz de Arruda Sucasas

Dedico este trabalho aos meus colegas do LabNutri, com os quais aprendi bastante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, meu protetor.

Agradeço aos meus pais, Garcia Banze e Rosalina Massinga, pela humilde e valiosa educação que com carinho e amor moldaram a personalidade que represento.

Agradeço à Professora Débora Machado Fracalossi, pelos ensinamentos e conhecimentos repassados, pela paciência, pela pessoa muito querida e carinhosa que é com todos.

Agradeço a minha co-orientadora, Professora Dariane Beatriz Schoffen Enke, pela prontidão em ajudar, pela transmissão de conhecimentos valiosos, pelos incentivos que em todo momento me encorajaram a avançar.

Agradeço a assistente de projetos do LabNutri, Sônia Rejane pela excelente profissional que é, pela simplicidade e amor ao próximo que sempre demonstrou.

Ao Professor Álvaro Bicudo, por me incentivar a fazer o curso de mestrado em nutrição de peixes.

Agradeço aos meus amigos, que mesmo distante desejaram me força e estiveram do meu lado, Sara Tembe, Stélio Manguê, Felício Guelume, Maló Guelume, Neusa Zunguene, Vanessa Gonçalves, Finoca, Enoque Zita.

Agradeço ao meu velho amigo Manecas Baloi, por ter me recebido, quando da minha chegada no Brasil e pelos convívios e prosas de constante aprendizado. Agradeço igualmente à Carla Fonseca, seus maravilhosos filhos pela amizade e brincadeiras que só vão deixar saudade.

À Alessandra Giacometti, pela pessoa especial que é, pelos momentos vividos e valores transmitidos, meu eterno obrigado.

Ao Ilzo Fonseca e Eloisa Rosalen, com os quais compartilhei casa, amizade, experiências e muitas gargalhadas. Muito obrigado!

Agradeço igualmente à Dona Joana, Manuel Taque, Hélio Maúngue, Simão Zacarias, Jonas Matsinhe, Nadir Mahomed, Marco Diniz, Lusitâneo Macuvele, Hélder Pires, Ezra Nhampoca, Policarpo Matiquite, Eduardo Sigaúque, Crisóstomo Nhambire, Jamil Salimo, Vera Gasparetto, Mariana Cândido, Danis Moreno, Bianca Richter, Tiago Poltronieri, Carol Poltronieri e Priscila Policarpi, pela amizade.

Aos amigos e companheiros do LABNUTRI: Adriano Machado, Vítor Giatti, Jefferson Rotta, Fernando Brignol, Luiz Eduardo de Freitas, Natália do Espírito Santo, Liziane Muffato, Renata Nobrega,

Bruno Pierri, Maria Fernanda, Yuri Gauglitz, Tatiana Poletto, Lucas de Oliveira, Ana Mercadante, Allan da Silva, Tharniê de Matos e Janice de Souza, sem os quais este trabalho não seria o mesmo. Às técnicas que passaram pelo LABNUTRI, Sabrina de Carvalho, Bruna Mattioni e Amarílis Scremin, pela amizade, ajuda e convívio no laboratório.

Aos professores e colegas do LAPAD, pelo apoio em todos os momentos e por estarem sempre presentes, Dr. Evoy Filho, Dr. Alex Nuñez, Patrick, Luciano Weiss, Jhon Jimenez, Gicella Barros, Mariana de Abreu, Jade Oliveira, Mariana de Abreu e Carolina Hope, pelo convívio e por estarem sempre prontos para ajudar.

Ao Secretário da Pós-graduação, Carlito Klunk pela ajuda e profissionalismo.

A todos não citados que, de alguma forma contribuíram para a execução e realização deste trabalho.

"Todo progresso acontece fora da zona de conforto".

(Michael John Bobak)

RESUMO

Resíduos de pescado processados na forma de silagem podem se constituir em uma alternativa ao uso de farinha de peixe (FP), devido ao seu alto valor nutritivo e biológico na alimentação de peixes. Este estudo visa caracterizar a composição e qualidade da silagem ácida de vísceras de atum (SAVA), determinar a digestibilidade de nutrientes, bem como avaliar a resposta zootécnica do jundiá (*Rhamdia quelen*), quando alimentado com dietas contendo níveis crescentes de SAVA. Ao final de trinta dias, 61,74% da proteína bruta (PB) da SAVA estava solubilizada. O ensaio de digestibilidade foi realizado com jundiás fêmeas ($272,58 \pm 20,04$ g), utilizando-se o método indireto. No ensaio de desempenho, três grupos de 20 juvenis de jundiá ($15,64 \pm 1,26$ g) foram alimentados com níveis crescentes (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) de substituição proteica de FP pela SAVA. A digestibilidade da PB foi similar (88,52%) para SAVA e FP, mas a da matéria seca foi maior ($P < 0,05$) para a SAVA (92,20%). Ao final de 45 dias, o ganho em peso dos peixes respondeu negativamente ($P < 0,05$), de forma linear, à substituição proteica de FP por SAVA. O mesmo ocorreu para a taxa de crescimento específico, consumo alimentar diário, taxa de retenção proteica e conversão alimentar. A sobrevivência esteve acima dos 85% em todos tratamentos. Apesar da boa qualidade e composição da SAVA, o jundiá responde de forma negativa ao aumento de níveis de SAVA nas dietas com grau de solubilidade proteica de 61,74%. Mais estudos devem ser realizados sobre o tema, focando em SAVA com diferentes graus de hidrólise proteica, bem como na quantificação das frações solúveis peptídeos e aminoácidos livres.

Palavras-chave: Aquicultura. Resíduos de pescado. Silagem. Hidrólise. *Rhamdia quelen*.

ABSTRACT

Fish waste processed as silage may constitute an alternative to the use of fishmeal (FP) in aquafeeds due to its high nutritional and biological value. This study aims to characterize the composition and quality of the acid silage from tuna viscera (SAVA), to determine the digestibility of nutrients, as well as evaluating the growth response of silver catfish (*Rhamdia quelen*), when fed diets with increasing levels of SAVA. Acid silage was produced from tuna viscera and at the end of thirty days, 61.74% crude protein was solubilized. The digestibility assay was performed with silver catfish females (272.58 ± 20.04 g) by an indirect method, using chromium oxide as inert marker and feces collection by sedimentation. In the growth assay, three groups of 20 juvenile catfish (15.64 ± 1.26 g) were fed increasing levels (0, 20, 40, 60, 80 and 100%) of protein replacement of FP with SAVA. The digestibility of crude protein was similar (88.52%) for SAVA and FP, but the dry matter was higher ($P < 0.05$) for SAVA (92.20%). At the end of 45 days, fish weight gain decreased ($P < 0.05$) linearly as the protein replacement increased. The same response was registered for specific growth rate, daily food intake, protein retention rate, and feed conversion. Survival was above 85% in all treatments. Despite SAVA's good quality and composition, catfish responds negatively to increased SAVA levels in diets with 61.74% protein solubility. More studies should be conducted on the subject, focusing on SAVA with varying degrees of protein hydrolysis and on quantifying SAVA's soluble peptides and free amino acids.

Keywords: Aquaculture. Fish waste. Silage. Hydrolysis. *Rhamdia quelen*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal de silagens ácidas de pescado	29
Tabela 2. Trabalhos realizados sobre utilização de silagens em dietas para peixes.....	32
Tabela 3. Composição centesimal dos ingredientes proteicos utilizados na confecção das dietas experimentais (base úmida). Média e desvio padrão de três repetições.....	45
Tabela 4. Composição das dietas experimentais utilizadas no ensaio de digestibilidade com juvenis de jundiá (base seca).....	46
Tabela 5. Formulação e composição das dietas experimentais com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum (valores expressos na matéria seca).....	48
Tabela 6. Composição centesimal (base seca) da matéria prima e silagem de atum produzida durante 30 dias. Média e desvio padrão de três repetições.....	52
Tabela 7. Análise microbiológica da matéria-prima (vísceras de atum) e silagem de atum.....	52
Tabela 8. Concentração de aminas biogênicas na matéria-prima (vísceras de atum) e silagem de atum.....	53
Tabela 9. Composição de ácidos graxos (em % da fração lipídica) da silagem de atum.....	53
Tabela 10. Aminograma dos ingredientes proteicos utilizados.....	54
Tabela 11. Índices de peróxidos e acidez das dietas experimentais.....	54
Tabela 12. Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da matéria seca das dietas experimentais, após 55 dias de coleta de fezes.....	55
Tabela 13. Variáveis de desempenho de juvenis de jundiá alimentados com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum. Média e erro padrão de três repetições ¹	56
Tabela 14. Composição corporal (na matéria úmida) inicial e final de juvenis de jundiá, alimentados com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum, durante 45 dias ^{1,2}	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária;
BHA: butil hidroxi anisol;
BHT: butil hidroxi tolueno;
CDA: Coeficiente de digestibilidade aparente;
FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;
FP: Farinha de peixe;
HPLC: *High Performance Liquid Chromatography* (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência);
KOH: Hidróxido de potássio;
Ln: Logaritmo natural;
Meq: miliequivalente;
NaOH: Hidróxido de Sódio;
NNP: Nitrogênio não proteico;
NRC: National Research Council;
P: Probabilidade;
PB: Proteína bruta;
pH: potencial hidrogeniônico;
SAVA: Silagem ácida de vísceras de atum;
UV: Ultra violeta.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
Silagem de pescado como ingrediente proteico alternativo	23
Qualidade de silagem de pescado.....	25
Solubilização proteica de silagem de pescado	28
Valor nutricional da silagem e sua utilização em dietas para peixes.	29
O jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	34
Digestibilidade de nutrientes para o jundiá	35
3. JUSTIFICATIVA	36
4. OBJETIVOS	37
ARTIGO CIENTÍFICO.....	39
INTRODUÇÃO	41
MATERIAL E MÉTODOS.....	43
Silagem ácida: preparo, composição, qualidade e solubilidade proteica	43
Preparação de dietas experimentais.....	44
Dietas para o ensaio de digestibilidade	45
Dietas para o ensaio de crescimento	47
Condições experimentais e manejo dos peixes	48
Ensaio de digestibilidade	49
Ensaio de crescimento	49
Coleta de amostras e análises laboratoriais	50
Análise Estatística	51
RESULTADOS	51
Composição centesimal da silagem de vísceras de atum	51
Qualidade microbiológica da silagem de atum	52
Concentração de aminos biogênicas.....	52
Contaminação da silagem por elementos químicos tóxicos	53
Composição dos ácidos graxos da silagem	53
Perfil de aminoácidos dos ingredientes proteicos utilizados	53
Oxidação lipídica nas dietas experimentais.....	54

Solubilidade proteica na silagem de vísceras de atum	55
Ensaio de digestibilidade	55
Ensaio de crescimento	55
Composição corporal	58
DISCUSSÃO	59
AGRADECIMENTOS.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL..	75
ANEXO.....	81

1. INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura, que inclui a criação de animais e o cultivo de plantas em ambientes aquáticos, não difere de qualquer outra atividade agropecuária terrestre, em que a produção depende totalmente da provisão e fornecimento de nutrientes (TACON; METIAN, 2008). Em piscicultura, os custos com alimento geralmente variam de 30 a 60%, dependendo da intensidade da operação, podendo superar 85% dos custos totais de produção em sistemas intensivos (SILVA; ANDERSON, 1995). Com o incremento da produção de peixes no mundo e o alto custo de ingredientes utilizados nas rações, principalmente os proteicos, são constantes as buscas por fontes protéicas alternativas de menor custo que proporcionem bom desempenho e qualidade de carcaça, sem causar prejuízo ao ambiente.

A farinha de peixe, ingrediente proteico, tem alta palatabilidade e é uma excelente fonte de aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais (CRUS-SUARÉS et al. 2009; VALLE et al. 2015), porém o aumento na sua demanda, implica aumento no seu custo (VALLE et al. 2015). O aumento desse preço se deve à combinação de diferentes fatores, incluindo 1) a estagnação global das capturas pesqueiras, 2) a alta demanda pela farinha de peixe pela aquicultura nos principais países importadores como a China (FAO/GLOBEFISH, 2007; GAIN 2007; HONGILE, 2007; TACON 2007; TACON e NATES, 2007; TACON e METIAN, 2008), e 3) aumento dos preços globais de petróleo e energia (FAO, 2008b; IFFO, 2008; TACON e METIAN, 2008). Na China, o efeito do aumento do preço da farinha de peixe se mostra evidente através da sua substituição em formulações de rações. De 2005 a 2006, registrou-se um decréscimo nos níveis de inclusão de farinha de peixe em rações para enguia (de 70 a 55%), para peixes marinhos (de 40 a 30%), para camarões (de 35 a 25%) e para peixes de água doce (de 20 a 10%). Prevê-se que o uso de farinha de peixe de 2006 a 2020 decresça em 37,7% para camarões, 31,3% para peixes marinhos, 47,2% para salmão, 44,1% para trutas, 57,0% para carpas, 48,0% para enguias, 26,2% para crustáceos de água doce e 34,1% para tilápias (TACON; METIAN, 2008).

São vários os ingredientes alternativos estudados para a substituição da farinha de peixe. Os de origem vegetal como a soja, canola e algodão (LIM et al. 1997; ALVAREZ et al. 20007; SUÁREZ et al. 2009; VALLE et al. 2015) porém, esses ingredientes possuem fatores antinutricionais, deficiências em aminoácidos, além de baixa palatabilidade, o que restringe o seu uso (DAVIS e ARNOLD 2000;

NUNES et al. 2006; GATLIN et al. 2007; VALLE et al. 2015). Alimentos com potencial para uso em substituição a farinha de peixe são os resíduos de pescado gerados em parte pelas capturas pesqueiras e pela indústria processadora e beneficiadora de pescado. Os resíduos de pescado são constituídos basicamente por peixes fora do tamanho desejado, cabeças, ossos, vísceras, barbatanas, sobras de filé, que a princípio não são destinados à alimentação humana e podem constituir problema sanitário ambiental se descartados de forma não correta. Uma opção ao descarte seria o aproveitamento desses resíduos na alimentação animal. Existem técnicas de processamento de resíduos de pescado que permitem a sua conservação e incorporação como ingrediente em rações animais, tais como silagem (ESPE et al. 1999).

A silagem é definida como um produto semi-líquido, produzido a partir de resíduos de pescado, em que ácidos, enzimas ou bactérias produtoras de ácido lático são adicionados de forma a promover hidrólise proteica e a liberação de peptídeos e aminoácidos livres (FAO, 2007; OETTERER, 2006; ARRUDA et al. 2009). O valor nutricional da silagem de pescado para a alimentação animal está na elevada digestibilidade, devido ao alto grau de hidrólise proteica e à presença de aminoácidos essenciais (OETTERER, 1994). Vários são os estudos que revelam a qualidade da silagem de peixe como adequada e como suplemento de proteína para dietas aquícolas (BUENO; FERNANDES, 2006). A utilização de silagem de pescado na alimentação de peixes tem sido estudada. A semelhança da composição desta fonte proteica com a matéria-prima, além do seu baixo custo, justificam seu potencial para utilização na aquicultura, principalmente quando comparado à utilização da farinha de peixe (DISNEY et al. 1977; FAGBENRO e JAUNCEY, 1994). Além disso, representa uma forma de utilização de resíduos industriais, gerando aumento da receita e solucionando problemas ambientais (BUENO; FERNANDES, 2006).

Dentre as diversas espécies nativas brasileiras com potencial para a piscicultura está o jundiá (*Rhamdia quelen*). Apresenta grande aceitação pelo mercado consumidor devido à sua carne saborosa e ausência de espinhos intramusculares (CARNEIRO; MIKOS, 2005), além de apresentar crescimento nos períodos de inverno, o que é interessante para os piscicultores da região Sul do Brasil. Devido ao crescente interesse na criação comercial de jundiá, os estudos sobre a nutrição desta espécie aumentaram nos últimos anos (MEYER; FRACALOSSO, 2004). Entretanto, poucos são os estudos realizados sobre a inclusão de silagem de resíduo de pescado em dietas para o jundiá, como o realizado por Enke et al. (2009), em que foi realizada a

substituição de levedura de cana por silagem ácida, produzida a partir de rejeitos de birú (*Cyphocharax voga*) em dietas para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*). A realização deste estudo visa contribuir com conhecimento sobre a digestibilidade de nutrientes de silagem ácida de vísceras de atum, bem como avaliar a resposta zootécnica do jundiá, quando alimentado com dietas contendo níveis crescentes de silagem ácida de vísceras de atum, em substituição a farinha de peixe.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Silagem de pescado como ingrediente proteico alternativo

A farinha de peixe é tradicionalmente considerada uma fonte de proteína importante em dietas aquícolas, quer para espécies carnívoras ou onívoras e muitas formulações ainda tem a farinha de peixe incluída em níveis acima de 50% (GLENCROSS et al. 2007). Cabe ressaltar que a dependência por qualquer ingrediente apresenta riscos consideráveis associados ao fornecimento, flutuações de preço e qualidade. Como estratégia para reduzir este risco, a identificação, desenvolvimento e uso de alternativas para a farinha de peixe em dietas de aquicultura continua a ser uma alta prioridade. No futuro, dietas para peixes incluirão uma ampla variedade de ingredientes alternativos à farinha de peixe. Entretanto, muitos desses ingredientes são complexos e necessitam de uma avaliação cuidadosa sobre sua digestibilidade, palatabilidade e utilização, de forma a determinar seu valor nutricional e seu uso apropriado nas formulações comerciais (GLENCROSS et al. 2007).

De acordo com Oetterer (1994), são chamados de resíduos da indústria pesqueira os produtos impróprios para o consumo humano e incluem as capturas ou mesmo subprodutos e as sobras do processamento de alimentos com baixo valor de mercado, que podem ser carcaças fora do tamanho para descasque mecânico ou manual, carne escura, vísceras, cabeças e pescado descartado. Esta matéria-prima apresenta características bioquímicas importantes como enzimas, ácidos graxos e aminoácidos, o que a torna interessante para a nutrição animal.

Os resíduos da indústria de pescado podem ser submetidos ao processo de produção de silagem. Segundo Oetterer (1994), silagem de pescado é um produto liquefeito preservado por ação de ácidos ou por fermentação microbiana. A silagem de pescado não é um produto novo. A sua produção surgiu nos países escandinavos, sendo a Suécia o primeiro a produzir silagem de pescado em 1936, em experimentos com a utilização de misturas de ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ácido

fórmico, além da adição de outros ingredientes como o melaço (DISNEY e JAMES, 1980; JUNIOR e SALES, 2013). Nos anos 40, a silagem foi produzida em vários países como a Austrália (BATTERMAN e GORMAN, 1980; JUNIOR e SALES, 2013), Canadá (FREEMAN e HOOGLAND, 1956; JUNIOR e SALES, 2013), Reino Unido (TATTERSON; WINDSOR, 1974), Noruega e Alemanha (STROM; EGGUM, 1981), sendo que somente na Polônia, Noruega e Dinamarca o processamento alcançou escala comercial (JUNIOR e SALES, 2013). Mais tarde, na Ásia, a silagem serviu como forma de aproveitamento de perdas de captura bem como de pescado de baixo valor comercial, com investimento pequeno, prevenindo problemas de poluição ambiental (PETERSEN, 1953; POULTER et al., 1980; VAN WYK et al., 1985; JUNIOR e SALES, 2013).

Existem três principais métodos utilizados na produção da silagem de pescado: 1) silagem ácida ou química, a qual faz o uso da adição de ácidos minerais ou orgânicos como os ácidos fórmico, clorídrico, sulfúrico, acético ou propiônico ao pescado triturado (OETTERER, 1994); 2) silagem biológica, obtida pela adição de microrganismos produtores de ácido láctico juntamente com fontes de carboidratos ao pescado triturado (LINDGREN e PLEJE, 1983; STROM e EGUUM, 1981) e 3) silagem enzimática, obtida pela liquefação da massa de pescado triturada por meio da adição de enzimas proteolíticas (KOMPIANG, 1981; JUNIOR e SALES, 2013). Esses métodos possibilitam também a produção de hidrolisados proteicos, que visam aproveitar as propriedades funcionais e biológicas dos resíduos de pescado ou subprodutos de indústrias de processamento de pescado.

Entretanto, a silagem de pescado e o hidrolisado proteico não são o mesmo produto. A produção de hidrolisados proteicos requer tecnologias e maquinário específicos, tornando o processo mais caro que a produção de silagem já que, envolve apenas a moagem e adição de um ácido. O hidrolisado proteico é um produto constituído por aminoácidos livres e peptídeos que apresentam uma vasta gama de massas moleculares resultantes do maior e menor grau de hidrólise das proteínas, (GONÇALVES, 2011). Os hidrolisados proteicos podem apresentar maior ou menor grau de hidrólise das proteínas, dependendo da temperatura e método aplicados, resultando em maior ou menor grau de compostos solúveis como peptídeos e aminoácidos livres. Porém, nos ensilados o controle da hidrólise das proteínas é muito difícil, não permitindo a obtenção de produtos com um padrão de qualidade uniforme. É igualmente um processo mais lento do que os hidrolisados com as enzimas exógenas, as quais podem ser escolhidas de acordo com

as características do produto a obter. Nos ensilados, os lipídios sofrem também alterações profundas de oxidação e formação de ácidos gordos livres, enquanto que nos hidrolisados a formação de ácidos graxos livres é limitada, situando-se em 2 a 3%, (GONÇALVES, 2011).

Na produção da silagem ácida, a adição de ácidos visa inibir o crescimento de bactérias e proporcionar um pH ótimo para atuação das enzimas. Para que ocorra a completa inibição microbiana é necessário que o pH seja mantido a menos de 4,5 conforme o ácido utilizado (OETTERER, 1994). Nesse processo, as proteínas são hidrolisadas pelas enzimas do próprio pescado, tornando o nitrogênio mais solúvel. A proteólise da pele e vísceras é maior durante as primeiras 24 h, sendo que o teor de solúveis totais aumenta de 10 a 20 % nos primeiros dias de estocagem a, por exemplo, 23 °C. Passados dez dias, o aumento é de 75 % e um mês depois, de 85 %. Segundo Backhoff (1976), a degradação resulta num aumento no nível dos componentes não proteicos como aminoácidos livres, amônia, mono e dimetilaminas. A hidrólise ácida permite atingir rendimentos mais elevados (GONÇALVES, 2011).

Na tentativa de minimizar os custos de produção de silagem ácida, estudos relatam a mistura de ácidos minerais e orgânicos como o ácido fórmico e ácido sulfúrico, por períodos longos de armazenagem, de forma a baixar o pH e aumentar a ação bacteriostática (DISNEY et al. 1978; JUNIOR e SALES, 2013). Os autores Beraquet e Galacho (1984) concluíram ser suficiente preservar a silagem de peixe inteiro e resíduo de camarão, com a adição de 3% de ácido fórmico a 90%, durante 30 dias. Já Strom e Eggum (1981), trabalhando com vísceras de peixe trituradas e misturadas com ácidos fórmico e propiônico (1:1, p/p), concluíram que as mesmas sofreram autólise entre 2 a 3 dias a uma temperatura de 30°C. Junior e Sales (2013) ressaltam que a trituração da matéria-prima previamente à adição do agente acidificante é extremamente importante no preparo da silagem ácida de pescado, de forma a se ter um produto estável e com boas características de armazenamento.

Qualidade de silagem de pescado

A silagem de pescado contém um nível elevado de aminoácidos livres, os quais podem ter um valor nutritivo inferior se comparado a proteínas intactas com a mesma composição, já que alguns aminoácidos são instáveis quando livres, mas estáveis quando ligados em proteínas. Devido à degradação de proteína, aminoácidos livres como o triptofano, metionina e histidina são os mais sensíveis à decomposição durante o

período de armazenamento (HERTRAMPF; PIEDAD-PASCUAL, 2000). Portanto, se o grau de autólise é elevado, dietas com um alto nível de inclusão de silagem podem apresentar um déficit nestes aminoácidos (RAA; GILBERG, 1982).

As enzimas proteolíticas presentes nas vísceras continuam ativas mesmo após a morte do pescado, sendo responsáveis, junto com as bactérias, pela deterioração do pescado. Segundo Tatterson e Windsor (1974), as células do tecido muscular do pescado contêm pequenas organelas celulares denominadas de lisossomas que possuem no seu interior um grande número de enzimas hidrolíticas como catepsinas, fosfatases, nucleases, lipases, proteases e colagenases, cuja a faixa de pH de atuação ótima é a ácida. Tais condições criadas pelo baixo pH, causam o rompimento do lisossoma, liberando as enzimas nela contidas, iniciando-se a hidrólise de proteínas bem como a formação de pequenas quantidades de pirimidinas e bases purínicas, provenientes da desintegração dos ácidos nucléicos e lipídios, constituindo-se o processo de autólise (RAA; GILBERG, 1982).

Após a morte do pescado, pode ocorrer a deterioração da proteína. Nesse processo, pela ação das enzimas, ocorre primeiramente a hidrólise das ligações peptídicas, liberando aminoácidos livres. Estes posteriormente poderão sofrer desaminação, formando amônia e compostos contendo carbono, que poderão ser utilizados no ciclo do ácido cítrico para a produção de energia ou ainda sofrer descarboxilação, formando aminas biogênicas e gás carbônico (LASZLO et al. 1986; GIATTI; ENKE; FRACALOSSO, 2011). Através deste processo, a tirosina produz a tiramina, a histidina produz histamina, a lisina, cadaverina. Considerando que as aminas biogênicas são metabólitos de origem bacteriana e resistentes ao tratamento térmico, sua presença constitui-se num bom indicador da qualidade da matéria-prima para a produção de silagens de pescado (GLORIA, 2006).

A oxidação lipídica é um dos principais fatores de deterioração da qualidade de silagem de pescado principalmente quando esta é armazenada durante um longo período de tempo. Pode resultar em rancidez, alterações de flavor, cor, textura, valor nutritivo e produção de componentes tóxicos (ALLEN; FOEGEDING, 1981; JUNIOR e SALES, 2013). O processo de oxidação lipídica origina hidroperóxidos que são produtos primários, os quais não causam problemas de sabor e ranço, pois são estáveis em solventes orgânicos, entretanto, sua decomposição em produtos secundários tais como hidrocarbonetos, álcoois, grupos carbonil, cetonas e aldeídos, influenciam significativamente o valor nutritivo das silagens de pescado. Reações

entre proteínas e lipídios oxidados podem ocorrer, durante o armazenamento de silagem (KANNER, 1967; FUNNIS et al. 1982; JUNIOR e SALES, 2013). Ligações covalentes entre produtos oxidados e proteínas podem destruir aminoácidos como o triptofano, oxidar a metionina, ligar a lisina a outros compostos, tornando estes aminoácidos indisponíveis (NELSON e COX, 2000; BORGHESI, 2004). Essas interações acabam influenciando as propriedades nutricionais e funcionais de silagens e quanto maior for a instabilidade dos ácidos graxos, maior é a oxidação lipídica. Os grupos carbonil podem reagir com proteínas e assim causar alguma redução da palatabilidade (KOMPIANG, et al. 1980; RAA e GILBERG, 1982), o que pode interferir na aceitabilidade das dietas contendo silagens. A proporção desses produtos de oxidação varia extensivamente, dependendo da composição dos ácidos graxos nos lipídios (GRAY, 1978; JÚNIOR e SALES, 2013).

Um dos fatores que está diretamente ligada à aceitação final do produto na alimentação animal é a rancidez. Existem dois tipos de rancidez: a hidrolítica e oxidativa (BOBBIO e BOBBIO, 1992; GIATTI; ENKE; FRACALOSSI, 2011). A rancidez hidrolítica se refere à hidrólise de óleos e gorduras que ocorre na ligação éster de moléculas de triglicerídeos, com produção de ácidos graxos livres. Essa hidrólise pode ser por processo enzimático animal, vegetal, ou bacteriano. A rancidez hidrolítica é o principal parâmetro para avaliar a qualidade de óleos e gorduras e é mensurada pelo índice de acidez, que é o volume necessário para uma base forte (KOH ou NaOH) neutralizar ácidos graxos livres presentes em 1 g de amostra (MORETTO et al. 2002; GIATTI; ENKE; FRACALOSSI, 2011). Já a rancidez oxidativa se refere à oxidação que pode ocorrer em ácidos graxos insaturados. Quanto maior o número de duplas ligações, maior a facilidade de ocorrer a rancidez oxidativa, que pode ser por autooxidação (COULTATE, 2004; GIATTI; ENKE; FRACALOSSI, 2011), fotoxidação ou catálise enzimática (MORETTO et al., 2002; GIATTI; ENKE; FRACALOSSI, 2011). A oxidação de ácidos graxos saturados é rara, ocorrendo apenas em condições extremas de temperatura, devido à alta energia de ativação exigida. O índice de peróxidos é normalmente determinado pelo método iodométrico, sendo expresso em miliequivalente (meq) de peróxidos por quilograma de gordura (OCKERMAN, 1978; RAA e GILBERG, 1982). O índice de peróxido é um dado analítico bastante útil, uma vez que a gordura oxidada em rações causa a perda de apetite, diminuindo o ganho em peso ou mesmo a morte se o valor de peróxidos exceder 100 meq por quilograma de

dieta, (DUGAN, 1975; BARLOW e PIKE, 1977; RAA e GILBERG, 1982). Entretanto, uma matéria-prima totalmente oxidada pode resultar em índice de peróxido baixo, podendo levar a interpretações errôneas.

Para inibir a formação de peróxidos convém utilizar substâncias antioxidantes como o tocoferol, etoxiquim, butil-hidroxi-tolueno (BHT) e butil-hidroxi anisol (BHA). A ação antioxidante pode se dar de várias formas, quer ligando-se competitivamente ao oxigênio, inibindo catalizadores ou ainda estabilizando os peróxidos.

Os resíduos de pescado utilizados para a produção de silagens podem apresentar teores de poluentes ou contaminantes ambientais tóxicos como metais pesados, sendo que o seu monitoramento em ingredientes como a silagem também é necessário. Silagens de pescado podem também conter altos níveis de cádmio, chumbo, crômio, mercúrio que podem se acumular nos tecidos corporais e produzir uma carcaça de peixe não adequada ao consumo humano, (BATTERHAM et al., 1983; HERTRAMPF e PIEDAD-PASCUAL, 2000).

Solubilização proteica de silagem de pescado

Durante o processo de silagem as proteínas são hidrolisadas, tornando o nitrogênio mais solúvel. A extensão da autólise proteica solúvel é expressa em nitrogênio não proteico (NNP) e é constituída basicamente de peptídeos de baixo peso molecular e aminoácidos livres. A fração solúvel pode ser quantificada pela ação do ácido tricloroacético (40%) em 1 g de amostra. Nesta reação, o ácido precipita a fração de nitrogênio proteico, sendo que a fração solúvel não é precipitada. A relação entre o nitrogênio não proteico (presente na fração solúvel) e o nitrogênio total representa o índice de grau de solubilização proteica da silagem, sendo expresso em percentagem (BACKHOFF, 1976). Hall et al. (1985) observaram mudanças no NNP solúvel durante o processo de silagem, demonstrando um padrão típico de liberação do NNP, o qual, dependendo da temperatura e acidez, é rápido nos primeiros dias e posteriormente mais lento.

Segundo Backhoff (1976) após três dias de silagem de pescado feitas a partir de resíduos padronizados (vísceras, peles e carne) 50% do nitrogênio total estava sob a forma não proteica em pH e temperatura de 3,9 e 30 °C, respectivamente, sendo que passados os cinco primeiros dias, o teor de aminoácidos livres em relação aos peptídeos aumentou rapidamente.

Em outro estudo realizado por Vizcarra-Magan et al. (1999) foi constatado que em dois dias, mais de 50% de nitrogênio total se torna

solúvel em silagem ácida a partir de rejeitos de atum em pH 2,6 e temperatura de 30 °C.

Estudos realizados por Tatterson e Windsor (1974) com silagem de pescado a 28-30 °C, mostraram uma elevação da fração NNP de 14% a 39% após 7 dias, 46% após 14 dias e de 51%, ao final de 38 dias. Ainda no mesmo estudo só que em temperatura mais baixa (2 °C) e em igual período de conservação, o NNP não atingiu os mesmos níveis da silagem mantida a 23 °C, demonstrando o papel da temperatura na solubilização das proteínas.

Valor nutricional da silagem e sua utilização em dietas para peixes

A utilização de silagem ácida de pescado como ingrediente proteico em dietas para peixes se justifica pelo seu valor nutricional, muitas vezes semelhante ao da farinha de peixe, principal ingrediente proteico utilizado em dietas aquícolas. Entretanto, a composição de silagens varia em função da composição e qualidade da matéria-prima utilizada, além das particularidades do processo de ensilagem empregado (Tabela 1).

Tabela 1. Composição centesimal de silagens ácidas de pescado

Tipo de Resíduo	Agente acidificante	Fração, % na matéria seca				Referência
		MS ¹	PB ²	EE ³	CZ ⁴	
Cabeças e vísceras de "Dog fish" (<i>Squalus acanthias</i>)	ác. fórmico	17,2	86,6	21,4	12,9	Heras et al. (1994)
Resíduo de sardinha	ác. sulfúrico + ác. fórmico	54,5	27,9	8,06	43,6	Arruda et al. (2009)
Resíduo de tilápia-do-Nilo	ác. fórmico + propiônico	25,2	54,1	8	26,2	Borghesi (2004)
Vísceras de surubim (<i>Pseudoplatystoma sp.</i>)	ác. fórmico + cítrico	21,7	25,7	42,4	–	Hisano et al. (2012)
Resíduo de sardinha	ác. acético	32,4	55,8	23,2	17,3	Silva et al. (2013)
Zoiúdo (<i>Geophagus surinamensis</i>)	ác. sulfúrico + ác. fórmico	20	33	32,5	27,5	Abimorad et al. (2009)
Arenque (<i>Clupea harengus L</i>)	ác. fórmico	28,2	57,8	27,3	8,7	Heras et al. (1994)

¹ MS: Matéria-seca

² PB: Proteína Bruta

³ EE: Extrato etéreo

⁴ CZ: Cinzas

Diversos estudos sobre substituição da farinha de peixe por silagem de pescado em dietas para peixes foram realizados (Tabela 2), nesses, verifica-se que a silagem de pescado pode ser utilizada como ingrediente em dietas para peixes carnívoros e onívoros, fornecendo proteínas de boa qualidade e altamente digestíveis (ARRUDA, 2004).

Para peixes carnívoros, Oliveira e Cyrino (2004) avaliaram a utilização de silagem de pescado como ingrediente palatibilizante para o “Black bass” (*Micropterus salmoides*), utilizando como controle o produto comercial FISHARON[®], constituído de uma mistura de farinha de peixe e proteína solúvel de peixe. O ganho em peso e conversão alimentar dos peixes alimentados com a dieta contendo o produto comercial não diferiram significativamente daqueles alimentados com dietas contendo silagem de pescado, mostrando a viabilidade de uso da silagem de pescado como ingrediente palatibilizante de baixo custo. Não foram encontradas diferenças no crescimento, consumo e conversão alimentar do salmão-do-Atlântico (*Salmo salar*), quando alimentados com dietas contendo silagem ou farinha de peixe (JACKSON; KEER, 1984).

Hardy et al. (1983), avaliaram o efeito das substituições da farinha de peixe pela silagem semiúmida em dietas para truta arco-íris (*Salmo gairdneri*; Richardson, 1836). Observou-se que dietas contendo silagem de peixe semiúmida afetaram negativamente o crescimento dos peixes. Os autores observaram ainda que quando a proteína intacta ou pouco hidrolisada é adicionada à dieta, promove melhor crescimento para truta arco-íris do que quando aminoácidos livres são adicionados. Liang et al. (2006) testaram o efeito de diferentes níveis (0, 5, 15 e 25%) de hidrolisado proteico em substituição a farinha de peixe na imunidade não-específica do principal peixe marinho cultivado na China, o “sea bass” (*Lateolabrax japonicus*). Os autores constataram que a inclusão de 15% de hidrolisado proteico nas dietas, e pelo menos trinta dias, promoveram maior crescimento e melhor resposta imune do “sea bass” em relação aos maiores ou menores níveis do hidrolisado nas dietas.

Para peixes onívoros, a utilização da silagem na dieta teve efeito similar. A silagem ácida de resíduos de filetagem de tilápia pode ser eficientemente utilizada até 40% de substituição à farinha de peixe, sem prejudicar os índices zootécnicos de tilápia-do-Nilo (PIMENTA et al. 2008). Hossain, Nahar e Kamal (1997) determinaram o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de várias fontes proteicas de origem animal e vegetal para a carpa indiana (*Labeo rohita*). Melhores valores de CDA_{PB} foram observados, 84,08% (para as silagens com ácido fórmico) e 85,11% (para as silagens com ácido sulfúrico), evidenciando

alta digestibilidade da silagem de pescado o que sugere sua utilização em dietas para a carpa indiana. Borghesi (2004) determinou o CDA de nutrientes das silagens ácida (SA), biológica (SB) e enzimática (SE) para tilápia-do-Nilo, obtendo valores de: 92,01; 89,09 e 93,66% para proteína bruta, 86,39; 84,53 e 89,09% para energia bruta, 82,52; 78,98 e 82,96% para matéria-seca, respectivamente. Esses bons resultados de digestibilidade levaram os autores a recomendar a utilização das três silagens como ingrediente proteico para tilápia-do-Nilo. Valores interessantes de digestibilidade aparente de silagem ácida para tilápia-do-Nilo foram também encontrados por Pimenta et al. (2008). Foram determinados CDA de 95,5%, 96,7%, 97,2% e 95,4% para matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e energia bruta respectivamente.

Tabela 2. Trabalhos realizados sobre utilização de silagens em dietas para peixes

Espécie estudada	Peso inicial, g	Tipo de Silagem	Resíduo utilizado	Níveis de inclusão, %	Variáveis analisadas	Conclusão	Referência
tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	7,2	ácida (ác. propiônico + ác. fórmico, 1:1)	Camarão branco (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	0, 4, 8, 12 e 16%	GP, TEP, TCE, TRP	Melhor desempenho em 2,75%, e 60 dias	Costa et al. (2009)
jundiá (<i>Rhamdia quelen</i>)	48,1	ácida (10% ácido acético)	Rejeitos de birú (<i>Cyphocharax voga</i>)	0, 12.5, 25.0, 37.5 e 50% de substituição à levedura de cana	GP, TCE, SO	Pode substituir em até 33% a levedura de cana, em 75 dias.	Enke et al. (2009)
piauçu (<i>Leporinus macrocephalus</i>)	3	ácida (2% de ác. fosfórico + ác. acético)	Resíduo de filetagem de tilápia	0, 2, 4, 6 e 8%	CP, EUN, HIS, IGV'S	Inclusão de 8% não prejudicou o desempenho, em 84 dias.	Bueno e Fernandes (2006)
tilápia-do-Nilo	15,3	biológica	Resíduo de filetagem de pescado	0, 10, 20 e 30%	GP, CA, TRP	Sem diferença no desempenho até inclusão de 30%, em 97 dias.	Souza, (1998)

Continua...

Continuação...

Espécie estudada	Peso inicial, g	Tipo de Silagem	Resíduo utilizado	Níveis de inclusão, %	Variáveis analisadas	Conclusão	Referência
Salmão do Atlântico (<i>Salmo salar</i>)	58	ácida (2,2% de ác. fórmico)	Resíduo arenque inteiro (<i>Clupea harengus</i>)	0, 15 e 30%	CA, TCE, TRP	Melhor desempenho com inclusão de 15% silagem, em 91 dias.	Espe et al. (1999)
Black Bass (<i>Micropterus salmoides</i>)	22	ácida (ác. sulfúrico + ác. fórmico, 3:1)	Sardinha	0, 7.5, 10.0, 12.5 ou 15%	GP, CA, TRP, TEF, TCE	Melhor desempenho em 15%, em 66 dias.	Arruda et al. (2009)
Salmão do Atlântico	163	enzimática	Resíduo de pescado	0, 5, 10 e 15%	C, EA, TRP, TRE	Inclusão de 10 e 15% melhorou o desempenho, em 68 dias.	Refstie et al. (2004)

*Substituição à farinha de peixe;

EA: Eficiência alimentar; TCE: Taxa de crescimento específico; TRP: Taxa de retenção proteica; GP: Ganho em peso; C: Consumo; CP: Composição corporal; EUN: Eficiência de utilização de nutrientes; HIS: Índice hepatossômico; IGVS: Índice de gordura víscero somático.

O jundiá (*Rhamdia quelen*)

O jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriformes: Heptapteridae) é um bague de água doce, nativo do continente americano, presente em bacias hidrográficas que se estendem desde o sudeste do México até o centro da Argentina, (FUKUSHIMA; ZANIBONI FILHO, 2009). É uma espécie onívora, alcançando sua maturidade sexual no primeiro ano de vida. É um peixe ovulíparo e no ambiente natural desova em águas tranquilas. Apresenta dois picos reprodutivos durante o ano (primavera e verão), ocorrendo desovas múltiplas durante estes picos, não havendo cuidado com os ovos ou larvas (SILVA et al. 2003). Algumas características tornam esta espécie atrativa para a piscicultura intensiva na região Sul do Brasil, tais como crescimento satisfatório, mesmo nos meses de inverno, fácil reprodução e larvicultura em cativeiro, ausência de espinhos intramusculares e carne saborosa (FRACALOSSO et al. 2007). Em sistemas de produção de peixe, com densidade de 2 a 4 peixes por m², esta espécie pode alcançar 600 a 800 g de peso corporal em oito meses (BARCELLOS et al. 2001; COLDEBELLA et al. 2011).

O jundiá foi inicialmente definido como onívoro, através de estudos de conteúdo estomacal em ambiente selvagem (KRAMER; BRYANT, 1995; MEURER; ZANIBONI-FILHO, 1997), o que veio a se mostrar questionável. Oliveira-Filho e Fracalossi (2006) verificaram que o jundiá apresentava maior habilidade em digerir ingredientes proteicos em relação aos ingredientes energéticos. Gominho et al. (2014) relataram um quociente intestinal ($Q_i = \text{comprimento do intestino} / \text{comprimento total}$) de 1,04, o que confirma a tendência carnívora do jundiá. Apesar do reduzido comprimento do seu intestino, semelhante ao de peixes carnívoros, o jundiá apresenta hábito alimentar onívoro, com grande capacidade de digerir ingredientes proteicos e relativa dificuldade de digerir ingredientes energéticos, sugerindo que este peixe é onívoro com tendência à carnivoría (OLIVEIRA-FILHO; FRACALOSSO, 2006).

A proteína é o macro nutriente na dieta cuja exigência é priorizada em estudos de nutrição, quer por apresentar alto custo ou por afetar significativamente o ganho em peso de peixes (MEYER; FRACALOSSO, 2004). A exigência proteica de juvenis de jundiá foi estimada em 38% e 34% de proteína bruta para dietas contendo 3.200 kcal/kg e 3.650 kcal/kg de energia, respectivamente (MEYER; FRACALOSSO, 2004). Já a exigência em aminoácidos do jundiá foi estimada baseando-se na composição aminoácidos do tecido muscular (MEYER; FRACALOSSO, 2004) ou a partir da determinação da

exigência em lisina e aplicação do conceito de proteína ideal para determinação dos demais aminoácidos essenciais (MONTES-GIRAO; FRACALOSSI, 2006).

Digestibilidade de nutrientes para o jundiá

A digestibilidade é um dos critérios adotados em estudos de avaliação de qualidade nutricional dos alimentos e eficiência de dietas completas para animais. Este critério quantifica a fração do nutriente ou da energia absorvida do alimento que não é excretada nas fezes (NRC, 1993). O conhecimento da digestibilidade de nutrientes em um ingrediente é de suma importância para a avaliação do seu potencial em uma dieta (SALES e BRITZ, 2003; BORGHESI, 2004).

A digestibilidade é quantificada através da determinação de coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) de nutrientes e energia de um ingrediente ou dieta, o qual é determinado por meio da coleta de fezes dos peixes (PORTZ, 2001; BORGHESI, 2004). Devido à dificuldade na coleta total de fezes e também da determinação precisa da quantidade de alimento consumido em organismos aquáticos, utiliza-se o método indireto para medida da digestibilidade. Este método consiste na coleta parcial das fezes com uso de um marcador inerte e indigestível na dieta, como óxido de cromo (AUTRESNG, 1978; BREMER NETO et al. 2003) ou óxido de ítrio (BLYTH et al. 2015). Uma vez que os ingredientes testados não são nutricionalmente completos, estes são combinados com uma dieta referência, que atenda às exigências nutricionais da espécie em estudo (KLEIBER 1961; CHO e SLINGER, 1979), normalmente na proporção de 70% da dieta referência e 30% do ingrediente teste.

Estudos de digestibilidade com o jundiá são relatados na literatura. Oliveira-Filho e Fracalossi (2004) avaliaram o CDA de diferentes ingredientes (milho, quirera de arroz, farelo de soja, farinha de peixe, glúten de milho) para juvenis de jundiá e observaram que os ingredientes energéticos (milho e quirera de arroz) apresentaram baixa digestibilidade, assemelhando-se às respostas encontradas para peixes carnívoros. Rodrigues et al. (2012) e Gominho et al. (2015) avaliaram a digestibilidade de nutrientes em dietas para dois peixes onívoros, o jundiá e a tilápia-do-Nilo, quando alimentados com fontes de carboidratos ricas em amido (quirera de arroz e milho moído) ou ricas em fibra alimentar (farelo de trigo, polpa cítrica e casca de soja). O jundiá mostrou menor habilidade em digerir as fontes amiláceas e em utilizar a proteína das fontes vegetais em relação à tilápia.

3. JUSTIFICATIVA

A procura por fontes proteicas alternativas para inclusão em dietas comerciais para peixes é uma realidade, em virtude do aumento da procura e consequente aumento de preço da farinha de peixe nos últimos anos. De forma a minimizar os custos das rações e, ao mesmo tempo, assegurar um desempenho de produção adequado, resíduos de pescado podem se constituir em uma alternativa de uso de farinha de peixe, o que se justifica pelo seu alto valor nutritivo e biológico na alimentação de peixes. Os resíduos de pescado incluem parte das capturas pesqueiras e subprodutos de descarte em indústrias de processamento e beneficiamento de pescado. Por não representar valor comercial para consumo humano, o acúmulo de resíduos de pescado pode causar impacto negativo ao ambiente, se descartados de forma incorreta.

O valor nutritivo dos resíduos de pescado é elevado principalmente se esse resíduo for padronizado através da seleção de partes com elevado teor proteico e menor matéria mineral como é o caso das vísceras de pescado, provenientes de resíduos de enlatamento de atum, que contém elevada concentração de enzimas proteolíticas, importantes na disponibilização de nutrientes nas silagens.

Estudos sobre o uso de silagens de pescado para o jundiá, espécie de importante valor para o desenvolvimento da piscicultura na região Sul, são ainda incipientes. A realização deste estudo se enquadra no contexto de aproveitamento de resíduos de pescado, como ingrediente proteico para dietas aquícolas e neste sentido se propõe a avaliação da silagem ácida de vísceras de atum, subproduto resultante do enlatamento, como ingrediente proteico para o jundiá.

4. OBJETIVOS

Geral

Avaliar o potencial da silagem ácida de vísceras de atum como ingrediente em dietas para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*).

Específicos

- a) Caracterizar a silagem ácida de vísceras de atum em termos de sua composição nutricional e qualidade.
- b) Determinar os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca e proteína bruta da silagem ácida de atum.
- c) Avaliar o ganho em peso, taxa de crescimento específico, conversão e eficiência alimentar, além da taxa de retenção proteica em juvenis de jundiá alimentados com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem ácida de atum.

ARTIGO CIENTÍFICO

Silagem ácida de vísceras de atum em dietas para jundiá: composição, qualidade, digestibilidade e desempenho em diferentes níveis de substituição proteica à farinha de peixe

Jorge Filipe Banze; Maria Fernanda Oliveira da Silva, Dariane Beatriz Schoffen Enke, Débora Machado Fracalossi ¹

¹Autor para correspondência: Débora Machado Fracalossi,
Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, UFSC.
Rodovia Ademar Gonzaga, 1346, 88034-001 Florianópolis, SC, Brasil.
Tel.: +55 48 3721-6300. E-mail: debora.fracalossi@ufsc.br

RESUMO

Resíduos de pescado processados na forma de silagem podem se constituir em uma alternativa ao uso de farinha de peixe (FP), devido ao seu alto valor nutritivo e biológico na alimentação de peixes. Este estudo visa caracterizar a composição e qualidade da silagem ácida de vísceras de atum (SAVA), determinar a digestibilidade de nutrientes, bem como avaliar a resposta zootécnica do jundiá (*Rhamdia quelen*), quando alimentado com dietas contendo níveis crescentes de SAVA. Ao final de trinta dias, 61,74% da proteína bruta da SAVA estava solubilizada. O ensaio de digestibilidade foi realizado com jundiás fêmeas ($272,58 \pm 20,04$ g), utilizando-se o método indireto, com uso de óxido de ítrio como marcador inerte e coleta de fezes por sedimentação. No ensaio de desempenho, três grupos de 20 juvenis de jundiá ($15,64 \pm 1,26$ g) foram alimentados com níveis crescentes (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) de substituição da proteína da FP pela proteína da SAVA. A digestibilidade da proteína bruta foi similar (88,52%) para SAVA e FP, mas a da matéria seca foi maior ($P < 0,05$) para a SAVA (92,20%). Ao final de 45 dias, o ganho em peso dos peixes respondeu negativamente ($P < 0,05$), de forma linear, à substituição proteica de FP por SAVA. O mesmo ocorreu para a taxa de crescimento específico, consumo alimentar diário, taxa de retenção proteica e conversão alimentar. A sobrevivência esteve acima dos 85% em todos tratamentos. Apesar da boa qualidade e composição da SAVA, o jundiá responde de forma negativa ao aumento de níveis de SAVA nas dietas com grau de solubilidade proteica de 61,74%. Mais estudos devem ser realizados sobre o tema, focando em SAVA com diferentes graus de hidrólise proteica, bem como na quantificação das frações solúveis de peptídeos e aminoácidos livres.

Palavras-chave: Resíduos de pescado. Silagem. Hidrólise. *Rhamdia quelen*.

INTRODUÇÃO

Em piscicultura, os custos com alimento geralmente variam de 30 a 60%, dependendo da intensidade da operação, podendo superar 85% dos custos totais de produção em sistemas intensivos (Silva e Anderson, 1995). A farinha de peixe é tradicionalmente considerado um ingrediente proteico importante em rações aquícolas, por apresentar alta palatabilidade e excelente fonte de aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e minerais (Crus-Suarés et al. 2009; Valle et al. 2015), porém o aumento na sua demanda, implica aumento no seu custo. Alimentos com potencial para uso em substituição a farinha de peixe são os resíduos de pescado que incluem parte das capturas pesqueiras e os resíduos de indústrias processadoras de pescado que, a princípio não são destinados à alimentação humana e podem constituir problema sanitário ambiental se descartados de forma não correta. Uma opção ao descarte seria o aproveitamento desses resíduos na alimentação animal. Existem técnicas de processamento de resíduos de pescado que permitem a sua conservação e incorporação como ingrediente em rações animais, na forma de silagem, ácida, biológica ou enzimática (Espe et al. 1999).

A silagem ácida de pescado é um produto liquefeito, preparado a partir de pescado inteiro ou parte dele que, uma vez triturado, recebe a adição de ácidos minerais ou orgânicos e, a liquefação ocorre pela ação das enzimas já presentes no pescado (Oetterer, 1994). As vantagens da produção de silagem em relação à farinha de peixe são: 1) a tecnologia de produção é simples; 2) o processo independe de escala; 3) independe do clima; 4) o capital necessário é pequeno. A produção de silagem apresenta desvantagens de ser: a) produto volumoso, com estocagem e transporte difíceis, b) matéria-prima pode apresentar alto teor de gordura, podendo comprometer a qualidade final do produto (Oetterer, 1994).

A composição nutricional da silagem é muito semelhante à matéria-prima que lhe deu origem e é importante que a qualidade nutricional da silagem de pescado seja preservada, evitando estocagens prolongadas do produto. O valor nutricional da silagem de pescado está na elevada digestibilidade proteica devido ao alto grau de hidrólise proteica e a presença de aminoácidos essenciais (Oetterer 1994; Junior e Sales, 2013). O grau de hidrólise deve ser utilizado como critério químico de qualidade para a silagem, pois devido a autólise e rancificação, o produto pode ser prejudicado.

A silagem de pescado pode ser produzida a partir de diversas matérias-primas como cabeças, ossos, vísceras, nadadeiras, peles, peixe inteiro ou mistura de diferentes partes de pescado, o que pode influenciar a composição nutricional das silagens produzidas. Deste modo, torna-se interessante a produção de silagens de pescado com um resíduo padrão, de forma que a composição nutricional final não varie muito e que o conteúdo em proteína possa ser relativamente maior que a matéria mineral ou gordura.

Kotzamanis et al. (2007) utilizando hidrolisado proteico produzido exclusivamente a partir de vísceras de sardinha (*Sardina pilchardus*), relataram que a adição de 10% do hidrolisado nas dietas melhora o crescimento e sobrevivência de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*). Similarmente, Mondal et al. (2008) observaram que a substituição de 50% de farinha de peixe por silagem biológica produzida a partir de vísceras de peixe proporcionou bom desempenho zootécnico do bagre (*Heteropneus fossilis*). Em outro estudo, Hisano et al. (2012) avaliaram a digestibilidade de nutrientes da silagem produzida a partir de vísceras de surubim (*Pseudoplatystoma* sp.) e observaram valores interessantes de digestibilidade, para matéria-seca, proteína bruta e extrato-etéreo (83,52, 93,30 e 87,20%), respectivamente, quando incluído em dietas para tilápia-do-Nilo, tendo sugerido o seu uso em dietas para peixes. Entretanto, a silagem não deve ser vista como um produto competidor e sim alternativo ao uso da farinha de peixe.

As silagens de pescado podem representar uma forma de utilização de resíduos industriais, gerando aumento da receita e minimizando impactos ambientais (Bueno e Fernandes, 2006). Grandes empresas de enlatamento de atum recebem a matéria-prima congelada diretamente dos barcos de captura e após o descongelamento, o atum tem sua cabeça, ossos e vísceras retiradas. No Brasil, o bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*), “skipjack” ou gaiado é a principal espécie de atum capturada para enlatamento. Em 2011, esta espécie ultrapassou 800 mil toneladas capturadas (FAO, 2013), representando mais de 95% da matéria-prima enlatada pela indústria brasileira (Santos e Gonçalves, 2011).

O jundiá, *Rhamdia quelen* (Siluriformes: Heptapteridae), é um bagre de água doce, nativo do continente americano, presente em bacias hidrográficas que se estendem desde o sudeste do México até o centro da Argentina (Fukushima e Zaniboni Filho, 2009). Além de converter bem o alimento, aceita manejo periódico e não cessa o crescimento mesmo durante o inverno (Meyer e Fracalossi, 2004). Seu hábito alimentar onívoro, com tendência à carnivoría, o torna um interessante

modelo para o estudo de ingredientes proteicos alternativos como silagens. Com a realização deste estudo propõe-se avaliar o potencial da utilização de silagem ácida de vísceras de atum (*Katsuwonus pelamis*), na alimentação do jundiá. Para tanto, a composição e a qualidade desta silagem foram determinadas, além da digestibilidade de nutrientes e do efeito da substituição proteica de farinha de peixe no desempenho de juvenis desta espécie.

MATERIAL E MÉTODOS

Silagem ácida: preparo, composição, qualidade e solubilidade proteica

Foram adquiridos resíduos de atum (*Katsuwonus pelamis*), (Figura 2, Anexo), constituído apenas por vísceras (intestino, estômago, fígado, pâncreas, bexiga natatória, rim, baço, gônadas), de uma empresa beneficiadora de pescado do estado de Santa Catarina. As vísceras foram transportadas congeladas em recipientes de polietileno, durante uma hora, até o Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI).

No laboratório, a matéria-prima permaneceu à temperatura ambiente para descongelamento (30 min) e, em seguida, foi triturada com auxílio de moedor elétrico de carne (Figura 3, Anexo). Foram pesados 60 kg de massa triturada, a qual foi acondicionada em recipiente de polietileno de 200 L com tampa. Em seguida, de forma a evitar crescimento bacteriano e oxidação lipídica, foram adicionados 10% de ácido acético (p/v) e 2% do antioxidante butil-hidroxi-tolueno (BHT), respectivamente. A massa triturada foi revolvida durante os cinco primeiros dias (Figura 4, Anexo), de forma a homogeneizar o material e promover maior contato entre o ácido e a massa triturada. Durante os 30 dias do processo de silagem, a temperatura e o pH (Figura 5, Anexo), foram diariamente monitorados com auxílio de um termômetro de mercúrio e de um potenciômetro, respectivamente. Devido ao alto teor de umidade da silagem, após 30 dias, esta foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, por 10 dias, até atingir aproximadamente 15% de umidade, para posterior utilização na confecção das dietas experimentais.

Foram realizadas as seguintes análises na silagem pronta: 1) determinação da composição centesimal (A.O.A.C., 1999); 2) análises microbiológicas (Instrução Normativa n° 62 de 26/08/2003, 164p); 3) determinação da concentração de aminas biogênicas através de extração

com ácido tricloroacético (5%) e separação por HPLC, de acordo com Vale e Gloria (1997); 4) quantificação da concentração dos seguintes elementos químicos tóxicos: cromo, cádmio, chumbo e mercúrio pelo método de espectrometria de massa (Flament et al., 2002); 5) composição de ácidos graxos presentes na fração lipídica da silagem, por meio de extração lipídica (Folch et al., 1957), seguida de metilação (Hartman e Lago, 1973) e leitura por cromatografia gasosa.

Durante o processo de ensilagem, foi também monitorado o grau de solubilização proteica, por meio da determinação do nitrogênio solúvel. Antes da adição de ácido acético, foi retirada uma amostra da matéria-prima triturada para análise centesimal e determinação da proteína solúvel. Após a adição do ácido, de dois em dois dias, amostras de silagem foram coletadas para determinação do nitrogênio solúvel. Este foi determinado precipitando-se as proteínas de 1 g de amostra com 10 mL de ácido tricloroacético (40%) e 10 mL de água destilada (Haard et al., 1985). Após 30 min, a mistura foi filtrada com auxílio de papel filtro e o nitrogênio solúvel determinado no filtrado pelo método de Kjeldahl ($N \times 6,25$). Após 30 dias, a silagem permaneceu sob congelamento (-20 °C) até a preparação das dietas experimentais.

Preparação de dietas experimentais

Para a formulação das dietas foram utilizadas as exigências em aminoácidos e energia bruta do jundiá, determinados por Meyer e Fracalossi (2004), sendo que, para os demais nutrientes (lipídios, vitaminas e minerais), utilizou-se a exigência do bagre americano, *Ictalurus punctatus* (NRC, 2011), espécie igualmente onívora de água doce. Foi também analisado o perfil de aminoácidos dos ingredientes proteicos (farinha de peixe e silagem de atum) para a correta formulação das dietas experimentais do ensaio de crescimento. O aminograma foi obtido por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em fase reversa, detecção em UV a 240 nm e quantificação por calibração interna multinível, com auxílio de ácido aminobutírico, como padrão interno (Hagen et al., 1989). A Tabela 3 apresenta a composição centesimal dos ingredientes proteicos utilizados nas dietas experimentais.

Tabela 3. Composição centesimal dos ingredientes proteicos utilizados na confecção das dietas experimentais (base úmida). Média e desvio padrão de três repetições.

Fração, g.kg ⁻¹	Farinha peixe ¹	Silagem de atum ²
Matéria seca	870,03 ± 0,81	227,80 ± 0,26
Proteína bruta	648,90 ± 0,62	669,00 ± 0,97
Extrato etéreo	104,00 ± 0,37	112,10 ± 0,40
Cinza	113,40 ± 0,78	122,30 ± 0,23
Energia bruta, kcal.kg ⁻¹	4874,14 ± 0,38	5351,55 ± 0,89

¹ Farinha de resíduos do processamento de salmão (Pesqueira Pacific Star S.A., Chile).

² Silagem ácida de vísceras de atum (intestino, estômago, fígado, pâncreas, bexiga natatória, rim, baço, gônadas), resíduos adquiridos na empresa Gomes da Costa (Itajaí, SC, Brasil).

Dietas para o ensaio de digestibilidade

A dieta referência foi preparada a base de ingredientes semi-purificados como caseína, gelatina, celulose e amido. As dietas teste foram constituídas por 69,9% da dieta referência, 30% de silagem de atum ou farinha de peixe como ingredientes teste e 1% do marcador óxido de ítrio, (Tabela 4). As dietas foram confeccionadas homogeneizando-se primeiramente os ingredientes secos e adicionando-se, em seguida, os óleos e a água. As dietas foram posteriormente peletizadas (3 mm) e secas em estufa de circulação forçada de ar (55 °C) durante 4 h. Após a secagem, as dietas foram embaladas e armazenadas sob refrigeração (4 °C) até a sua utilização (Figura 9, Anexo).

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína e matéria seca foram determinados utilizando-se a equação proposta por Cho e Slinger (1979) para a dieta referência e a equação proposta por Bureau e Hua (2006), para os ingredientes testados:

$$CDA_{dieta} (\%) = 100 - [100 \times (\%M_{dieta} / \%M_{fezes}) \times (\%Nutriente_{fezes} / \%Nutriente_{dieta})];$$

Onde: CDA_{dieta} = Coeficiente de digestibilidade aparente da dieta; %M = Concentração do marcador inerte (% em matéria seca) e %N = conteúdo de nutriente (% em matéria seca).

$$CDA_{ingrediente\ teste} (\%) = CDA_{ingrediente\ teste} + [(CDA_{dieta\ teste} - CDA_{dieta\ referencia}) \times (0,7 \times D_{dieta\ referencia}) / (0,3 \times D_{ingrediente})];$$

Onde: $D_{dieta\ refer\ência} = \% \text{ Nutriente na dieta refer\ência}$, $D_{ingrediente} = \% \text{ de nutriente no ingrediente teste}$.

Tabela 4. Composi\c{a}\o das dietas experimentais utilizadas no ensaio de digestibilidade com juvenis de jundi\c{a} (base seca).

Ingredientes	Dieta, g. kg ⁻¹		
	Refer\ência	Farinha de	Silagem de
Farinha de peixe	0,00	300,00	0,00
Silagem de atum	0,00	0,00	300,00
Case\c{ina}	327,60	229,32	229,32
Gelatina	50,00	35,00	35,00
Amido	390,20	273,14	273,14
Celulose	80,00	56,00	56,00
\u00d3leo de soja	20,00	14,00	14,00
\u00d3leo de f\c{igado de bacalhau}	50,90	35,63	35,63
Premix vitam\c{in}ico e micro mineral	10,00	7,00	7,00
Premix macro mineral ^b	37,10	25,97	25,97
Fosfato bic\c{alc}ico	33,60	23,52	23,52
\u00d3xido de \c{it}rio	1,00	0,70	0,70
Butil-hidroxi-tolueno	0,50	0,35	0,35
Composi\c{a}\o nutricional, g. kg⁻¹ (expressa na mat\êria seca)			
Mat\êria seca	946,80	933,50	819,10
Prote\c{ina} bruta	368,60	479,60	463,50
Cinza	164,40	156,60	157,10
Extrato et\êreo	90,50	72,90	60,10
Energia bruta, kca.kg ⁻¹	4349,03	4275,80	4380,64
Fibra bruta	21,20	20,70	16,10
\u00d3xido de \c{it}rio	0,09	0,09	0,09

^a Premix micro mineral vitam\c{in}ico: Nutron Alimentos (Toledo, PR, Brasil), composi\c{a}\o kg⁻¹ de produto: \c{a}cido f\c{ol}ico 250 mg, \c{a}cido pantot\ênico 5.000 mg, antioxidante 0,6 g, biotina 125 mg, cobalto 25 mg, cobre 2.000 mg, colina 75.000 mg, ferro 13.820 mg, iodo 100 mg, mangan\ês 3.750 mg, niacina 5000 mg, sel\ênio 75 mg, vitamina (vit.) A 1.000.000 UI, vit. B₁ 1250 mg, vit. B₁₂ 3.750 mg, vit. B₂ 2.500 mg, vit. B₆ 1.785 mg, vit. C 42.000 mg, vit. D₃ 500.000 UI, vit. E 20.000 UI, vit. K 35.000 mg, zinco 17.500 mg. ^b Composi\c{a}\o do premix macromineral (composi\c{a}\o por kg): fosfato bic\c{alc}ico 130 g, cloreto de pot\c{a}ssio 120 g, cloreto de s\c{od}io 130 g, sulfato de magn\êsio 620 g.

Dietas para o ensaio de crescimento

As dietas foram formuladas com base em ingredientes práticos para serem isonitrogenadas (41% de proteína bruta) e isoenergéticas (4.800 kcal.kg⁻¹ de energia bruta). Foram estabelecidos níveis crescentes (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) de substituição da proteína de farinha de resíduos de salmão pela proteína da silagem ácida de atum (Tabela 5). Para a confecção das dietas, o milho foi moído, em seguida a farinha de peixe e milho foram peneirados (1 mm), pesados e homogeneizados, juntamente com o premix vitamínico e micro mineral.

Em seguida foram adicionados os ingredientes proteicos (farinha de peixe e silagem), os óleos e água. Após homogeneização, a mistura foi peletizada (2,5 mm) e seca em estufa de circulação forçada de ar (55 °C), durante 4 h. Após secagem, as dietas foram embaladas e armazenadas sob refrigeração (4 °C) até sua utilização, (Figura 9, Anexo).

Tabela 5. Formulação e composição das dietas experimentais com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum (valores expressos na matéria seca).

Ingredientes	Substituição Proteica, g.kg ⁻¹					
	0	20	40	60	80	100
Farinha de peixe	580,1	464,3	348,2	232,4	116,1	0,0
Silagem ^a	0,0	112,4	224,9	337,3	449,8	562,2
Milho	394,3	398,1	401,9	406	409,9	413,9
Óleo de soja ^b	15,2	14,7	14,3	13,9	13,4	13,2
Óleo de peixe ^c	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Premix ^d	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Composição Proximal, g.kg ⁻¹						
Matéria seca	933,9	936,42	919,83	913,13	899,12	933,93
Proteína bruta	412,0	433,0	396,0	407,2	425,9	416,5
Extrato etéreo	95,7	92,5	90,4	90,4	93,2	93,6
Cinzas	151,6	167,9	160,3	160,3	159,3	157,4
Fibra ^e	44,1	38,2	39,0	39,0	40,2	41,1
Energia bruta ^f	4762,8	4828,2	4831,3	4857,3	4888,9	4741,5

^a Silagem de atum.

^b Óleo de soja, Grupo Bunge (Gaspar, SC).

^c Óleo de fígado de bacalhau: Delaware LTDA (Porto Alegre, RS, Brasil).

^d Premix vitamínico e micro mineral: Nutron Alimentos (Toledo, PR, Brasil), composição kg⁻¹ de produto: ácido fólico 250 mg, ácido pantotênico 5.000 mg, antioxidante 0,6 g, biotina 125 mg, cobalto 25 mg, cobre 2.000 mg, colina 75.000 mg, ferro 13.820 mg, iodo 100 mg, manganês 3.750 mg, niacina 5000 mg, selênio 75 mg, vitamina (vit.) A 1.000.000 UI, vit. B₁ 1250 mg, vit. B₁₂ 3.750 mg, vit. B₂ 2.500 mg, vit. B₆ 1.785 mg, vit. C 42.000 mg, vit. D₃ 500.000 UI, vit. E 20.000 UI, vit. K 35.000 mg, zinco 17.500 mg.

^e Fibra em Detergente Neutro

^f kcal.kg⁻¹

Condições experimentais e manejo dos peixes

Foram realizados dois ensaios experimentais (desempenho e digestibilidade), os quais foram realizados no Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD), pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

Para o ensaio de digestibilidade, foram adquiridos juvenis de jundiá fêmeas, junto à estação de piscicultura da Empresa de Pesquisa

Agropecuária e Extensão Rural (EPAGRI) em Caçador-SC. Os mesmos foram aclimatados por duas semanas às condições experimentais, em sistema de recirculação de água fechado. Já para o ensaio de desempenho, foram adquiridos juvenis de jundiá (machos e fêmeas) de uma piscicultura comercial em Pomerode-SC. Os jundiás foram aclimatados às condições experimentais por duas semanas, em sistema de recirculação de água fechado.

O manejo dos peixes durante o experimento seguiu o protocolo n° PP00815, aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Ensaio de digestibilidade

Após o período de aclimação, grupos de cinco animais ($272,58 \pm 20,04$ g) foram distribuídos em nove incubadoras cilindro-cônicas de 200 L, (Figura 7, Anexo). Cada uma das dietas experimentais foi ofertada, duas vezes ao dia (7:00 h e 16:00 h), até a saciedade aparente, para três grupos de peixes.

Os parâmetros indicadores de qualidade de água, temperatura ($27,34 \pm 0,66$ °C), concentração de oxigênio dissolvido ($6,20 \pm 0,57$ mg.L⁻¹), salinidade ($1,80 \pm 0,47$ g.L⁻¹), pH ($6,68 \pm 0,32$) e condutividade elétrica ($3,60 \pm 0,89$ mg.L⁻¹) foram monitorados diariamente com auxílio de um medidor multiparâmetro de qualidade de água. Já a amônia total, nitrito e nitrato foram monitorados uma vez por semana, com auxílio de kit colorimétrico (Alfa Tecnológica, Florianópolis, SC), não excedendo 0,40 mg.L⁻¹. O fotoperíodo foi ajustado para 12 h. A qualidade da água permaneceu adequada para o conforto dos peixes.

Diariamente, 1 h após a primeira alimentação foi feita a coleta de fezes, durante 4 h, as quais sedimentavam em tubos (50 mL) acoplados no fundo de cada tanque. Durante a coleta, os tubos permaneciam imersos em gelo para evitar degradação microbiana do material coletado. As coletas eram realizadas diariamente: pela manhã (8:00 às 12:00 h) e pela tarde (13:00 às 17:00 h). Após a coleta, os tubos foram centrifugados ($1.150 \times g$) por 5 min, sendo que o sobrenadante foi descartado e a matéria fecal imediatamente congelada para avaliação da digestibilidade aparente da matéria seca e proteína. O ensaio de digestibilidade teve a duração de 55 dias.

Ensaio de crescimento

Grupos de 20 animais ($15,64 \pm 1,26$ g) foram aleatoriamente distribuídos em 18 tanques retangulares de polietileno de 40 L, (Figura

8, Anexo). As seis dietas experimentais foram ofertadas, duas vezes ao dia (9:30 h e 16:30 h), até a saciedade aparente, e o consumo foi registrado. O fotoperíodo foi ajustado para 12 h. Previamente à oferta de ração, os parâmetros indicadores de qualidade de água eram monitorados, resultando nas seguintes médias e respectivos desvios-padrão: a temperatura ($26,17 \pm 0,28$ °C), a concentração de oxigênio dissolvido ($6,32 \pm 0,18$ mg.L⁻¹), a salinidade ($1,99 \pm 0,02$ g.L⁻¹), o pH ($7,11 \pm 0,17$). Estes parâmetros foram monitorados diariamente, utilizando-se um equipamento multiparâmetro para determinação da qualidade de água.

Já a amônia, nitrito, nitrato e dureza foram monitorados semanalmente com auxílio de kits de kit colorimétrico (Alfa Tecnológica, Florianópolis, SC) e não excederam ($0,15 \pm 0,05$ mg.L⁻¹). Nas unidades experimentais a troca de água foi ajustada a uma vazão de 0,6 L.min⁻¹. A qualidade da água permaneceu dentro dos limites adequados para o conforto da espécie.

Quinzenalmente, após um período de jejum (24 h) foram realizadas biometrias para o cálculo dos seguintes índices de desempenho: ganho em peso diário = [(peso final – peso inicial) / dias]; taxa de crescimento específico = [(ln peso final – ln peso inicial) / dias] x 100; consumo diário = [consumo / (peso final + peso inicial) / 2 / tempo] x 100; conversão alimentar = [consumo / (peso final - peso inicial)]; eficiência alimentar = [(peso final - peso inicial) / consumo]; taxa de retenção de proteína (TRP, %) = [(proteína corporal final*peso final – proteína corporal inicial*peso inicial) / ingestão total de proteína] e sobrevivência = [(número final de peixes) / (número inicial de peixes)⁻¹ x 100.

Após biometrias os peixes foram submetidos à salinidade de 5 g.L⁻¹ por 30 min para prevenção de infestação com íctio (*Ichthyophthirius multifiliis*). O ensaio de crescimento teve a duração de 45 dias.

Coleta de amostras e análises laboratoriais

No ensaio de digestibilidade, foram coletadas 10 g (matéria seca) de fezes por unidade experimental, as quais foram liofilizadas para análises posteriores. Nas fezes foram determinadas a matéria seca (em estufa a 105 °C) até peso constante e a proteína bruta pelo método Kjeldahl (nitrogênio x 6,25), seguindo-se a metodologia padronizada pela Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C., 1999).

Foi também realizada a quantificação de óxido de ítrio nas rações e fezes, sendo as amostras digeridas com adição de ácido nítrico (HNO_3), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e posteriormente analisadas por espectrofotometria de massa (Flament et al., 2002).

No início do ensaio de desempenho, foram coletadas amostras de cada dieta para análise de composição centesimal; foram também coletados 10 peixes para análises da composição centesimal corporal inicial. No final, foram coletados três peixes por tanque para análise da composição centesimal corporal. Os peixes foram sacrificados por overdose (1 mL.L^{-1}) do anestésico Eugenol[®], sendo posteriormente, moídos, homogeneizados e preservados em freezer ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$), antes de serem analisados. As análises centesimais das dietas e peixes foram realizadas utilizando-se metodologias padronizadas pela Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C., 1999). Assim sendo, para determinação da matéria seca, as amostras foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante; para matéria mineral, submetidas à $550 \text{ }^\circ\text{C}$ por 5 h na mufla; para extrato etéreo, sofreram extração em éter pelo método Soxhlet; para proteína bruta, digestão pelo método Kjeldahl (nitrogênio $\times 6,25$) e a energia foi determinada por combustão em bomba calorimétrica. Foram determinados os índices de peróxidos e acidez das dietas experimentais de acordo com (AOCS, 2003) (método Cd 8-53 e Ca 5a-40, respectivamente).

Análise Estatística

Os dados do ensaio de digestibilidade apresentaram normalidade e homocedasticidade e foram submetidos ao teste *t-student*, para determinar as diferenças entre os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca e proteína bruta. Já os dados de desempenho e composição corporal foram submetidos à análise de regressão. Todos os testes foram realizados a um nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Composição centesimal da silagem de vísceras de atum

O período de hidrólise proteica na silagem foi de 30 dias, sendo que a temperatura média ($28 \pm 1,30 \text{ }^\circ\text{C}$) e o pH médio ($4,18 \pm 0,12$) estiveram dentro do padrão para a produção de silagem ácida. Tanto a matéria prima como a silagem produzida, apresentaram valores de proteína bruta adequados para uso como ingrediente proteico em dietas

para peixes (Tabela 6). Durante o processo de silagem, os teores de matéria seca, extrato etéreo e cinzas registraram uma ligeira redução, sendo que a proteína bruta permaneceu inalterada.

Tabela 6. Composição centesimal (base seca) da matéria prima e silagem de atum produzida durante 30 dias. Média e desvio padrão de três repetições.

Fracção, g.kg⁻¹	Matéria-prima¹	Silagem
Matéria seca	244,60 ± 0,05	227,80 ± 0,26
Proteína bruta	669,43 ± 0,92	669,40 ± 0,97
Extrato etéreo	129,50 ± 0,33	112,10 ± 0,40
Cinzas	128,10 ± 0,19	122,30 ± 0,23

¹ Vísceras de atum (intestino, estômago, fígado, pâncreas, bexiga natatória, rim, baço, gônadas), resíduo adquirido na empresa: Gomes da Costa (Itajaí, SC, Brasil).

Qualidade microbiológica da silagem de atum

As análises microbiológicas da matéria prima e da silagem de atum aos 30 dias, mostraram ausência de agentes microbiológicos contaminantes, o que demonstra a qualidade do resíduo utilizado (Tabela 7).

Tabela 7. Análise microbiológica da matéria-prima (vísceras de atum) e silagem de atum

Análises	Matéria-prima	Silagem de atum
<i>Staphylococcus coagulase</i> positiva ¹	< 1.0 x10 UFC ³ .g ⁻¹	< 1.0 x10 UFC.g ⁻¹
Coliformes termotolerantes ² (45°C)	< 1.0 x10 UFC.g ⁻¹	< 1.0 x10 UFC.g ⁻¹
<i>Salmonella</i> spp.	Ausência em 25 g	Ausência em 25 g

¹Análises realizadas em triplicata.

²Análises realizadas em duplicata.

³UFC: Unidades formadoras de colônias.

Concentração de aminas biogênicas

Durante o processo de produção da silagem ácida de vísceras de atum, a concentração das aminas biogênicas aumentou, com exceção da putrescina e espermidina, cuja concentração diminuiu.

Tabela 8. Concentração de aminas biogênicas na matéria-prima (vísceras de atum) e silagem de atum.

Aminas biogênicas, mg.100g⁻¹	Matéria-prima	Silagem
Putrescina	12,90	9,71
Cadaverina	57,69	77,97
Histamina	0,74	1,30
Tiramina	28,47	36,59
Agmatina	88,33	90,38
Espermidina	88,08	76,56
Feniletinamina	1,53	2,03
Triptamina	nd ¹	nd

¹nd = não detectado (limite de detecção 0,4 mg.kg⁻¹)

Contaminação da silagem por elementos químicos tóxicos

A silagem de atum apresentou o seguinte perfil de elementos químicos tóxicos: cromo 2.60 ± 0.02 mg.kg⁻¹; cádmio 4.25 ± 0.03 mg.kg⁻¹; chumbo $0.25 \pm 0,01$ mg.kg⁻¹ e mercúrio 0.53 ± 0.08 mg.kg⁻¹.

Composição dos ácidos graxos da silagem

A composição de ácidos graxos da silagem de atum produzida, mostrou que os teores de ácidos graxos da série n-3 foram maiores que da série n-6, (Tabela 9).

Tabela 9. Composição de ácidos graxos (em % da fração lipídica) da silagem de atum.

Ingrediente	Ácidos graxos, %			
	PUFAs ¹ da série n-3		PUFAs da série n-6	
	Eicosapentaenoico	Docosaheptanoico	Linoleico	Araquidônico
Silagem de atum	$6,07 \pm 0,05$	$21,72 \pm 0,70$	$3,19 \pm 0,1$	$3,04 \pm 0,73$

¹Ácidos graxos poli-insaturados.

Perfil de aminoácidos dos ingredientes proteicos utilizados

A silagem de atum apresentou um perfil de aminoácidos essenciais e não essenciais superior ao da farinha de peixe para todos os aminoácidos, com exceção da glicina, (Tabela 10).

Tabela 10. Aminograma dos ingredientes proteicos utilizados.

Aminoácidos, g.100 ⁻¹		Silagem de atum	Farinha de peixe
Essenciais	Histidina	2,11	1,24
	Arginina	8,04	3,71
	Treonina	5,02	2,29
	Valina	1,87	0,99
	Metionina	2,89	1,47
	Lisina	3,7	3,32
	Isoleucina	4,24	2,36
	Leucina	6,12	3,75
	Fenilalanina	4,08	2,55
Não essenciais	Alanina	5,3	4,4
	Prolina	3,62	3,42
	Tirosina	5,75	5,05
	Serina	5,12	3,4
	Glicina	5,08	6,2
	Ácido aspártico	7,1	5,72
	Ácido glutâmico	14,6	10,7
	Metionina + Cistina	3,64	1,87

Oxidação lipídica nas dietas experimentais

Não foi registrado nenhum valor de índice de peróxido em todas as dietas experimentais. Já os valores de índice de acidez das dietas experimentais aumentaram de forma crescente até a dieta 80%, e em 100% registou-se uma redução (Tabela 11).

Tabela 11. Índices de peróxidos e acidez das dietas experimentais.

Índice	Substituição proteica, %					
	0	20	40	60	80	100
Peróxido, meq kg ⁻¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acidez, mg NaOH g ⁻¹	2,64	5,86	13,77	21,01	27,56	23,95

Solubilidade proteica na silagem de vísceras de atum

A proteína solúvel aumentou até o 23 ° dia, atingindo um platô a partir daí até os 30 dias. Durante o processo de silagem, a hidrólise ácida elevou a solubilidade proteica de 32,38% à 41,33%, correspondentes à 48,37% e 61,74% da proteína bruta, respectivamente. No final do processo, 61,74% da proteína bruta estava solubilizada. O produto final apresentou-se na forma líquida pastosa em decorrência da contínua hidrólise proteica, potencializada pelas enzimas presentes nas próprias vísceras.

Ensaio de digestibilidade

A digestibilidade proteica foi similar entre as dietas com farinha de peixe e silagem de atum. Quanto à matéria seca, a silagem foi mais digestível que a farinha de peixe ($P < 0,05$) (Tabela 12).

Tabela 12. Coeficientes de digestibilidade aparente da proteína e da matéria seca das dietas experimentais, após 55 dias de coleta de fezes.

Coeficiente de digestibilidade aparente, %		
Ingrediente Teste ¹	Proteína	Matéria Seca
Silagem de atum	88,12 ± 0,58 ^a	92,20 ± 3,50 ^a
Farinha de Peixe	88,92 ± 1,98 ^a	83,84 ± 2,80 ^b

¹ Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste *t-student* ($P > 0,05$).

Ensaio de crescimento

O ganho em peso dos peixes respondeu negativamente, de forma linear, à substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum, ao final de 45 dias (Tabela 13, Figura 1). O mesmo ocorreu para o peso final, taxa de crescimento específico, consumo alimentar diário, taxa de retenção proteica, eficiência e conversão alimentar.

A sobrevivência esteve acima dos 85% em todos tratamentos, sendo que nenhuma mortalidade foi observada nos peixes alimentados com as dietas contendo 100% farinha de peixe.

Tabela 13. Variáveis de desempenho de juvenis de jundiá alimentados com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum. Média e erro padrão de três repetições¹.

Variáveis de desempenho	Substituição Proteica, %					
	0	20	40	60	80	100
Peso final ² , g	44,30 ± 3,28	38,7 ± 2,84	29,0 ± 1,59	23,5 ± 1,15	21,2 ± 2,33	18,2 ± 0,92
Ganho de peso, % .dia ⁻¹	0,64 ± 0,07	0,52 ± 0,07	0,30 ± 0,04	0,18 ± 0,02	0,13 ± 0,05	0,06 ± 0,02
Taxa crescimento específico %	2,29 ± 0,16	2,06 ± 0,19	1,37 ± 0,13	0,95 ± 0,28	0,68 ± 0,28	0,34 ± 0,09
Consumo alimentar, % .dia ⁻¹	2,50 ± 0,09	2,41 ± 0,07	2,21 ± 0,17	2,11 ± 0,19	2,11 ± 0,08	1,88 ± 1,78
Conversão alimentar, %	1,19 ± 0,03	1,28 ± 0,10	1,70 ± 0,02	2,87 ± 0,33	7,14 ± 4,07	6,92 ± 1,78
Eficiência alimentar, %	0,84 ± 0,02	0,79 ± 0,06	0,59 ± 0,01	0,36 ± 0,05	0,26 ± 0,12	0,17 ± 0,05
Taxa de retenção proteica, %	36,4 ± 1,58	34,7 ± 1,70	29,9 ± 1,40	16,9 ± 2,49	15,9 ± 5,17	11,9 ± 2,97
Sobrevivência, %	100 ± 0,00	98,3 ± 1,67	98,3 ± 1,67	85,0 ± 10,41	86,7 ± 4,41	91,7 ± 3,33

¹ A análise de regressão polinomial de primeira ordem foi significativa para todas as variáveis ($P < 0,05$) e foram geradas as seguintes equações: peso final (PF) $y = -0,269x + 42,613$ ($R^2 = 0,855$); ganho de peso diário, % .dia⁻¹ $y = -0,00599x + 0,603$ ($R^2 = 0,854$); taxa de crescimento específico (TCE, % .dia⁻¹) $y = -0,0205x + 2,310$ ($R^2 = 0,879$); consumo alimentar, % .dia⁻¹ $y = -0,00707x + 0,929$ ($R^2 = 0,566$); conversão alimentar (CA) $y = 0,0481x + 0,28$ ($R^2 = 0,522$); eficiência alimentar (EA) $y = -0,00707x + 0,929$ ($R^2 = 0,566$); taxa de retenção proteica (TRP) $y = -0,274x + 37,996$ ($R^2 = 0,794$); sobrevivência, $y = -0,129x + 99,762$ ($R^2 = 0,231$). ² Peso inicial dos peixes = $15,46 \pm 1,30$ g.

O ganho em peso dos jundiás durante o período experimental foi influenciado pelas dietas. Os peixes apresentaram um decréscimo em ganho em peso em função dos níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum (Figura 1).

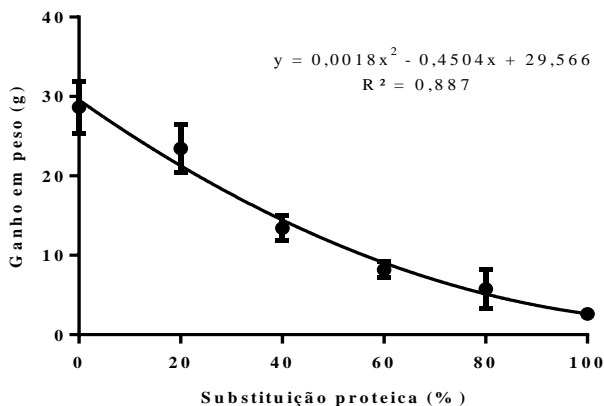


Figura 1. Regressão de segunda ordem do ganho em peso de juvenis de jundiá, alimentados com níveis crescentes de substituição proteica de farinha de peixe pela silagem de atum, durante 45 dias. Média e erro padrão de três repetições.

Considerando-se apenas o ganho em peso dos peixes alimentados com dietas com 0%, 20% e 40% de substituição proteica, observa-se que a substituição proteica de 20% não afetou o ganho em peso, em relação aos peixes alimentados com 100% de farinha de peixe. Já aqueles alimentados com 40% de substituição proteica apresentaram ganho em peso inferior (Figura 2). Isto sugere que a substituição proteica de farinha de peixe por silagem ácida de vísceras de atum não deve ultrapassar 20%.

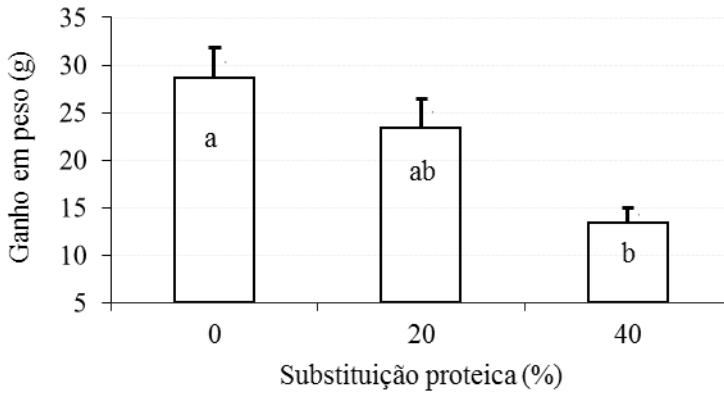


Figura 2. Médias de ganho em peso de juvenis de jundiá, alimentados com 0%, 20% ou 40% de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem ácida de atum, durante 45 dias. Letras diferentes entre os tratamentos indicam diferença significativa ($P < 0,05$). Análise de variância. Média e erro padrão de três repetições.

Composição corporal

A composição corporal dos jundiás foi afetada com o aumento dos níveis de silagem nas dietas (Tabela 14). Com o aumento dos níveis de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum, o conteúdo corporal de umidade aumentou e a gordura corporal diminuiu. O conteúdo corporal de proteína e cinzas não foi afetado significativamente.

Tabela 14. Composição corporal (na matéria úmida) inicial e final de juvenis de jundiá, alimentados com níveis crescentes de substituição proteica da farinha de peixe pela silagem de atum, durante 45 dias ^{1,2}.

Substituição proteica, %	Proteína bruta	Extrato Etéreo	Cinzas	Umidade
	%			
Peixe inicial	13,57 ± 0,29	5,11 ± 0,27	3,43 ± 0,38	76,47 ± 0,75
0	16,32 ± 0,52	7,69 ± 0,81	2,91 ± 0,13	73,26 ± 0,98
20	16,79 ± 0,25	7,49 ± 0,75	3,07 ± 0,08	72,69 ± 0,92
40	16,39 ± 0,33	6,83 ± 0,19	3,19 ± 0,18	73,41 ± 0,44
60	15,56 ± 0,33	5,92 ± 0,41	3,16 ± 0,37	74,69 ± 0,51
80	15,96 ± 0,39	4,94 ± 0,03	3,20 ± 0,10	75,53 ± 0,63
100	15,66 ± 0,49	4,99 ± 0,71	3,38 ± 0,11	75,52 ± 1,17

¹ Média ± erro padrão.

² A análise de regressão polinomial de primeira ordem da composição corporal final foi significativa ($P < 0,05$) para as variáveis: extrato etéreo e umidade e não significativa ($P > 0,05$) para as variáveis proteína bruta e cinzas. Foram geradas as seguintes equações: proteína bruta, %, $y = -0,00946x + 16,586$ ($R^2 = 0,208$); extrato etéreo, %, $y = -0,0315x + 7,886$ ($R^2 = 0,621$); cinzas, %, $y = 0,00387x + 2,958$ ($R^2 = 0,193$); umidade, %, $y = 0,0301x + 72,679$ ($R^2 = 0,407$).

DISCUSSÃO

A proteína bruta constituiu a maior fração da silagem de atum produzida, o que pode estar relacionado à utilização de um resíduo padronizado (vísceras), desprovidos de ossos, barbatanas ou cabeças, que possivelmente reduziriam o teor proteico. De acordo com Silva et al. (2013), maior quantidade de cabeças e nadadeiras contribui para o decréscimo do teor proteico e aumento da matéria mineral, enquanto que maior quantidade de vísceras, tende a aumentar o valor proteico.

As análises microbiológicas não indicaram crescimento significativo de microrganismos na matéria prima e na silagem produzida, o que demonstra a boa qualidade do resíduo utilizado. A ausência de microrganismos na silagem de atum reflete o papel importante do ácido acético na prevenção da proliferação de microrganismos durante o processo.

As aminas biogênicas são formadas através de descarboxilação de aminoácidos (por exemplo: histidina em histamina, lisina em

cadaverina, arginina em putrescina, tirosina em tiramina) (Ricque-Marie et al., 1998). Muitos fatores podem afetar os níveis de aminas biogênicas, tanto abióticos (manejo pós-captura, sistema de refrigeração e temperatura), como bióticos (genética, sexo, estado fisiológico e tipo de tecido do resíduo) (Veciana-Nogués et al., 1997; Silva et al., 2013).

Neste estudo durante o processo de produção da silagem de atum, a concentração das aminas biogênicas aumentou, com exceção da putrescina e espermidina. Esse aumento das concentrações de aminas biogênicas pode estar relacionado à temperatura ambiente ($28 \pm 1,30$ °C) a que o produto esteve exposto durante o processo de ensilagem. São raros os estudos realizados cuja a produção de silagem conte com o monitoramento das concentrações de aminas biogênicas presentes no produto a ser utilizado em dietas para peixes, sendo que os que existem, avaliam o efeito da concentração de diferentes aminas biogênicas de origem sintética em dietas em peixes.

Os níveis de putrescina, cadaverina e histamina encontradas neste estudo são inferiores aos encontrados em outros estudos (Cowey e Cho, 1992; Mendoza et al., 1997; Fairgrieve et al., 1994). Entretanto, algumas aminas biogênicas por si só não prejudicam o desempenho, mas este seria prejudicado por outras razões, como a indisponibilidade de aminoácidos, ou diminuição de atrativos palatáveis (Opstvedt et al., 2000). Ainda, estudos descartam a hipótese de que altas concentrações de aminas biogênicas estejam relacionados com a queda do desempenho produtivo de peixes e camarões (Opstvedt et al., 2000; Tapia-Salazar et al., 2004).

No ambiente natural, o pescado está sujeito a contaminação por elementos químicos tóxicos como metais pesados, normalmente presentes no ambiente marinho. Determinadas quantidades de metais pesados no pescado variam em função do ambiente onde esse pescado se encontra, sendo que as vísceras podem concentrar estes metais (Gonçalves, 2011). Os níveis de metais pesados encontrados na silagem de pescado, com exceção do chumbo e mercúrio, estão acima do limite máximo tolerado pela ANVISA em peixes predadores (cromo $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$, cádmio $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, chumbo $2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ e mercúrio $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$) para o consumo humano (BRASIL, Portaria 685). As concentrações destes elementos provavelmente seriam menores se o fígado tivesse sido retirado da composição das vísceras utilizadas, já que as substâncias tóxicas ingeridas tendem também a acumular-se no fígado para detoxificação (Gonçalves, 2011).

O CDA da proteína da silagem de atum (88,12%) foi semelhante ao CDA da proteína encontrado para a farinha de peixe (88,92%).

Valores inferiores de CDAs para proteína bruta em dietas para carpa indiana (*Labeo rohita*), foram encontrados por Hossain et al. (1997) para silagens de resíduos de pescado (84,08 e 85,11%), produzidas a partir dos ácidos fórmico e sulfúrico, respectivamente. Similarmente, os CDAs da proteína bruta de dietas contendo silagem biológica de resíduo de tilápia variaram de 79,4 a 87,2% para o bagre africano (*Clarias gariepinus*) (Fagbenro e Jauncey, 1995). Os valores superiores de digestibilidade proteica encontrados neste estudo podem estar relacionados à matéria prima utilizada para a produção da silagem, que é um resíduo padronizado (vísceras), diferente daquele utilizado nos outros estudos, cuja matéria prima incluía cabeças, ossos e outros componentes do pescado, que podem gerar silagens com composição nutricional variada, influenciando a digestibilidade de nutrientes. Entretanto, a digestibilidade proteica da silagem ácida de atum é inferior à encontrada para silagem de resíduos de filetagem de em dietas para tilápia-do-Nilo (96,7% de proteína bruta), relatado por Pimenta et al. (2008), que pode estar relacionado ao trato digestório longo da tilápia, favorável ao melhor aproveitamento de nutrientes. Já a alta digestibilidade da matéria seca da silagem (92,2%) em relação àquela registrada para farinha de peixe (83,84%), provavelmente está relacionada à hidrólise ácida a que este ingrediente foi submetido. Alto valor de digestibilidade aparente da matéria seca (95,5%) de silagem ácida para tilápia-do-Nilo foi também relatado por Pimenta et al. (2008).

Apesar da maioria das variáveis de composição e qualidade da silagem ácida de vísceras de atum serem similares ou até superiores às da farinha de peixe, no ensaio de crescimento com jundiá, todas variáveis de desempenho foram afetadas negativamente com o aumento dos níveis proteicos de silagem nas dietas. Tal fato está relacionado a pior aceitação das dietas, já que o consumo decresceu com o aumento da substituição proteica e, conseqüentemente, o aporte de energia e nutrientes, necessários para um crescimento adequado. A palatabilidade é definida como a combinação de atratividade e ingestão de uma dieta, sendo muito importante na avaliação de um novo ingrediente, pois independentemente de quão digestível e nutritivo um ingrediente possa ser, se este reduz a ingestão alimentar, seu valor nutricional é limitado (Glencross et al., 2007). O baixo consumo alimentar com o aumento da inclusão de silagem de vísceras de atum pode estar relacionado à baixa palatabilidade deste ingrediente. Adicionalmente, talvez a baixa estabilidade na água das dietas que continham silagem tenha contribuído para sua menor ingestão pelos peixes. Este fato foi registrado

principalmente a partir das dietas com maiores inclusões (40, 60, 80 e 100%) de silagem, onde foi observado que a água tornava-se momentaneamente turva (cerca de 1 h) após oferta de ração. Nesses tratamentos, os peixes cessavam a alimentação ou mostravam desinteresse pelos pêsletes de ração mais cedo em relação às dietas 0% e 20%, em que a turbidez da água não foi observada e o consumo foi maior. Foi medida a lixiviação proteica de todas as dietas experimentais e registrou-se uma perda de 1,12% à 3,19% de proteína bruta, quando as dietas foram submersas na água durante 5 min. O aumento da turbidez da água observado neste estudo pode estar relacionado à perda de nutrientes para a água, o que é consistente com a perda de nutrientes por lixiviação além da baixa palatabilidade de dietas extrusadas contendo silagem biológica, relatados para a carpa indiana (*Cyprinus carpio*) (Wood et al., 1985).

Ainda, outros fatores podem afetar à palatabilidade das dietas com silagem, como relatado em um estudo onde a degradação enzimática de tecidos de peixe gerou peptídeos de sabor amargo e, conseqüentemente, reduziu a palatabilidade do produto (Ricks et al., 1978; Raa; Gildberg, 1982). Existem relatos de enzimas que, após a liquefação de silagem, continuaram em atividade, prejudicando o valor nutricional da silagem, como é o caso da diminuição da vitamina B₁ (tiamina), a qual pode ser destruída pela enzima tiaminase, presente em maiores concentrações principalmente em silagem produzida a base de vísceras (Carver, 1989; Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000).

Os altos índices de acidez das dietas com silagem podem também ter comprometido sua aceitação pelos jundiás. O índice de acidez indica a presença de compostos oxidados que podem se complexar com proteínas, reduzindo o valor nutricional da silagem. O processo de oxidação lipídica que ocorre nos ácidos graxos com alto grau de instauração, resulta em alterações sensoriais (*off flavor*), afeta a qualidade nutricional da silagem, indisponibiliza proteínas e aminoácidos, produzindo substâncias tóxicas, que podem prejudicar o ganho de peso de animais (Feltet et al., 2010).

Estudos recentes relatam a manipulação da hidrólise proteica de silagens, de tal forma que, o grau de solubilização proteica seja monitorado. Nesse processo, após a massa entrar em liquefação o processo de hidrólise ácida é interrompido (Mendoza et al., 2001; Liang et al., 2006; Delcroix et al., 2014; Valle et al., 2015). As enzimas são inativadas por meio do aumento da temperatura, assegurando assim que as proteínas não sejam mais hidrolisadas e que seja mantida a integridade dos peptídeos e aminoácidos livres produzidos. Cabe

ressaltar que a solubilização por ação de enzimas é alta principalmente quando a matéria prima é constituída por vísceras (Backhoff, 1976; Raa e Gildberg, 1982), como é o caso do presente estudo. Entretanto, uma silagem parcialmente hidrolisada apresenta valor nutricional maior à silagem totalmente hidrolisada (Stone et al., 1989; Espe et al., 1992; Viana et al., 1996). De acordo com Oetterer (1994), o valor nutricional da silagem está na alta digestibilidade proteica, a qual deve ser preservada, evitando-se armazenamento prolongado e, portanto, hidrólise excessiva. Maior crescimento e sobrevivência foi registrado em larvas de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) alimentados com dieta contendo hidrolisado com menor grau de hidrólise (51% versus 54%) (Kotzamanis et al., 2007). Já a hidrólise proteica no presente estudo foi acima de 61,74%. Se o grau de autólise é elevado, dietas com um alto nível de inclusão de silagem podem ter um déficit de aminoácidos essenciais (Raa e Gildberg, 1982), já que, devido à degradação da proteína, os aminoácidos livres na silagem, particularmente triptofano, metionina e histidina, são mais sensíveis à degradação (Hertrampf e Piedad-Pascual, 2000). Ainda, silagens normalmente contém um nível elevado de aminoácidos livres, os quais podem ter um valor nutritivo inferior a proteínas intactas com a mesma composição. Estes aminoácidos livres são instáveis, mas estáveis quando ligados em proteínas (Raa e Gildberg, 1982). No presente estudo, os peixes alimentados pela dieta com farinha de peixe como ingrediente exclusivo, apresentaram a melhor conversão alimentar, o que sugere bom aproveitamento da fonte proteica do alimento, provavelmente pela farinha de peixe ser uma fonte de proteína menos hidrolisada que a silagem.

Entretanto, também existem relatos de desempenho zootécnico aceitável em peixes com a utilização de silagem na dieta (Refstie et al., 2004; Bueno e Fernandes, 2006; Costa et al., 2009) . Porém, nestes estudos os níveis de substituição proteica (até 16%) foram inferiores aos adotados no presente estudo, cuja a substituição da farinha de peixe por silagem chegou a ser total. Hertrampf e Piedad-Pascual (2000) relatam que altos níveis de silagem ácida nas dietas podem ter efeitos adversos e recomendam que a inclusão de silagem não ultrapasse 20% de conteúdo proteico em dietas.

A taxa de retenção proteica também diminuiu com o aumento da silagem nas dietas, o que pode estar relacionado não apenas ao baixo consumo, mas provavelmente pela fração proteica da silagem apresentar maior concentração de peptídeos ou aminoácidos livres. De acordo com

Espe et al. (1989) os aminoácidos livres são facilmente absorvidos no intestino, mas rapidamente desviados da síntese proteica para a rota catabólica. Stone et al. (1989) referem ainda que altos níveis de aminoácidos livres na dieta interferem no mecanismo de absorção de peptídeos de cadeia curta. Ligações covalentes entre proteínas e produtos oxidados podem destruir aminoácidos como triptofano, oxidar a metionina e ligar a lisina a outros compostos, tornando esses aminoácidos indisponíveis (Nelson e Cox, 2000; Borghesi et al., 2007).

A menor sobrevivência registrada nos peixes alimentados com dietas principalmente com as três maiores inclusões de silagem, pode estar relacionada ao menor consumo, já que os peixes não ingeriram o aporte de proteína e energia necessários para um crescimento adequado. Nesses peixes, o ganho em peso diário esteve abaixo de 0,20%, sendo que, alguns apresentavam-se aparentemente debilitados, com pesos inferiores ao peso inicial da estocagem. Isto pode ter causado a mortalidade dos peixes, a qual ocorreu principalmente na última quinzena do experimento. O conteúdo de gordura corporal dos jundiás diminuiu com o aumento da silagem nas dietas possivelmente devido ao baixo consumo registrado.

Embora tenha sido observada uma resposta zootécnica linear negativa, os peixes alimentados com dietas contendo 20% de silagem não apresentaram perda significativa no ganho em peso, em relação aos peixes alimentados com dieta sem silagem, o que sugere que níveis de inclusão de silagem abaixo de 20% nas dietas não prejudicam o ganho em peso. Este resultado corrobora com outros estudos, cuja a substituição da farinha de peixe por silagem foi de, até 8% para alevinos de piaçu (*Leporinus macrocephalus*) (Bueno e Fernandes, 2006), 30 a 40% para juvenis de “rockfish” (*Sebastes schlegeli*) (Jeon et al., 2014), de 15,16 a 16,5% para larvas de camarão (*L. vannamei*) (Valle et al., 2014), até 15% para “Sea bass” (*M. salmoides*) (Arruda et al., 2009), até 40% para tilápia-do-Nilo (Pimenta et al., 2008), sem prejudicar o desempenho zootécnico.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem atenção durante o processo de solubilização proteica de silagens, antes da sua inclusão em dietas para peixes. O controle de concentrações de peptídeos de menor peso molecular e aminoácidos livres liberados pode ser interessante, visto que, os aminoácidos livres, além de possuir maior instabilidade, podem produzir sabor amargo nas dietas. Adicionalmente, altos níveis de aminoácidos livres na dieta interferem na absorção de peptídeos e aminoácidos, podendo comprometer a síntese proteica corporal (Espe et al., 1989).

Conclui-se que o jundiá responde de forma negativa, principalmente a níveis proteicos de silagem de atum acima de 20% nas dietas, com o grau de solubilidade proteica de 61,74%.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) pelo financiamento deste estudo, por meio da chamada N°42/2012. Ao CNPq, pelas bolsas concedidas ao primeiro e último autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. 1999. Association of Official Analytical Chemist. International Official methods of analysis. 16th ed. 5th Revision. Washington DC.

AOCS. 2003. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society. American oil Chemists Society, Champaign.

Backhoff, H. P. 1976. Some chemical changes in fish silage. International Journal of Food Science and Technology 11(4): 353–63.

Blyth, D.; Tabrett, S.; Bourne, N. and Glencross B. 2015. Comparison of faecal collection methods and diet acclimation times for the measurement of digestibility coefficients in Barramundi (*Lates calcarifer*). Aquaculture Nutrition 21(2): 248–55. <http://doi.wiley.com/10.1111/anu.12159>.

Borghesi, R.; Arruda, L.F.; e Oetterer M. 2007. A silagem de pescado na alimentação de organismos aquáticos. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos: 329–39.

Bueno, R, e J. B. K Fernandes. 2006. Silagem ácida de resíduos da filetagem de tilápias em dietas de alevinos de piaçu *Leporinus Macrocephalus*. Dissertação (M.S.c). Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

Bureau, D. P. and K. Hua. 2006. Letter to the Editor of Aquaculture. *Aquaculture* 252(2-4): 103–5.

Brasil. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Animal, Métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água, Instrução Normativa n° 62 de 26/08/2003, 164p.

Brasil. Portaria n° 6855 de 1998 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de agosto de 1998.

Cho, C. Y. and Slinger, S. J. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for Rainbow Trout. *Finfish nutrition and fishfeed technology*.

https://scholar.google.com.br/scholar?q=Apparent+digestibility+measurement+in+feedstuffs+for+rainbow+trout&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5#0 (July 5, 2015).

Costa, C. N.; Portz, L.; Hisano, H.; Druzian, J. I. e Ledo, C.A.S. 2009. Silagem ácida do resíduo do camarão *Litopenaeus vannamei* em rações para tilápia-do-Nilo. *Acta Scientiarum - Animal Sciences* 31(2): 161–67.

Cowey, C. B., and Cho, C. Y. 1992. Failure of dietary putrescine to enhance the growth of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49(12): 2469–73. http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f92-272#.Vc-1p_IVikp (August 4, 2015).

Delcroix, J.; Gatesoupe, F. J.; Desbruyeres, E.; Huelvan, C; Le Delliou, H.; Le Gall, M. M.; Quazuguel, P.; Mazurais, D. e Zambonino-Infante, J. L. 2014. The effects of dietary marine protein hydrolysates on the development of Sea Bass larvae, *Dicentrarchus Labrax*, and Associated Microbiota. *Aquaculture Nutrition* 21: 98–104.

Espe, M.; Haaland, H. and Njaa, L. R. 1992. Substitution of fish silage protein and a free amino acid mixture for fish meal protein in a chicken diet. *International journal of food science and technology* 58(3): 215–319.

Espe, M.; Raa, J. and Njaa, L. R. 1989. Nutritional value of stored fish silage as a protein source for young rats. *Journal of the science of food and agriculture* 49: 259–70.

Espe, M.; Sveier, H.; Hogoy, I; Lied E. 1999. Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fed fish protein concentrate. *Aquaculture*. V.174, pp. 119-137.

FAO. Fisheries and Aquaculture topics. Fish and seafood utilization. Topics Fact Sheets. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. 2013.

Fagbenro, O. and Jauncey, K. 1995. Water stability, nutrient leaching and nutritional properties of moist fermented fish silage diets. *Aquacultural Engineering* 14(2): 143–53.

Fairgrieve, W. T.; Myers, M. S.; Hardy, R. W. and Dong, F. M. 1994. Gastric abnormalities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed amine-supplemented diets or chicken gizzard-erosion-positive fishmeal. *Aquaculture* 127(2-3): 219–32.

Feltes, M. M. C.; Correia, J. F. G.; Beirão, L. H.; Block, J. M.; Ninow, J. L. e Spiller, V. R. 2010. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14(6): 669–77.

Flament, P.; Bertho, M. L.; Deboudt, K.; Véron, A.; Puskaric, E. 2002. European isotopic signatures for lead in atmospheric aerosols: a source apportionment based upon $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ Ratios. *The Science of the total environment* 296: 35–57.

Folch, J.; Lees, M.; Sloane, and Stanley, G. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497–509.

Fukushima, H. e Zaniboni Filho, E. 2009. Avaliação do cultivo de jundiás *Rhamdia quelen* Triploides: I. Efeito da triploidia na hematologia de juvenis de jundiá *Rhamdia quelen* (Siluriforme: Heptapteridae); II. Comparação do desempenho de larvas diplóides e

triplóides de jundiá *Rhamdia quelen* (Quoy e Gaimard, 1824). Dissertação (M.Sc.). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Glencross, B. D.; Booth, M. and Allan, G. L. 2007. A feed is only as good as its ingredients - A Review of Ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition* 13(1): 17–34.

Gloria, M.B.A. Bioactive Amines. In: Hui, Y.H. (Ed), *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*, Taylor & Francis. V.1 Cap. 13. 1-34. 2006.

Gonçalves, A. A. *Tecnologia do Pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação*. 2011. Editora Atheneu. São Paulo, 608 p.

Haard, N. F.; Kariel, N.; Herzberg, G.; Feltham, L. A. W. and Winter, K. 1985. Stabilization of protein and oil in fish silage for use as a ruminant feed supplement. *Journal of Science Food Agriculture* 36: 229–41.

Hagen, S. R. 1989. Precolum phenylisothiocyanate derivatization and liquid chromatography of aminoacids in food. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 2(6): 912–16.

Hartman, L. and Lago, R. C. A. 1973. Rapid Preparation of Fatty Acid Methyl Esters from Lipids. *Laboratory Practice* (22): 475–77.

Hertrampf, J.W. and Piedad-Pascual, F. 2000. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Springer Science & Business Media. <https://books.google.com/books?id=kJ7-CAAAQBAJ&pgis=1> (July 9, 2015).

Hisano, H.; Ishikawa, M. M., e Portz, L. 2012. Produção de silagem ácida a partir de vísceras de surubim (*Pseudoplatystoma Sp.*) e avaliação da digestibilidade para tilápia-do-Nilo. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 13(3): 872–79.

Hossain, M. A.; Nahar, N. and Kamal, M. 1997. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for Rohu (*Labeo rohita*). *Aquaculture* 151(1-4): 37–45.

Jeon, G. K.; Kim, H. S.; Myung, S. H. and Cho, S. H. 2014. The effect of dietary substitution of fishmeal with tuna-by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes sclegeli*) 20: 753-761.

Junior, W. M. M. e Sales, R. O. 2013. Propriedades funcionais da obtenção da silagem ácida e biológica de resíduos de pescado. Uma Revisão.” Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal 07: 126–56.

Kotzamanis, Y. P.; Gisbert, E.; Gatesoupe, F. J.; Zambonino Infante, J. and Cahu, C. 2007. Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to vibrio anguillarum in european sea bass (*Dicentrarchus Labrax*) larvae. Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology 147(1): 205–14.

Liang, M.; Wang, J.; Chang, Q. and Mai, K. 2006. Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the nonspecific immunity of japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvieret Valenciennes, 1828). Aquaculture Research 37(1): 102–6.

Mendoza, R.; Montemayor, J. and Verde, J. 1997. Biogenic amines and pheromones as feed attractants for the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Aquaculture Nutrition 3(3): 167–73.

Mendoza, R.; De Dios, A.; Vazquez, C.; Cruz, E.; Ricque, D.; Aguilera, C. and Montemayor, J. 2001. Fishmeal replacement with feather-enzymatic hydrolyzates co-extruded with soya-bean meal in practical diets for the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Nutrition 7(3): 143–51.

Meyer, G. and Fracalossi, D. M. 2004. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 240(1-4): 331–43.

Mondal, K.; Kaviraj, A. and Mukhopadhyay, P. K. 2008. Evaluation of fermented fish-offal in the formulated diet of the freshwater catfish *Heteropneustes fossilis*. Aquaculture Research 39(13): 1443–49.

NRC, 2011. National Research Council. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington D. C.

Oetterer, M. 1994. Produção de silagem a partir da biomassa residual de pescado. Alimentos e Nutrição 5: 119–34.

Opstvedt, J.; Mundheim, H.; Nygard, E.; Aase, H. and Pike, I. H. 2000. Reduced growth and feed consumption of atlantic salmon (*Salmo Salar* L.) fed fish meal made from stale fish is not due to increased content of biogenic amines. Aquaculture 188(3-4): 323–37.

Pimenta, M. E. S. G.; Oliveira, M. M.; Logato, P. V. R.; Pimenta, C. J. e Freato, T. A. 2008. Desempenho produtivo e digestibilidade pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* - Linnaeus, 1758) alimentada com dietas suplementadas com níveis crescentes de silagem ácida de pescado. Ciencia e Agrotecnologia 32(6): 1953–59.

Raa, J. and Gildberg, A. 1982. Fish Silage: A Review. Critical reviews in food science and nutrition 16(4): 383–419.

Refstie, S.; Olli, J. J. and Standal H. 2004. Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic Salmon (*Salmo Salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. Aquaculture 239(1-4): 331–49.

Ricque-Marie, D.; La Parra, Ma. I. A.; Cruz-Suarez, L. E.; Cuzon, G.; Cousin, M.; Aquacop and Pike, I. H. 1998. Raw material freshness, a quality criterion for fish meal fed to shrimp. Aquaculture 165(1-2): 95–109.

Santos e Gonçalves, A.A. Tecnologias tradicionais *In*: Tecnologia do Pescado - Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação. 608p. 2011.

Silva, M. F. O.; Enke, D. B. S. e Fracalossi, D. M. 2013. Produção e caracterização da silagem ácida elaborada em duas condições térmicas com resíduos do enlatamento de sardinha. Dissertação (M.S.c). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Silva, S. de; Anderson, T. 1995. Fish Nutrition in Aquaculture, London: Chapman & Hall. P.100-123.

- Stone, F. E.; Hardy, R. W.; Shearer, K. D. and Scott, T. M. 1989. Utilization of fish silage by Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 76(1-2): 109–18.
- Tapia-Salazar, M.; Cruz-Suárez, E.; Ricque-Marie, D.; Pike, I. H.; Smith, T. K.; Harris, A.; Nygard, E and Opstvedt, J. 2004. Effect of fishmeal made from stale versus fresh herring and of added crystalline biogenic amines on growth and survival of Blue Shrimp *Litopenaeus stylirostris* fed practical diets. *Aquaculture* 242(1-4): 437–53.
- Valle, B.C.S.; Dantas Jr, E. M.; Silva, J. F. X.; Bezerra, R. S.; Correia, E. S.; Peixoto, S. M. R. and Soares, R. B. 2015. Replacement of fishmeal by fish protein hydrolysate and biofloc in the diets of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Aquaculture Nutrition* 21(1): 105–12. <http://doi.wiley.com/10.1111/anu.12149>.
- Viana, M. T.; López, L. M.; García-Esquivel, Z. and Mendez E. 1996. The Use of silage made from fish and abalone viscera as an ingredient in abalone feed. *Aquaculture* 140(1-2): 87–98.
- Vizcarra-Magan, L. A.; Avila, E. and Sotelo, A. 1999. Silage preparation from tuna fish wastes and its nutritional evaluation in broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79(13): 1915–22.
- Wood, J. F.; Capper, B. S. and Nicolaidis, L. 1985. Preparation and evaluation of diets containing fish silage, cooked preserved with formic acid and low-temperature-dried fish meal as protein sources for Mirror Carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* 44: 27–40.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação faz parte de uma linha de pesquisa cujo objetivo é avaliar a silagem ácida de resíduos de pescado na elaboração de dietas para peixes. Alguns aspectos práticos foram observados durante a realização do experimento, cuja menção visa contribuir com o planejamento de futuros estudos com esta espécie, utilizando instalações similares as do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD).

A utilização de jundiás fêmeas no ensaio de digestibilidade se deveu ao facto de estes apresentarem maior crescimento em relação à machos, o que interessa os piscicultores e justifica a sua pesquisa. A utilização de jundiás machos e fêmeas no ensaio de crescimento, se deveu ao facto de, na fase de crescimento em que se encontravam os jundiás ($15,64 \pm 1,26$ g) ser difícil a realização da sexagem manual, já que não apresentavam ainda dimorfismo sexual.

No ensaio de digestibilidade, houve mortalidade em alguns tanques, a qual provavelmente esteve relacionada ao formato físico dos tanques, cuja base é afunilada (Figura 7, Anexo), o que possivelmente não permitiu a acomodação e conforto dos bagres, que normalmente preferem permanecer no fundo dos tanques.

No ensaio de crescimento, foi notório o estresse dos peixes principalmente os que exibiram os menores consumos (40, 60, 80 e 100% de silagem).

As análises laboratoriais de determinação da composição centesimal dos peixes, das rações, da silagem e a determinação da composição de ácidos graxos presentes na fração lipídica da silagem, foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LabNutri) pertencente a UFSC, em Florianópolis - SC. As análises microbiológicas da matéria prima utilizada e silagem produzida, foram realizadas no Laboratório de Análises (Labcal) do Departamento de Ciências de Alimentos – UFSC, em Florianópolis - SC.

A determinação da concentração de aminas biogênicas nas vísceras de atum e na silagem de atum foram realizadas no Laboratório de Bioquímica de Alimentos (LBqA) pertencente a Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte – MG.

A quantificação da concentração de cromo, cádmio, chumbo e mercúrio na silagem e a determinação da concentração de óxido de ítrio nas rações e fezes, foram realizadas no Laboratório de Espectrometria

atômica do Departamento de Química – UFSC, em Florianópolis - SC. As análises de determinação dos índices de peróxido e acidez nas dietas, foram determinados nos Laboratórios de Análises da CBO em Campinas-SP.

A alta umidade (77,22%) da silagem de atum (Figura 4, Anexo), representou um problema para a confecção das dietas experimentais. A silagem necessitou de um longo período (10 dias) para redução dessa umidade em estufa à 55 °C.

Sugere-se que estudos adicionais sejam realizados, focando em silagem com diferentes graus de hidrólise proteica e também quantificando as frações solúveis como peptídeos e aminoácidos livres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO GERAL

ABIMORAD, E.G.; STRADA, W.L.; SCHALCH, S.H.C.; GARCIA, F.; CASTELLANI, D.; MANZATTO, M. da R. Silagem de peixe em ração artesanal para tilápia-do-Nilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, pp. 519-525, 2009.

ARRUDA, L.F. Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos. 78p. **Dissertação (Mestrado em Ciências)** - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

ARRUDA, L.F.; BORGHESI, R.; PORTZ, L.; CYRINO, J. E. P.; OETTERER, M., 2009. Fish silage in black bass (*Micropterus Salmoides*) feed as an alternative to fishmeal. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, pp.1261–1266, 2009.

ASGARD, T.; AUSTRENG, E. Dogfish offal, ensile dor frozen, as feed for salmonids. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 49, p. 289-305, 1985.

BACKHOFF, H.P. Some chemical changes in fish silage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 11(4), pp.353–363, 1976.

BERAQUET, N. J.; GALACHO, S. A. A. Composição, estabilidade e alterações na fração proteica e no óleo de ensilado de resíduos de peixe de camarão. **Coleção ITAL**. n.13, p. 149-174, Campinas, 1984.

BLYTH, D.; TABRETT, S.; BOURNE, N.; GLENCROSS, B. Comparison of faecal collection methods and diet acclimation times for the measurement of digestibility coefficients in barramundi (*Lates calcarifer*). **Aquaculture Nutrition**, v. 21(2), pp.248–255, 2015. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/anu.12159>.

BORGHESI, R. Avaliação físico-química, nutricional e biológica elaboradas com descarte e resíduo do beneficiamento da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Dissertação (mestrado)**. Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz. 96p. São Paulo, 2004.

BREMER NETO, H.; GRANER, C.A.F.; PEZZATO, L.E.; PADOVANI, C.R., CANTELMO, O. A. Diminuição do teor de óxido

de cromo (III) usado como marcador externo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.249-255, 2003.

BUENO, R.J.; FERNANDES, J.B.K. Silagem ácida de resíduos da filetagem de tilápias em dietas de alevinos de piauçu (*Leporinus macrocephalus*). 46 f; **Dissertação (mestrado)**. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

CARNEIRO, P.C.F.; MIKOS, J.D. Frequência alimentar e crescimento de alevinos de jundiá, *Rhamdia quelen*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 187-191, 2005.

CHO, C.; SLINGER, S. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. **Finfish nutrition and fish feed technology**, 1979. Available at: https://scholar.google.com.br/scholar?q=Apparent+digestibility+measurement+in+feedstuffs+for+rainbow+trout&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5#0 [Accessed July 5, 2015].

COLDEBELLA, I.J.; NETO, J.R.; MALLMANN, C.A.; VEIVERBERG, C.A.; BERGAMIN, G.T.; PEDRON, F.A.; FERREIRA, D.; BARCELLOS, L.J.G. The effects of different protein levels in the diet on reproductive indexes of *Rhamdia quelen* females. **Aquaculture**. v. 312, pp. 137-144, 2011.

COSTA, C.N.; PORTZ, L.; HISANO, H.; DRUZIAN, J.I.; LEDO, C.A.S. Silagem ácida do resíduo do camarão *Litopenaeus vannamei* em rações para tilápia-do-Nilo. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**. v. 31, pp. 161-167, 2009.

ENKE, D.B.S.; LOPES, P.S.; KICH, H.A.; BRITTO, A.P.; SOQUETTA, M.; POUHEY, J.L.O.F. Utilização de farinha de silagem de pescado em dietas para o jundiá na fase juvenil. **Ciência Rural**. v. 39, pp. 871-877. 2009.

ESPE, M.; SVEIER, H.; HOGOY, I; LIED E. Nutrient absorption and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) fed fish protein concentrate. **Aquaculture**. v.174, pp. 119-137, 1999.

FAGBENRO, O.; JAUNCEY, K. Growth and protein utilization by juvenile catfish (*Clarias Gariepinus*) fed dry diets containing co-dried

lactic-acid-fermented fish-silage and protein feedstuff. **Bioresource Technology**. v.51, pp. 29-35, 1994.

FRACALOSSO, D. M.; BORBA, M. R.; OLIVEIRA-FILHO, R.C.; MONTES-GIRAO, P.J.; CANTON, R. O mito da onivoria do Jundiá. **Panorama da Aquicultura**. v.17, pp.36-40. 2007.

FUKUSHIMA, H.; ZANIBONI FILHO, E. Avaliação do cultivo de jundiás, *Rhamdia quelen* triploides: I. Efeito da triploidia na hematologia de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen* (Siluriforme: Heptapteridae); II. Comparação do desempenho de larvas diploides e triploides de jundiá, *Rhamdia quelen*.48 f. **Dissertação (mestrado)**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis, 2009.

GIATTI, V.A.; ENKE, D.B.S; FRACALOSSO. Avaliação da qualidade da farinha de vísceras de aves de diferentes indústrias e épocas do ano. 71 p. **Dissertação (mestrado)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2011.

GLENCROSS, B.D.; BOOTH, M.; ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients - A review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, v. 13(1), pp.17-34, 2007.

GLORIA, M.B.A. Bioactive Amines. In: Hui, Y.H. (Ed), **Handbook of Food Science, Technology, and Engineering**, Taylor & Francis. v.1 Cap. 13. 1-34, 2006.

GOMINHO-ROSA, M.D.C.; RODRIGUES, A. P. O.; MATTIONI, B.; FRANCISCO, A.; MORAES, G.; FRACALOSSO, D. M. Comparison between the omnivorous jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the utilization of dietary starch sources: Digestibility, enzyme activity and starch microstructure. **Aquaculture**. v. 435, pp.92-99, 2014.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do Pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação**. Editora Atheneu. São Paulo, 608 p, 2011.

HALL, G.M.; KEEBLE, D.; LEDWARD, D.A.; LAWRIE, R.A. Silage from tropical fish 1. Proteolysis. **Journal of Food Technology**. v. 20, pp. 561-572, 1985.

HARDY, R.W.; SHEARER, K.D.; STONE, F.E.; WIEG, D.H. **Journal of World Mariculture Society**. v. 703, PP. 695-703, 1983.

HERAS, H.; MCLEOD, C. A.; ACKMAN, R.G. Atlantic dogfish silage vs. herring silage in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): growth and sensory evaluation of fillets. **Aquaculture**. v. 125(1-2), pp.93-106, 1994.

HERTRAMPF, J.W.; PIEDAD-PASCUAL, F. **Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds**, Springer Science & Business Media. Netherlands. Kluwer Academic Publishers, 2000.

HISANO, H.; ISHIKAWA, M. M.; PORTZ, L. Produção de silagem ácida a partir de vísceras de surubim (*Pseudoplatystoma sp.*) e avaliação da digestibilidade para tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13(3), pp.872-879, 2012.

HOSSAIN, M.A.; NAHAR, N.; KAMAL. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for rohu (*Labeo rohita*). **Aquaculture**. v. 151, pp. 37-47, 1997.

JACKSON, A.J.; KERR, A.K. Fish silage as a dietary ingredient for salmon. I. Nutritional and storage characteristics. **Aquaculture**. v. 38, pp. 211-220, 1984.

JÚNIOR, W. M. M.; SALES, R. de O. Propriedades Funcionais da Obtenção da Silagem Ácida e Biológica de Resíduos de Pescado. Uma Revisão. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. v. 07, pp.126-156, 2013.

LIANG, M.; WANG, J.; CHANG, Q.; MAI, K. Effects of different levels of fish protein hydrolysate in the diet on the nonspecific immunity of Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvieret Valenciennes, 1828). **Aquaculture Research**. v. 37(1), pp.102-106, 2006.

MEURER, S.; ZANIBONI FILHO, E. Hábito alimentar do jundiá, *Rhamdia quelen* (Pisces, Siluriformes, Pimelodidae), na região do alto rio Uruguai. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ICTIOLOGIA, 12. **Anais...** São Paulo. 29. 1997.

MEYER, G.; FRACALOSSO, D. Protein Requirement of jundiá fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. **Aquaculture**, 240: 331-343, 2004.

MONTES-GIRAO, P.J., FRACALOSSO, D.M. Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for jundiá, *Rhamdia quelen*. **J. World Aqua. Soc.** 37, 388-396, 2006.

NRC. National Research Council: Subcommittee on fish. **Nutrition. Nutrient Requirements of fish.** 124p, 1993.

OETTERER, M. Produção de silagem a partir de biomassa residual de pescado. **Alimentos e Nutrição.** v.5 pp. 119-134. São Paulo, 1994.

OLIVEIRA, A.M.B.M.; CYRINO, J.E.P. Atrativos alimentares em dietas de base proteica vegetal para o 'Black bass' *Micropterus salmoides*. **Scientia Agricola.** v. 61, pp. 326-331, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, P.R.C.; FRACALOSSO, D.M., Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35(4), pp.1581-1587, 2006.

PIMENTA, M.E.D.S.G. et al. Desempenho produtivo e digestibilidade pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) alimentada com dietas suplementadas com níveis crescentes de silagem ácida de pescado. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(6), pp.1953-1959, 2008.

RAA, J.; GILDBERG, A. Fish Silage: A review. **Critical reviews in food science and nutrition.** v.16, pp. 383-419, 1982.

REFSTIE, S.; OLLI, J. J.; STANDAL, H. Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. **Aquaculture.** v. 239, pp. 331-349, 2004.

RODRIGUES, A.P.O., GOMINHO-ROSA, M.D.C., CARGNIN-FERREIRA, E., DE FRANCISCO, A., FRACALOSSO, D.M., Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aqua. Nutr.** 18, 65-72, 2012.

SILVA, L. V. F.; GOLOMBIESKI, J. I.; BALDISSEROTTO, B. Incubation of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae), eggs at different calcium and magnesium concentrations. **Aquaculture**, v.228, p. 279-287, 2003.

SILVA, M.F.O.; ENKE, D.B.S.; FRACALOSSO, D.M. Produção e caracterização da silagem ácida elaborada em duas condições térmicas com resíduos do enlatamento de sardinha. **Dissertação (mestrado)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SILVA, S. DE; ANDERSON, T. **Fish Nutrition in Aquaculture**, London: Chapman & Hall. P.100-123, 1995.

SOUZA, J. M. L. Avaliação nutricional de silagem biológica de resíduos de pescado na alimentação de alevinos de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidade Federal do Ceará. **Dissertação (mestrado)**. Fortaleza, 1998.

STROM, T.; EGGUM, B.O. Nutritional value of fish viscera silage. **J. Sci. Food Agric**, v. 32, p. 115-20, 1981.

TACON, A.; METIAN, M. Global overview on the use of fishmeal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. **Aquaculture**, v. 285, pp.146-158, 2008.

TATTERSON, I.N. & WINDSOR, M.L. Fish silage. **J. Sci. Food Agric**. v. 25, p. 369-379, 1974.

VALLE, B.C.S.; DANTAS, E.M.; SILVA, J.F.X; BEZERRA, R.S.; CORREIA, E.S; PEIXOTO, S.R.M.; SOARES, R.B. Replacement of fishmeal by fish protein hydrolysate and biofloc in the diets of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. **Aquaculture Nutrition**, 21(1), pp.105–112. 2015. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/anu.12149>.

VIZCARRA-MAGAN, L.A.; AVILA, E.; SOTELO, A. Silage preparation from tuna fish wastes and its nutritional evaluation in broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 79(13), pp.1915–1922, 1999.

ANEXO



1. Transporte das vísceras de atum.



2. Vísceras de atum.



3. Trituração das vísceras de atum.



4. Revolvimento da massa.



5. Monitoramento do pH da silagem.

6. jundiá (*Rhamdia quelen*).



7. Ensaio de digestibilidade: Unidades experimentais.



8. Ensaio de crescimento: Unidades experimentais.



9. Dietas experimentais utilizadas.