

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Samuel Louzada Pereira

Processamento térmico e enzimático em ingredientes na pré-confecção da ração, avaliação do desempenho e digestibilidade para o lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*)

Campos dos Goytacazes

Abril de 2020

Samuel Louzada Pereira

Processamento térmico e enzimático em ingredientes na pré-confeção da ração, avaliação do desempenho e digestibilidade para o lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*)

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Campos dos Goytacazes

Abril de 2020

Samuel Louzada Pereira

Processamento térmico e enzimático em ingredientes na pré-confecção da ração, avaliação do desempenho e digestibilidade para o lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*)

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Aprovada em ___ de _____ de 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Pierro Mendonça (IFES-Alegre)

Prof. Dr. Douglas da Cruz Mattos (IFES-Piúma)

Prof. Dr. Manuel Vazquez Vidal Jr (Coorientador)

Prof. Dr. Dalcio Ricardo de Andrade (Orientador)

Campos dos Goytacazes

Abril de 2020

Aos meus pais, Joás Pereira e Ana Maria Louzada da Silva,
pela dedicação, apoio, atenção e servirem de exemplo de vida.

Aos meus irmãos, Lucas, Wilkerson, Larisse e Christiane,
por todo apoio e incentivo, determinantes em todas as etapas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as dádivas, sempre.

Aos meus pais, Joás Pereira e Ana Maria Louzada da Silva Pereira, pelo apoio, companheirismo e amizade em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Lucas, Wilkerson, Larisse, Christiane, por todo apoio, conversas e carinho, muito obrigado.

Aos meus cunhados e cunhadas, por todos os momentos alegres e divertidos nas visitas que tivemos em diversos períodos.

Sem dúvidas, sem vocês as coisas seriam muito difíceis.

À Marliane (UFV) e ao meu Irmão Lucas (IFES), pelas contribuições na realização de algumas etapas.

À minha companheira de vida, Gabrielly, pelo companheirismo, carinho e cumplicidade.

Aos meus amigos Neto, Rafael (boizin), Thiago (zig), Henrique (druidão), Daniel (kozi), Sylvio, Matheus (slayer), Henrique, Rodolfo, Danilo (tuchebe), Àngel.

Aos meus amigos de minha cidade natal que, mesmo na distância, mantivemos firme a relação amistosa, Kassio, Rafane, Igor (ganizé), Douglas (arroiz) e demais.

Aos funcionários do Laboratório de Piscicultura Intensiva, Mussurepe e Wellington.

Aos colegas de laboratório, Yuri, Jorge Lucas, Manoel Adriano, Estevão, Saulo, Bruno, As “Gabys”, Soraya, Yasmin, Karen.

Aos professores Tadeu Silva de Oliveira e Leonardo Siqueira Glória, pelas conversas bastante instrutivas e, principalmente, pelos conhecimentos passados.

Aos meus professores, Pedro Pierro Mendonça, por todos os ensinamentos proporcionados desde a época de IFES, que carrego sempre.

Ao meu Coorientador Manuel Vazquez Vidal Júnior, por todos os ensinamentos, paciência e contribuição durante todo meu trajeto.

Ao meu Orientador Dalcio Ricardo de Andrade, por contribuir com muitas experiências durante o meu trajeto.

Não conseguiria preencher o nome de todas as pessoas que, em algum momento, fizeram parte desta história, contribuíram com conversas, dicas e ensinamentos, meus sinceros agradecimentos a todos. Muito obrigado!

RESUMO

Esta investigação avaliou o efeito do processamento térmico e enzimático em ingredientes contendo amido na digestibilidade da ração e desempenho do *Astyanax altiparane*. Antes da confecção das dietas, os ingredientes farelo de soja, farelo de trigo e farelo de milho receberam processamentos térmicos e enzimáticos. Para o experimento de desempenho foram utilizados 4 tratamentos experimentais, em delineamento inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos eram: T1: Ingredientes que receberam apenas cocção, T2: Ração com cocção + uso de alfa amilase; T3: ingredientes não cozidos + uso de alfa amilase; T4: sem nenhum processamento dos ingredientes. Foram utilizadas 3.200 larvas de *Astyanax altiparanae*, distribuídas em 16 aquários experimentais, na densidade de 10 Larvas L⁻¹ em cada unidade experimental. A duração do primeiro experimento foi de 28 dias para a primeira fase (larval) e 28 dias para a segunda fase (juvenis). Não houve diferença para algumas variáveis na primeira fase experimental, porém, na segunda fase, os animais que receberam dietas contendo processamento dos ingredientes apresentaram melhor desempenho. Para o experimento de digestibilidade, foram utilizadas as mesmas rações e o mesmo delineamento que o experimento de desempenho. Foram utilizadas 200 gramas de biomassa viva de *Astyanax altiparane*, em cada unidade experimental, distribuídos em 16 aquários, com 4 tratamentos e 4 repetições. O experimento possuiu a duração de 10 dias de aclimação à dieta seguidos por 5 dias de coleta de fezes. O coeficiente de digestibilidade das rações apresentou diferença entre os tratamentos, com os melhores resultados observados em dietas que receberam tratamento térmico e enzimático.

Palavras-chave: Amido. Lambari. Cultivo. Nutrição. Piscicultura.

ABSTRACT

This investigation evaluated the effect of thermal and enzymatic processing on ingredients containing starch in the digestibility of the diet and performance of *Astyanax altiparanae*. Before making the diets, the soybean, wheat bran and corn bran ingredients received thermal and enzymatic processing. For the performance experiment, 4 experimental treatments were used, in a completely randomized design, with four replications. The treatments were: T1: Ingredients that received only cooking, T2: Cooking food + use of alpha amylase; T3: uncooked ingredients + use of alpha amylase; T4: without any processing of the ingredients. 3.200 *Astyanax altiparanae* larvae were used, distributed in 16 experimental aquariums, with a density of 10 L⁻¹ Larvae in each experimental unit. The duration of the first experiment was 28 days for the first phase (larval) and 28 days for the second phase (juveniles). There was no difference for some variables in the first experimental phase, however, in the second phase, the animals that received diets containing processing of the ingredients showed better performance. For the digestibility experiment, the same diets and the same design as the performance experiment were used. 200 grams of *Astyanax altiparanae* live biomass were used in each experimental unit, distributed in 16 aquariums, with 4 treatments and 4 repetitions. The experiment lasted 10 days of acclimatization to the diet followed by 5 days of feces collection. The digestibility coefficient of the diets showed a difference between the treatments, with the best results observed in diets that received thermal and enzymatic treatment.

Keywords: Starch. Lambari. Cultivation. Nutrition. Pisciculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Representação esquemática da conformação em hélice da amilose.....	18
Figura 2 –	Representação da glicose em forma plana (a), esquema de um fragmento de amilose (b), fragmento de amilopectina (c)	18
Figura 3 –	Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C	19
Figura 4 –	Classificação das enzimas amilolíticas	22
Figura 5 –	Esquema da ação de algumas enzimas amilolíticas	23
Figura 6 –	Protocolo alimentar utilizado durante a primeira fase experimental ...	29
Figura 7 –	Parâmetros de qualidade de água avaliados durante todo o período experimental	36
Figura 8 –	Curva de crescimento para tamanho e TCA dos lambaris do rabo amarelo	37
Figura 9 –	Curva de crescimento para tamanho dos tratamentos 1, 2, 3 e 4	38
Figura 10 –	Curva de crescimento para peso e TCA dos lambaris do rabo amarelo.	39
Figura 11 –	Curva de crescimento para peso dos tratamentos 1, 2, 3 e 4	40
Figura 12 –	Biomassa final, Taxa de crescimento e desenvolvimento específico durante a primeira fase	41
Figura 13 –	Probabilidade de sobrevivência e uniformidade do lote durante a primeira fase	43
Figura 14 –	Biomassa final, Taxa de crescimento e desenvolvimento específico durante a segunda fase	44
Figura 15 –	Uniformidade do lote, Probabilidade de sobrevivência, conversão alimentar aparente, consumo de ração e comprimento total do intestino da segunda fase	45
Figura 16 –	Composição da carcaça dos lambaris do rabo amarelo	47
Figura 17 –	Taxa de eficiência para proteína, matéria mineral, extrato etéreo e energia bruta dos lambaris do rabo amarelo.....	49
Figura 18 –	Taxas de retenção para proteína bruta, matéria mineral, extrato etéreo e energia bruta.....	49
Figura 19 –	Índices econômicos para o lambari do rabo amarelo.....	52

Figura 20 – Coeficientes de digestibilidade aparente para o lambari do rabo amarelo	53
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Propriedades de algumas amilases fúngicas.....	24
Tabela 2	–	Balanço das dietas experimentais.....	26
Tabela 3	–	Valores monitorados durante o cozimento dos ingredientes na pré- confeção das dietas	27
Tabela 4	–	Valores monitorados durante a realização da hidrólise.....	28
Tabela 5	–	Correlação de Pearson entre as variáveis de composição bromatológica da carcaça e ingestão de alimentos	50
Tabela 6	–	Continuação da Tabela 5.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVO	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	PANORAMA DA AQUICULTURA.....	13
3.2	CLASSIFICAÇÃO, BIOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DE CULTIVO E MERCADO DA ESPÉCIE	14
3.3	BREVE DESCRIÇÃO DOS CARBOIDRATOS	15
3.4	CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DE ALGUNS PROCESSOS RELACIONADOS AO AMIDO.....	16
3.5	PRINCIPAIS ENZIMAS UTILIZADAS PARA HIDRÓLISE DO AMIDO	20
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	EXPERIMENTO I. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E COMPOSIÇÃO DA CARÇAÇA	25
4.2	EXPERIMENTO II. DIGESTIBILIDADE DOS INGREDIENTES PARA O LAMBARI DO RABO AMARELO	33
6	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O consumo de pescado vem aumentando ao longo dos anos, demonstrando o interesse em proteínas saudáveis e de qualidade. A piscicultura, que produz boa parte do pescado produzido nacionalmente, apresenta grande potencial e vem demonstrando isso por meio dos números crescentes de produção (FAO, 2018).

Com o intuito de contribuir com esse crescimento, estudos com nutrição de peixes podem gerar conhecimento a respeito do aproveitamento dos nutrientes utilizados em dietas, proporcionando avaliações que possibilitam diminuir o custo de produção com diferentes tipos de ingredientes (PEREIRA et al., 2016).

Para Stone (2003), os carboidratos das plantas são as fontes de energias para humanos e animais domésticos mais atrativas para auxiliar a diminuir o custo de produção de dietas para peixes. A utilização dos carboidratos na dieta de peixes está relacionada a diversos aspectos, como disponibilidade do carboidrato, fonte de obtenção, tipo de carboidrato e hábito alimentar da espécie. Os carboidratos são nutrientes muito importantes na fase inicial de vida dos peixes e podem contribuir diretamente no desempenho, com o efeito economizador de proteína (COLIN et al., 1993). Entretanto, algumas espécies não conseguem aproveitar esses nutrientes de forma adequada, sendo necessário processar os ingredientes para disponibilizar nutrientes aos peixes (STONE, 2003).

De forma geral, as enzimas digestivas melhoram o aproveitamento dos ingredientes na dieta quando suplementadas na ração. Entretanto, a utilização de enzimas em processos pré-confecção da dieta não é comum, mas pode promover a “quebra” de alguns compostos, proporcionando ingredientes que possam ser aproveitados rapidamente pelos animais (FRACALOSSO; CYRINO, 2013; BALDISSEROTTO, 2018; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

2 OBJETIVO

Geral

Avaliar o efeito dos processamentos das dietas ofertadas para o lambari do rabo amarelo.

Específicos

- a) Avaliar o efeito do processamento térmico e enzimático em dietas no desempenho larval e juvenil do lambari do rabo amarelo;
- b) Avaliar a digestibilidade das dietas que receberam processamento térmico e enzimático ofertadas para o lambari do rabo amarelo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PANORAMA DA AQUICULTURA

A aquicultura apresentou um grande crescimento nas últimas décadas. Os dados mais recentes da FAO (2018) demonstram que no período de 2010 a 2015, a produção global de pescado cresceu, aproximadamente, 40 milhões de toneladas, com uma participação de 47% do total produzido pela pesca e aquicultura. Outro aspecto importante é o consumo de pescado, crescendo em uma faixa de 3,6 % a.a, desde 1961, valor superior ao encontrado pelo crescimento populacional, de 1,6% a.a (FAO, 2018).

Em relação ao consumo *per capita*, o aumento foi significativo em nível global, de 1961, com 9 kg/pessoa, à faixa de 20,5 kg/pessoa em 2017. A produção de pescado comestível representou um total de 80 milhões de toneladas em 2017, com produção de plantas aquáticas destinadas a consumo na faixa de 30 milhões de toneladas. A China se destaca como principal consumidor e produtor de pescado e plantas aquáticas, produzindo uma quantidade maior que os demais países do *ranking* mundial, desde 1991 (FAO, 2018).

O Brasil ocupou a 13ª posição do *ranking* mundial de pescado pela aquicultura. Segundo dados da FISHBR (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA, 2018), no ano de 2018 foram produzidas 722.560 toneladas de peixes de cultivo no Brasil. A produção de pescado está direcionada, principalmente, à Tilápia do Nilo, principal destaque de produção no Brasil, com um total de 400.280 toneladas de tilápias produzidas, ocupando a 4ª posição no *ranking* mundial de produtores de tilápia. A outra espécie mais produzida no Brasil é o Tambaqui, alcançando os números de 287.910 toneladas de peixes produzidos. A produção de peixes, principalmente a tilápia, cada vez mais ganha destaque e, no período de 2017 a 2018, a exportação de tilápias produzidas pelo Brasil aumentou em 86,55%, com um incremento de 109% no valor arrecadado com as exportações em US\$. O lambari do rabo amarelo, no Brasil, é utilizado na cadeia produtiva do pescado como fonte de renda e, segundo dados do IBGE (2013, 2014, 2015, 2016), o lambari manteve uma produção média de, aproximadamente, 250 mil kg ao longo desses anos. Grande parte dos lambaris produzidos é do estado de São Paulo e segundo

Sussel (2012) estima-se que foram produzidos apenas para pesca esportiva 30 milhões de peixes.

3.2 CLASSIFICAÇÃO, BIOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DE CULTIVO E MERCADO DA ESPÉCIE

O Lambari do rabo amarelo (*Astyanax altiparanae*) pode ser descrito brevemente como um peixe pertencente à classe Actinopterygii, da ordem Characiforme e família Characidae.

Ocorre somente em água doce, com aproximadamente duas mil espécies, distribuídas na África e Américas do Sul, Central e Norte. Apesar da ampla distribuição, a maior riqueza está localizada na região Neotropical, onde ocorrem aproximadamente 234 gêneros dessa ordem (MALABARBA; MALABARBA, 2014).

Em relação à família Characidae, as relações filogenéticas são complexas, o monofiletismo é aceito, mas existe consenso de diversos componentes sistemáticos que diferem, conferindo cerca de 2/3 das espécies denominadas como *incertae sedis* (MIRANDE, 2009). Porém, apesar das indefinições sistemáticas, é possível observar um grande número de animais constituindo a principal família da ordem, com uma quantidade de 1.419 espécies de peixes descritas, com 1.172 validadas e pertencentes à família Characidae (ESCHMEYER; FONG, 2018). Os animais do gênero *Astyanax*, pertencentes à família Characidae, representam 137 espécies válidas, amplamente distribuídas na região neotropical do sul dos Estados Unidos, ao Norte da Argentina (FISHBASE, 2020).

O lambari do rabo amarelo é um peixe de pequeno porte, de coloração peculiar, cinza, com duas manchas, uma umeral de forma horizontalmente ovalada e outra na base da cauda que se estende até a extremidade dos raios caudais medianos (CUNHA, 2014). É uma espécie de peixe que já foi considerada invasora nos viveiros de piscicultura (AABIMORAD; CASTELLANI, 2011). Sua utilização se resumia à distribuição desses exemplares aos funcionários após as despescas de peixes de maior porte, que são comumente utilizados nas pisciculturas. Em razão das características, como fácil manejo, reprodução, boa taxa de sobrevivência, aceitabilidade de uma vasta gama alimentar, o lambari é uma espécie com grande potencial para cultivo e pode ser comercializado principalmente em duas estratégias:

a de isca viva e alimentação (ALMEIDA, 2007). Outra possibilidade é o beneficiamento da carne do lambari, como estudado por Shiga, Yamaguchi e Ueno (2017), que avaliaram a aceitação do lambari beneficiado em conserva em óleo de canola envasado em potes de vidro e obtiveram uma aprovação de 72% dos avaliadores. Segundo esses mesmos autores, a maior dificuldade é suprir a demanda para fabricação artesanal ou até mesmo industrial para esse tipo de produto.

Atualmente, a comercialização de lambari é quase que por totalidade destinada à venda de isca viva, como descrito por Silva et al. (2011), que destacam que é uma boa fonte de renda, porém com mercado limitado. Vale ressaltar que é necessária uma abordagem diferente das outras espécies comumente comercializadas, como a tilápia, tambaqui, entre outras, em que o produto final é vendido por kg. O lambari é uma espécie de peixe que possui um pequeno porte e na fase final de cultivo geralmente apresenta o peso de 20g ou menos. Em virtude disso, torna-se necessário uma abordagem diferente, que possibilite a comercialização por unidade, como alimento *gourmet*, por exemplo. Porém, a viabilidade dessa abordagem deverá passar por uma vasta análise a fim de determinar se é viável ou não; e, para uma possível implantação, necessitaria uma conscientização do produtor/consumidor.

3.3 BREVE DESCRIÇÃO DOS CARBOIDRATOS

Os carboidratos são moléculas orgânicas constituídas por carbono, hidrogênio e oxigênio na proporção de 1:2:1, representados pela forma geral de $C_n(H_2O)_n$, sendo produtos diretos ou indiretos de fotossíntese, definidos quimicamente como poli-hidroxiáldeidos ou poli-hidroxiketonas (NELSON; COX, 2014).

Os carboidratos são classificados em diversas formas:

- a) Monossacarídeos: Açúcares simples, solúveis em água, como glicose, frutose, galactose;
- b) Dissacarídeos: combinação de dois açúcares simples, formando os seguintes compostos mais comuns: lactose, maltose, sacarose;

- c) Oligossacarídeos: carboidratos formados pela união de três a dez monossacarídeos, dentre eles a rafinose, estaquiase, inulina, maltodextrina, oligofrutose, dentre outros;
- d) Polissacarídeos: são chamados de açúcares complexos, formados por vários monossacarídeos ligados entre si. Na natureza, são encontrados nas três principais formas, como glicogênio, uma reserva energética dos animais, amido e celulose, as de origem vegetal. Todas essas formas de carboidratos são classificadas como polímeros e variam de acordo com sua estrutura molecular. O glicogênio e o amido, composto por diversas moléculas de glicose, apresentam ligações alfa-1,4 e alfa-1,6, e a celulose, principal carboidrato estrutural das plantas possuem ligação glicosídica beta- 1,4 (NELSON; COX, 2014).

Para Stone (2003), os carboidratos são os constituintes mais comuns em grãos, cereais, leguminosas e oleaginosas e, em alguns casos, como no trigo, podem representar até 60% do conteúdo total do grão. São classificados geralmente em duas categorias, polissacarídeos de reserva energética e estruturais. Esses dois grupos geralmente são formados por diversos monossacarídeos e se diferenciam pelo tipo de ligação entre cada monossacarídeo. Enquanto no amido, principal fonte de armazenamento de energia, o composto é formado por monômeros por ligações α -glicosídicas, a celulose, por exemplo, um polissacarídeo estrutural, possui os monômeros com ligações β -glicosídicas (STONE, 2003).

3.4 CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DE ALGUNS PROCESSOS RELACIONADOS AO AMIDO

O amido é um polissacarídeo caracterizado como o principal componente de reserva energética em espécies vegetais, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (DENARDIN, 2009; NELSON; COX, 2014). É formado no cloroplasto das plantas pela formação de moléculas de ADP-glucose com ligações glicosídicas alfa-1,4, sendo sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário,

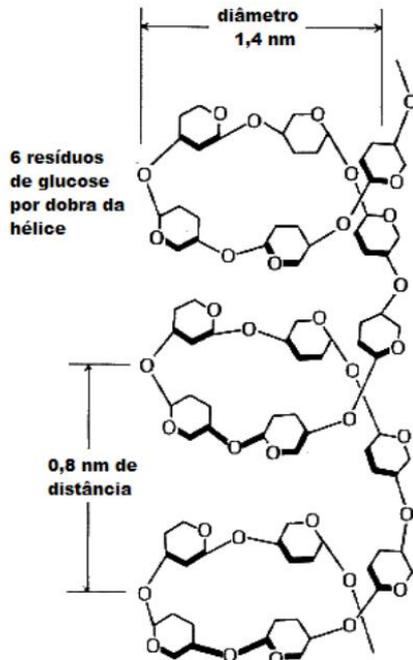
acumula-se nos cloroplastos durante o dia e é importante para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Essa sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes, pelos amiloplastos (DENARDIN, 2009).

Estruturalmente, o amido é um polissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é um polímero não ramificado de glicose (unidas por ligações glicosídicas α -1,4) ligada nos carbonos 1 e 4 em cadeia linear e 1 e 6 formando pequenas ramificações similares, como ocorre na amilopectina, porém, em pequenas quantidades, com 0,1 e 2,2% de ligações α -1,6 (BASSO, 2010; DENARDIN, 2009) conforme Figura 1.

Em relação à amilopectina, é o componente ramificado, com diversas cadeias de resíduos de α -D-glicopiranosose unidos por ligações glicosídicas α -1,4, com diversas ramificações (4 a 6 %) em α -1,6, Figura 2 (PASCOAL, 2014). Possuem um tipo diferente de classificação, conforme Figura 3, onde: As cadeias do tipo A não apresentam potencial redutor a glicoses, sem ramificações e ligadas a do tipo B por meio de ligações α -1,6. As do tipo B podem apresentar uma ou várias cadeias do tipo A. Essas cadeias possuem glicoses ligadas tanto em α -1,4 quanto α -1,6. A do tipo C possui as duas ligações, porém é a única molécula de amilopectina, com um grupamento terminal redutor (PEREIRA, 2008; DENARDIN, 2009; PASCOAL, 2014).

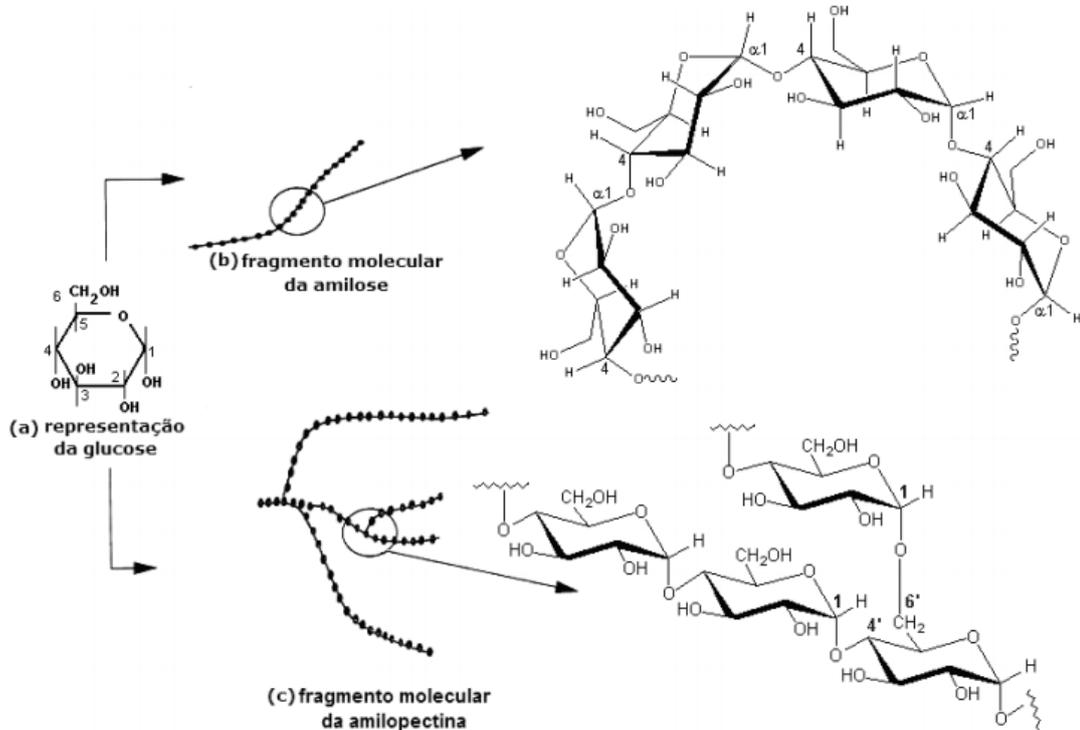
Segundo Denardin (2009), a amilopectina é a mais importante das frações, uma vez que pode formar o grão sem amilose, como ocorre nos híbridos de variabilidade genética, classificadas como: amido ceroso, que contém basicamente amilopectina. Outro caso de variabilidade está relacionado ao alto teor de amilose, que apresentam de 50 a 90% da sua composição (PEREIRA, 2008).

Figura 1 – Representação esquemática da conformação em hélice da amilose



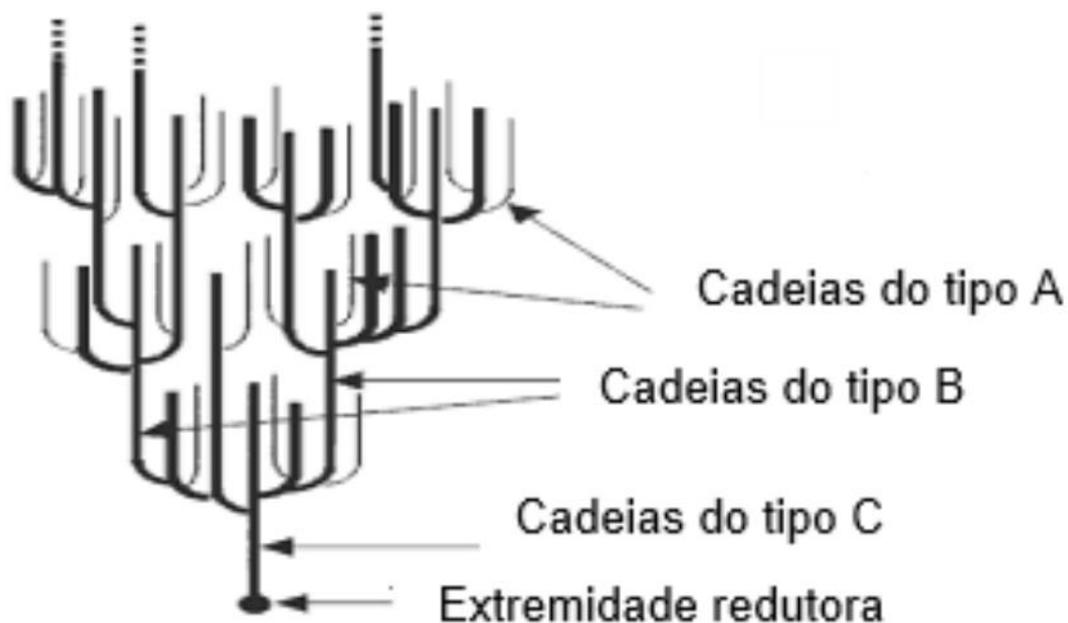
Fonte: Pereira (2008).

Figura 2 – Representação da glicose em forma plana (a), esquema de um fragmento de amilose (b), fragmento de amilopectina (c)



Fonte: Pereira (2008).

Figura 3 – Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C



Fonte: Pascoal (2014).

As proporções entre amilose e amilopectina no grânulo de amido diferem em relação às fontes vegetais, variedades de uma mesma espécie e mesmo em uma mesma variedade. Em relação à solubilidade, a molécula de amilopectina apresenta maior solubilidade em água a 90 °C, enquanto que a amilose é instável e pode formar retículos devido às suas propriedades de retrogradação.

De forma geral, o amido é insolúvel em água fria em razão da enorme quantidade de ramificações na molécula, evitando sua dissolução, porém, em contato com a água fria os grânulos podem expandir em cerca de 10% a 20%. Contudo, o processo de gelatinização é caracterizado quando os grânulos são aquecidos em água, inchando e perdendo a organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais. Existem diversos fatores que podem afetar o processo de digestão e comprometer a eventual digestão no trato gastrointestinal. Além da ampla faixa térmica e a característica de cada fonte de amido, a água é um fator primordial para a gelatinização, evitando uma desorganização dos cristais e melhorando a susceptibilidade do amido à digestão pelas amilases, além de ser o primeiro passo para hidrólise da molécula (CARVALHO, 2007; DENARDIN, 2009).

Outro aspecto importante de utilização da cocção para início da hidrólise é o fato que posteriormente à exposição do amido à água aquecida, existe a

possibilidade de reassociação da molécula, quando resfriada. Com o passar do tempo, sob resfriamento, as moléculas perdem a energia de ligação e formam áreas cristalinas, com reaproximação das moléculas, ocorrendo a sinérese da água contida no grânulo. Todavia, esse processo pode ocorrer sob diferentes circunstâncias, como: temperatura, pH, fonte de amido, presença de outros componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento, além de que a repetição de ciclos de congelamento parece favorecer a ocorrência da retrogradação (DENARDIN, 2009).

3.5 PRINCIPAIS ENZIMAS UTILIZADAS PARA HIDRÓLISE DO AMIDO

Com exceção de grupos RNAs ribossomais e algumas moléculas de RNA contendo atividade de endonuclease ou de nucleotídeo ligase, conhecidas coletivamente como ribozimas, as enzimas são formadas por proteínas (RODWELL et al., 2017). São catalisadores biológicos, presentes em diversos processos bioquímicos como quebra de nutrientes para fornecer energia, para a construção de proteínas, DNA, membranas, células e tecidos atuando na manutenção, crescimento e diferenciação celular (NELSON; COX, 2014; RODWELL et al., 2017).

As enzimas possuem a capacidade catalisadora para converter um ou mais compostos (substratos) em diferentes produtos, com uma velocidade surpreendentemente alta, correspondente a um fator de 10^6 ou mais. Um fato interessante é que durante a reação catalítica, as enzimas não são consumidas ou alteradas permanentemente, porém, resultam na formação de um produto final e retornam ao estado natural. São extremamente seletivas e específicas de acordo com seu sítio de atuação e classificadas em diferentes grupos (RODWELL et al., 2017):

1. **Oxidoredutases** – enzimas que catalisam oxidações e reduções;
2. **Transferases** – enzimas que catalisam a transferência de moléculas, como os grupamentos glicosil, metil ou fosforil;
3. **Hidrolases** – enzimas que catalisam a clivagem hidrolítica de ligações C—C, C—O, C—N e outras ligações covalentes;

4. **Liases** – enzimas que catalisam a clivagem de ligações C—C, C—O, C—N e outras ligações covalentes por meio da eliminação de átomo, gerando duplas ligações;
5. **Isomerases** – enzimas que catalisam alterações geométricas ou estruturais dentro de uma molécula;
6. **Ligases** – enzimas que catalisam a união (ligação) de duas moléculas nas reações acopladas à hidrólise do ATP (RODWELL et al., 2017).

As enzimas apresentam um aspecto de proximidade e geralmente são descritas de forma bastante genérica, como: proteases, lipases e amilases. Entretanto, apesar do conhecimento comum para a classificação de determinados grupos, há uma grande quantidade de enzimas dentro de uma categoria específica (como amilases) que possuem atividades e sítios de atuação específicos. Em virtude da complexidade para especificar uma nomenclatura para cada enzima, atualmente são distinguidas pelos seus numerais E.C., conforme a proposta realizada por McDonald, Boyce e Tipton (2009).

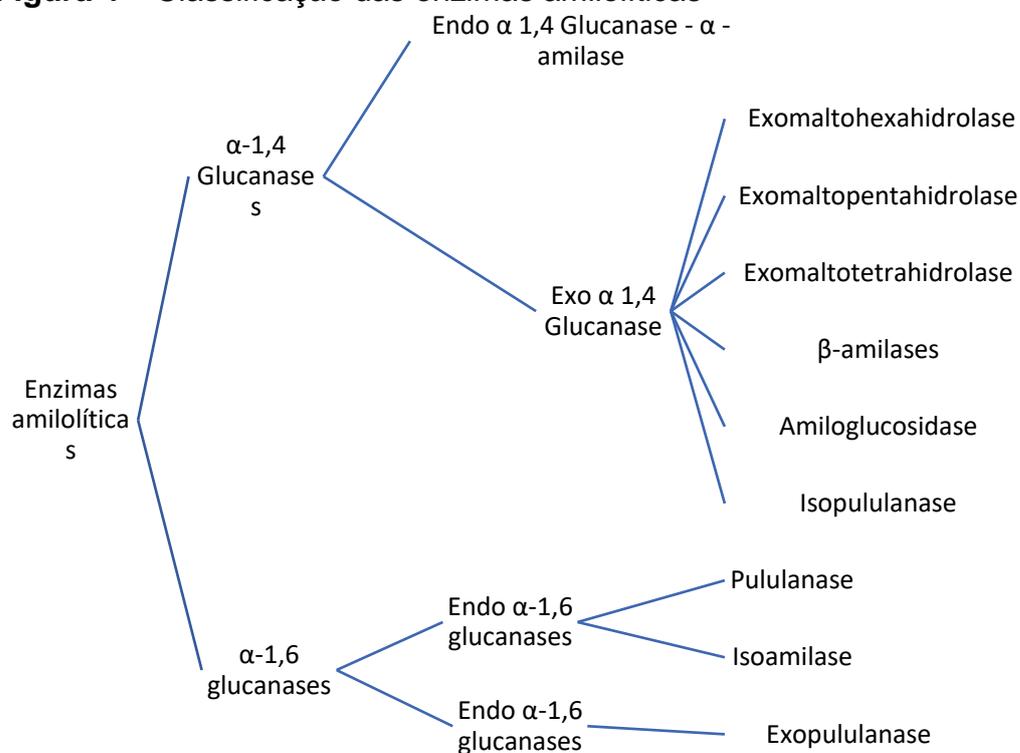
Na família das enzimas classificadas como as amilases, existem diversos tipos de amilases, geralmente são classificadas em um grupo denominado Glycosylases, com uma quantidade de aproximadamente 239 enzimas distintas, com sítios de atuação específicas (MCDONALD, 2019). As enzimas amilolíticas representam 25-33% da produção mundial de enzimas, vindo em segundo lugar, após as proteases (NGUYEN et al., 2002). Essas enzimas estão amplamente distribuídas na natureza e atuam diretamente sobre o amido e outros polissacarídeos. As enzimas são separadas e diferenciadas pelos seus sítios de atuação, sendo a alfa, beta e glicosidades, responsáveis pela degradação do amido para utilização animal. Esses três grupos atuam da seguinte maneira: as α -amilases rompem as ligações no interior do substrato (endoamilases); as β -amilases hidrolisam unidades das extremidades não redutoras do substrato (exoamilases); e as glucoamilases (amiloglicosidases) liberam unidades de glicose do terminal não redutor das moléculas do substrato (SPIER, 2005).

Outro conceito importante é que as enzimas amilolíticas diferem-se em endoamilases, responsáveis pela hidrólise aleatória dentro da molécula de amido e exoamilases, atuando na hidrólise a partir das extremidades não redutoras da cadeia

resultando em produtos finais pequenos. Os principais grupos de amilases podem ser observados na Figura 4.

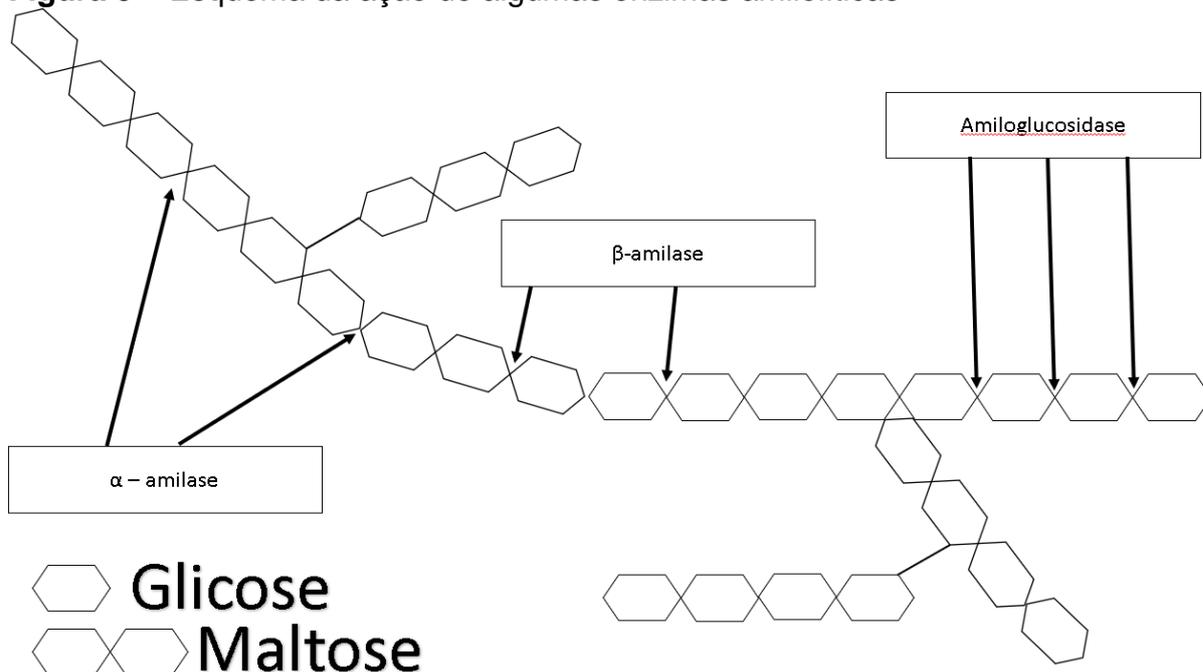
O funcionamento da α -amilase nas duas moléculas, amilose e amilopectina, ocorre da seguinte forma: Na amilose, a hidrólise ocorre nas cadeias lineares, atuando aleatoriamente nas ligações $\alpha - 1,4$, em toda a cadeia, produzindo uma mistura de glicose e maltose. Já na amilopectina, não há hidrólise por parte da $\alpha -$ amilase, nas ligações glicosídicas $\alpha - 1,6$, isto é, essa enzima, mesmo com cadeias ramificadas em toda a molécula, atuará apenas nas ligações $\alpha - 1,4$ e o produto gerado basicamente consistirá de maltoligossacarídeos, conforme Figura 5.

Figura 4 – Classificação das enzimas amilolíticas



Fonte: Spier (2005).

Figura 5 – Esquema da ação de algumas enzimas amilolíticas



Fonte: Spier (2005).

Segundo Spier (2005), a ação da α -amilase sobre a amilose conduz a 87% de maltose e 13% de glicose; e sobre a amilopectina 73% de maltose, 8% de isomaltose e 19% de glucose, entretanto, no sistema fechado é possível que a maltose produzida possa atrapalhar a ação contínua da amilase, competindo até inibir a enzima. Outros fatores também podem interferir no desempenho da enzima, dentre eles, os principais são: temperatura e pH, seguido pela quantidade de substrato, fonte de obtenção da enzima, bactérias, fungos, etc. e alguns minerais, como o Ca^{2+} (NELSON; COX, 2014; RODWELL et al., 2017; SPIER, 2005).

Santana (2012) menciona que as α amilases de forma geral podem ser obtidas de diversos organismos, como bactérias do gênero *Aspergillus*, *Pseudomonas saccharophila*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus stearothermophilus*. Spier (2005) menciona que podem ser obtidas por fungos como: *A. niger*, *A. oryzae*, *Monascus kaoliang*, *Mucor rouxinol*, *Penicillium oxalicum*. Suas aplicações são diversas, variam desde a fabricação de xaropes, como na produção de etanol, utilização na indústria têxtil, detergentes, indústria farmacêutica, dentre outros. As enzimas possuem uma faixa de atuação, segundo as características dos organismos utilizados para sua produção, algumas das principais enzimas estão presentes na Tabela 1.

Nos peixes, não foi observada presença de enzimas digestivas na boca, no entanto, o estômago da maioria desses animais secreta enzimas proteolíticas. No intestino e cecos pilóricos estão presentes as enzimas produzidas pelo pâncreas, como tripsina, amilase, lipases e quintanases em peixes que se alimentam de crustáceos ou insetos (BALDISSEROTTO, 2018).

Tabela 1 – Propriedades de algumas amilases fúngicas

Fonte	enzima	PM (kDa)	pH ótimo	temp	Inib.	Estab.
<i>A. niger</i>	AM	58	4 a 5	50	-	Ca ²⁺
<i>A. niger</i>	AM	56.23	5	60	Ag ⁺ , Al ³⁺	Ca ²⁺
<i>A. niger</i>	AM	-	5	60	Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Pb ²⁺	
<i>A. niger</i>	AM	-	4	50	-	
<i>A. niger</i>	AM	-	4.5	30-60	-	
<i>A. niger</i>	AM	-	3.5 a 5	55	-	
<i>A. oryzae</i>	AM	52	4 a 5	50	-	
<i>A. niger</i>	AA	53	5 a 6.5	55	-	
<i>A. niger</i>	AA	-	5	50	-	Ativada por Ca ²⁺
<i>A. oryzae</i>	AA	-	5 a 6	30-40	-	
<i>A. oryzae</i>	AA	-	4.6 a 6	30-55	-	
<i>A. oryzae</i>	AM	-	4 a 5	55	-	
<i>A. awamori</i>	AM	54	4.8 a 5	50		
<i>Rhizopus sp.</i>	AM	-	4 a 5	55	-	

Fonte: Spier (2005).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, o primeiro para avaliação da digestibilidade das dietas e o segundo para avaliação do desempenho dos animais e composição da carcaça.

4.1 EXPERIMENTO I. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E COMPOSIÇÃO DA CARCAÇA

O experimento foi conduzido no setor de Aquicultura do Laboratório de Zootecnia do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LZO/UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ, com duração de 58 dias, divididos em duas fases experimentais, uma para a larvicultura (1 até 28° dia) e a outra para os juvenis (29° até 56° dia).

Foram realizadas desovas naturais para obtenção de larvas de *Astyanax altiparanae*, em aquários de 40 L, com proporção de 3 machos para 1 fêmea, com um total de 12 peixes por aquário. Em cada aquário eram inseridos exemplares de macrófitas aquáticas flutuantes (Aguapé – *Eichhornia crassipes*), previamente limpas e sem nenhum predador. Diariamente, as macrófitas eram observadas até obtenção de desovas para, em seguida, serem direcionadas em aquários incubadoras com volume de útil de 20 litros, com temperatura controlada em 28 ± 3 ° C até a eclosão. Após a eclosão as larvas foram contadas individualmente na densidade de 10 larvas L⁻¹. Um lote com 50 animais foi separado para aferição do peso úmido inicial e comprimento total inicial. Para aferição do peso, foi utilizada a balança Shimadzu AUX 220± 0,0001g e o comprimento total com o paquímetro Western 6”(150mm) (± 0,01mm).

Foram utilizados 16 aquários dotados de entrada e saída individual de água acoplados a um sistema de fluxo contínuo e circulação fechada com filtragem biológica, mecânica e um filtro de ultravioleta de 36w para manter uma qualidade adequada da água durante o experimento. No sistema, eram adicionados aquecedores com termostatos para controle da temperatura e um fluxo de ar, proveniente de um soprador Sunsun hg 750 de 750W, para fornecer oxigênio

dissolvido para o sistema. O fotoperíodo utilizado foi de 12h luz/12h escuro, controlado por timer automático da marca Elcon, modelo TM 22 60hz bivolt.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com um total de 4 tratamentos e quatro repetições, onde:

1. **Tratamento 1:** Ração com ingredientes previamente **cozido sem tratamento** por Alfa Amilase (Trat 1);
2. **Tratamento 2:** Ração com ingredientes previamente **cozido com tratamento por** Alfa Amilase (Trat 2);
3. **Tratamento 3:** Ração com **ingredientes crus, com tratamento** por Alfa Amilase (Trat 3);
4. **Tratamento 4:** Ração com **ingredientes crus, sem tratamento** por Alfa Amilase (Trat 4).

Para a confecção das rações foram utilizados ingredientes tradicionais, como farinha de peixe, farelo de soja, farelo de milho, farelo de trigo, óleo de soja, premix mineral-vitamínico, DL-metionina, lisina, calcário e fosfato, com base nas exigências descritas por Furuya (2010), Aabimorad e Castellani (2011) e Sussel (2012).

As dietas foram calculadas com a mesma composição, como disposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Balanço das dietas experimentais

Alimento	Quant. %	Exigência	Quantidade
Milho	26	Proteína Bruta (%)	32
Farinha de Peixe	17	Energia Digestível (kcal/kg)	3100
Soja	40	Fibra bruta (%)	3,84
Premix	1,5	Gordura (%)	8
Trigo	10		
Metionina	1,64		
Fosfato	1,55		
Alfa amilase	1		
Óleo	0,015		
Calcário	0,9		

Para as dietas que recebiam tratamento térmico ou com enzimas, foram realizados os seguintes procedimentos:

Procedimento 1: Cozimento dos ingredientes

Os ingredientes, pesados individualmente, foram previamente umedecidos com água potável e direcionados para uma panela de alumínio contendo um separador com pequenas perfurações que permitiam a passagem do vapor d'água por todo ingrediente durante o período de cozimento. Inicialmente era inserida a água, aquecida até 80 °C e adicionados o separador, seguido pelo ingrediente até completar o espaço útil da panela de alumínio. A temperatura durante o processo de cocção era monitorada a cada 5 minutos. Os valores de água utilizado em cada ingrediente e os dados do monitoramento da temperatura da água estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores monitorados durante o cozimento dos ingredientes na pré-confeção das dietas

Ingrediente	Peso(g)	Água adicionada (mL)	T°C durante umedecimento dos ingredientes °C			
Milho	500	250	26			
Soja	500	175	26			
Trigo	500	250	27			
Cozimento dos ingredientes						
Ingrediente	Água ¹ (mL)	Tempo de cozimento (min)		Temperatura ² °C		
Milho	500	20		50		
Soja	500	20		50		
Trigo	500	20		50		
Monitoramento da temperatura durante o cozimento °C						
Ingrediente	Tempo (minutos) ^a				Tempo após cozimento (minutos) ^b	
	5	10	15	20	5	10
Milho	100	100,4	100,6	100,4	95	92
Soja	99,7	100,8	100,9	100,7	97,5	94,5
Trigo	100,4	100,5	100,6	100,4	95	91,7

¹ Volume de água adicionado na panela para o cozimento dos ingredientes; ² Temperatura inicial da água, antes da adição do conteúdo para o cozimento; ^a Temperatura monitorada individualmente para cada ingrediente; ^b Temperatura dos ingredientes, após retirada da panela que cozinhou os ingredientes, durante o período de descanso.

Após o cozimento dos ingredientes, foi realizado um período de descanso até os ingredientes apresentarem temperatura similar ao monitorado antes do cozimento (temperatura média de 26,3 °C). Posteriormente, os ingredientes foram secos em estufa de ventilação forçada a 55 °C durante 24 h. Em seguida, os ingredientes foram inseridos em sacolas plásticas e mantidos em resfriamento até a realização do procedimento 2.

Procedimento 2: Hidrólise do amido contido nos ingredientes

Os ingredientes cozidos e crus foram separados individualmente e submetidos a um processo de hidrólise. Para a realização do processo, os ingredientes foram misturados até homogeneidade e inseridos em recipientes plásticos com volume útil de 3L e dispostos da seguinte forma:

1. **Mistura 1:** Ingredientes cozidos com adição de 1 mg de **α -amilase** para cada 50 g de amido;
2. **Mistura 2:** Ingredientes sem cozimento com adição de 1 mg de **α -amilase** para cada 50 g de amido.

As misturas, inseridas nos recipientes, receberam um volume de água destilada até ficarem supersaturadas, mantidas em banho-maria, com temperatura ajustada para 35 ± 1 °C.

A temperatura e o pH da mistura eram monitorados a cada 1h, dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores monitorados durante a realização da hidrólise

Mistura 1		Mistura 2		Banho-maria °C
pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	
6,01 \pm 0.09	34,88 \pm 0.82	6.01 \pm 0.24	35,17 \pm 0,88	35,12 \pm 0,60

A amilase (EC 3.2.1.1.) utilizada na mistura foi adquirida comercialmente, proveniente da espécie *Aspergillus oryzae*, não fotossensível, com pH de atuação de 4 a 7 e com atividade de 30.000 U.SKB, da marca Levviale. A prescrição para utilização da enzima seguiu as recomendações da FCC (FOOD CHEMICALS CODEX) de 34000 unit/g em uma única dose.

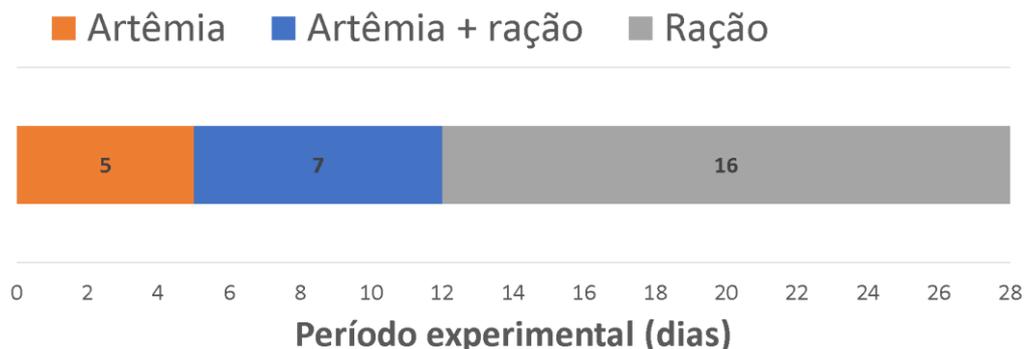
Após a realização do procedimento as misturas apresentavam uma grande quantidade de água. Cada mistura recebeu o cuidado na separação dos ingredientes e água, sendo os dois conteúdos direcionados à estufa de ventilação forçada a 55 °C por 24h. O material aquoso contido na mistura não foi descartado e

quando todo material estava seco eram misturados aos ingredientes da ração para mitigar a perda de nutrientes.

Para a confecção da ração, os ingredientes que sofreram processamento eram misturados aos demais ingredientes da composição e homogeneizados. Os ingredientes umedecidos com água a 50 °C, compactados e moídos em um moedor de carne. Após o processamento, os peletes foram secos em estufa (55 °C) de ventilação forçada por 24 horas. Posteriormente, eram reduzidos ao tamanho por fase de experimental. Nos primeiros 10 dias, os peletes eram moídos até pó e fornecidos aos animais. A partir do 10º dia, os peletes eram reduzidos a tamanhos em que os animais conseguissem realizar a captura e ingestão com realização semanal desses procedimentos até o término do período experimental.

O fornecimento de alimento era realizado no mesmo horário (8, 11, 14 e 17h), em regime *ad libitum*, com o protocolo descrito conforme Figura 6.

Figura 6 – Protocolo alimentar utilizado durante a primeira fase experimental



Após o 12º dia de experimentos os animais receberam a ração experimental de cada tratamento até o término da segunda fase (56 dias). Os animais recebiam alimento sempre em pequenas quantidades, várias vezes, e qualquer sobra de alimento era retirada e ajustado o valor consumido pelos animais durante o período experimental.

Após o término dos 28 dias (primeira fase), os animais foram realocados em aquários com capacidade de 50L de volume útil na densidade de 1 peixe L⁻¹ e mantidos até o término do experimento 56 dias. Diariamente foi realizada a limpeza das unidades experimentais com auxílio de um pequeno sifão, apenas para retirar todo excremento presente nos aquários, com imediata reposição do volume de água retirado do sistema (renovação). O pH foi monitorado com o auxílio de pHmetro

digital, a temperatura (°C) por um termômetro digital. Em virtude da injeção de ar constante nos sistemas de recirculação, o oxigênio dissolvido não foi monitorado.

Durante o período experimental 0 – 56 dias, foram retirados 10 animais de cada repetição semanalmente, para obtenção dos valores médios de peso e comprimento total dos animais durante o período experimental. Ao final do período experimental, 56 dias, todos os animais foram mantidos em jejum por 24 horas e, mensurados o peso final com balança (Shimadzu AUX 220± 0,0001g) e o comprimento total com o paquímetro (Western 6" (150mm) ± 0,01mm).

Foram retirados de cada repetição cinco animais para avaliação de carcaça e os demais animais foram separados para análise bromatológica da carcaça, eutanasiados em superdose de eugenol (175 mg/L), conforme as diretrizes do processo **ID 113594**, aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

Para a realização da análise de composição da carcaça, foram retiradas as vísceras dos animais e, em seguida, embalados e armazenados em freezer (-20 °C). Posteriormente, os animais foram secos em estufa de ventilação forçada a 55 °C e triturados para realização das análises de matéria seca, extrato etéreo, cinzas e proteína bruta (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 2000).

Na avaliação de retenção de nutrientes na carcaça foram avaliados o coeficiente de retenção proteica (CRP) e o coeficiente de retenção energética (CRE), de acordo com as seguintes equações:

$$\text{CRP} = \{[(\text{Pf} \times \text{PBCf}) / (\text{CRt} \times \text{PBr})]\} \times 100$$

$$\text{CRE} = \{[(\text{Pf} \times \text{EBCf}) / (\text{CRt} \times \text{EBR})]\} \times 100$$

em que: Pf é o peso final (g); PBCf, a proteína bruta da carcaça final (%); CRt, o consumo de ração total (g); PBr, a proteína bruta da ração (%); EBCf, a energia bruta da carcaça final (kcal/kg);EBR, a energia bruta da ração (kcal/kg).

Além dessas avaliações, por meio do peso do fígado foi calculado o índice hepatossomático (IHS), através da seguinte fórmula:

$$\text{IHS} (\%) = (\text{Peso do fígado}/\text{peso corporal}) \times 100$$

Para as variáveis de desempenho zootécnico, foram avaliados:

Peso e comprimento total dos animais, ganho de peso, consumo de ração (CR), Uniformidade do lote (UNI), conversão alimentar aparente (CAA), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência proteica (TEP) e sobrevivência, por intermédio das seguintes equações:

$$\text{Ganho de biomassa (GB)} \text{ (mg)} = (\text{Biomassa final} - \text{Biomassa inicial})$$

$$\text{CR (mg)} = \text{CRt}$$

$$\text{UNI (\%)} = (\text{Ct/N}) \times 100,$$

$$\text{CAA (g/g)} = \text{CR/GB}$$

$$\text{TCE (\%/dia)} = [(\ln \text{Pf} - \ln \text{Pi})/\text{Pe}] \times 100$$

$$\text{TDE (\%/dia)} = [(\ln \text{Cf} - \ln \text{Ci})/\text{Pe}] \times 100$$

em que: Pf é o peso final (mg); Pi, o peso inicial (mg); Pe, o período experimental (dias); Cf, o comprimento final (mm); Ci, o comprimento inicial (mm); CRt, o consumo de ração total (mg); Ct, número total de animais com comprimento padrão $\pm 10\%$ dentro da média de cada unidade experimental; N, número total de animais da unidade experimental; $\ln \text{Pf}$, o logaritmo neperiano do peso final; $\ln \text{Pi}$, o logaritmo neperiano do peso inicial; $\ln \text{Cf}$, o logaritmo neperiano do comprimento final; $\ln \text{Ci}$, o logaritmo neperiano do comprimento inicial; I_m , indivíduos mortos; I_v = indivíduos vivos.

Em relação às variáveis econômicas, o índice de eficiência alimentar (IEA), equivalente à eficiência para converter a ração em peso vivo, foi determinado por meio da fórmula:

$$\text{IEA: GB/CMR}$$

Onde:

IEA= índice de eficiência alimentar;

GB= ganho de biomassa por unidade experimental;

CMR= consumo médio de ração por unidade experimental.

Para a avaliação do custo aproximado de ração por quilograma de peso vivo (CMR), durante o período experimental, foram utilizadas as recomendações de Bellaver et al. (1985). E, posteriormente, foi calculado o Índice de Eficiência Econômica (IEE) e o Índice de Custo (IC), segundo Barbosa et al. (1990).

CMRT: $Q_i \times C_i / GB$

Onde:

CMRT= custo médio de ração por quilograma de ganho no i-ésimo tratamento;

Q_i = quantidade média de ração consumida no i-ésimo tratamento;

C_i = custo médio por quilograma de ração utilizada no i-ésimo tratamento;

GB= ganho de biomassa do i-ésimo tratamento.

Para o Índice de eficiência econômica:

IEE: $Q_i \times C_i / GB \times 100$ e **IC:** $C_{te_i} / M_{Ce_i} \times 100$

IEE= índice de eficiência econômica;

IC= índice de custo;

M_{Ce_i} = menor custo médio observado em ração por quilograma de peso vivo entre os tratamentos;

C_{te_i} = custo médio do tratamento i considerado.

Os valores dos preços (preço/kg) dos ingredientes utilizados na elaboração dos custos foram: milho (R\$ 0,78), farelo de trigo (R\$ 1,00), farelo de soja (R\$ 1,59), farinha de peixe (R\$ 2,52), premix vitamínico e mineral (R\$ 25,00), óleo de soja (R\$ 3,41), Metionina (R\$ 15,33), Lisina (R\$ 4,76), Calcário (R\$ 3,98), Metionina (R\$ 15,33). Fosfato (R\$ 5,95), Alfa amilase (R\$ 166). Os valores apresentados dos ingredientes da dieta foram obtidos em janeiro de 2020, mediante o preço de mercado.

Foram ajustados modelos não lineares para avaliação do crescimento dos animais. A estrutura geral dos modelos de crescimento foi $Y_t = \mu Y_t + e_t$, para $Y_t \sim Normal(\mu Y_t, \sigma Y_t^2)$, ou seja, foi assumida distribuição normal para variável Y_t com funções de média e variância, μY_t e σY_t^2 , respectivamente. O modelo foi ajustado com a função nlme (presença de efeitos aleatórios e fixos) do pacote nlme do software R.

O modelo ajustado para (peso) foi o proposto por Michaelis-Menten Generalizado (LÓPEZ et al., 2000), representado por:

$$x = \frac{b \times k^m + a \times age^m}{k^m + age^m}$$

Para o modelo apresentado, o parâmetro a representa o peso assintótico do animal; o parâmetro K representa o tempo (dias) no qual é atingida metade do peso adulto; o b e o n são parâmetros de escala, adimensionais.

O modelo ajustado para comprimento foi o Logístico proposto por Ratkowsky (1993), representado por:

$$x = \frac{a}{1 + b \times (\exp(-k \times age))}$$

Depois de ajustado o modelo, calculou-se a taxa de crescimento absoluta (TCA), obtida a partir da primeira derivada do modelo ajustado, em relação ao tempo. A TCA é, na realidade, o ganho de peso obtido por unidade de tempo e como, nesse caso, o tempo está em dia, representa o ganho de peso médio diário, estimado ao longo da trajetória de crescimento, ou seja, a taxa média de crescimento dos animais dentro da população.

Para a variável taxa de sobrevivência foi realizada análise de modelos lineares generalizados mistos com uso do procedimento GLIMMIX, do Statistical Analysis System (SAS System, Inc., Cary, NC, USA), e em caso de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey. Para as demais variáveis utilizadas, o procedimento de análise foi de modelos lineares generalizados mistos com uso do procedimento PROC MIXED, do Statistical Analysis System (SAS System, Inc., Cary, NC, USA), e em caso de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey.

A utilização da correlação de Pearson foi realizada com o procedimento PROCOR do Statistical Analysis System (SAS System, Inc., Cary, NC, USA).

4.2 EXPERIMENTO II. DIGESTIBILIDADE DOS INGREDIENTES PARA O LAMBARI DO RABO AMARELO

Foi utilizado um sistema experimental composto de 16 aquários com volume útil de 50 L, dotados de entrada e saída individual de água acoplados a um sistema de fluxo contínuo e circulação fechada com filtragem biológica e mecânica. No sistema, eram adicionados aquecedores com termostatos para controle da temperatura e um fluxo de ar, proveniente de um soprador Sunsun hg 750 de 12cv

de potência, para fornecer oxigênio dissolvido para o sistema. O fotoperíodo utilizado foi de 12h luz/12h escuro, controlado por timer automático da marca Elcon, modelo TM 22 60 hz bivolt.

Foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso, com 4 tratamentos e 4 repetições, como descrito no experimento I. A distribuição dos animais nas unidades experimentais foi realizada em pequenos lotes, até obtenção da biomassa de 200 gramas cada unidade experimental, com animais do tamanho entre 5 e 7 cm de comprimento com aproximadamente 4g de peso por unidade.

Após a distribuição dos animais, foram fornecidas as mesmas dietas experimentais utilizadas no experimento I, por 10 dias, para aclimação dos animais à dieta experimental. Os alimentos utilizados para a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) foram obtidos de indústrias de processamento de rações para peixes e escolhidos com base na disponibilidade, frequência de utilização em rações, composição química e resultados já obtidos em avaliações nutricionais de desempenho para a tilápia do Nilo (GONÇALVES; PEZZATO; BARROS, 2004; PEZZATO et al., 2002).

Após o período de aclimação à dieta foi iniciado o período de coleta de fezes. Inicialmente os animais receberam ração a cada 2 h, em regime *ad libitum*, com monitoramento da quantidade gasta por trato. Após o intervalo de 1h, os aquários eram observados e qualquer sobra de alimento retirada, computada para ajuste de alimento utilizado durante o período experimental. Ao término da coleta de possíveis sobras de alimento, era realizada a coleta de fezes com auxílio de um sifão. Todo conteúdo era direcionado em caixas plásticas para retirada do excesso de água e coleta do material fecal, posteriormente, congelado em temperatura de -20 °C. A coleta de fezes era realizada sempre 30 min após a observação de possíveis sobras dentro de cada aquário para evitar qualquer contaminação. As coletas eram realizadas com intervalos no período de iluminação, das 06h30 às 18h30, por 5 dias, e realizada uma única coleta, às 5h30, equivalente ao período de 18h30 às 05h30.

As análises físico-químicas dos alimentos, rações e fezes foram realizadas em duplicatas. As análises de matéria seca, proteína bruta, energia bruta, extrato etéreo, fibra bruta e matéria mineral foram realizadas no Laboratório de

Bromatologia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), segundo o protocolo (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS, 2000).

Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes das rações testes foram calculados de acordo com a fórmula descrita por Nose (1960):

$$CDA_{(n)} = 100 - \left[100 - \left(\frac{\%nf}{\%nr} \right) \right]$$

Onde:

CDA_(n) = Coeficiente de digestibilidade aparente;

%N r = Nutriente ou energia na ração;

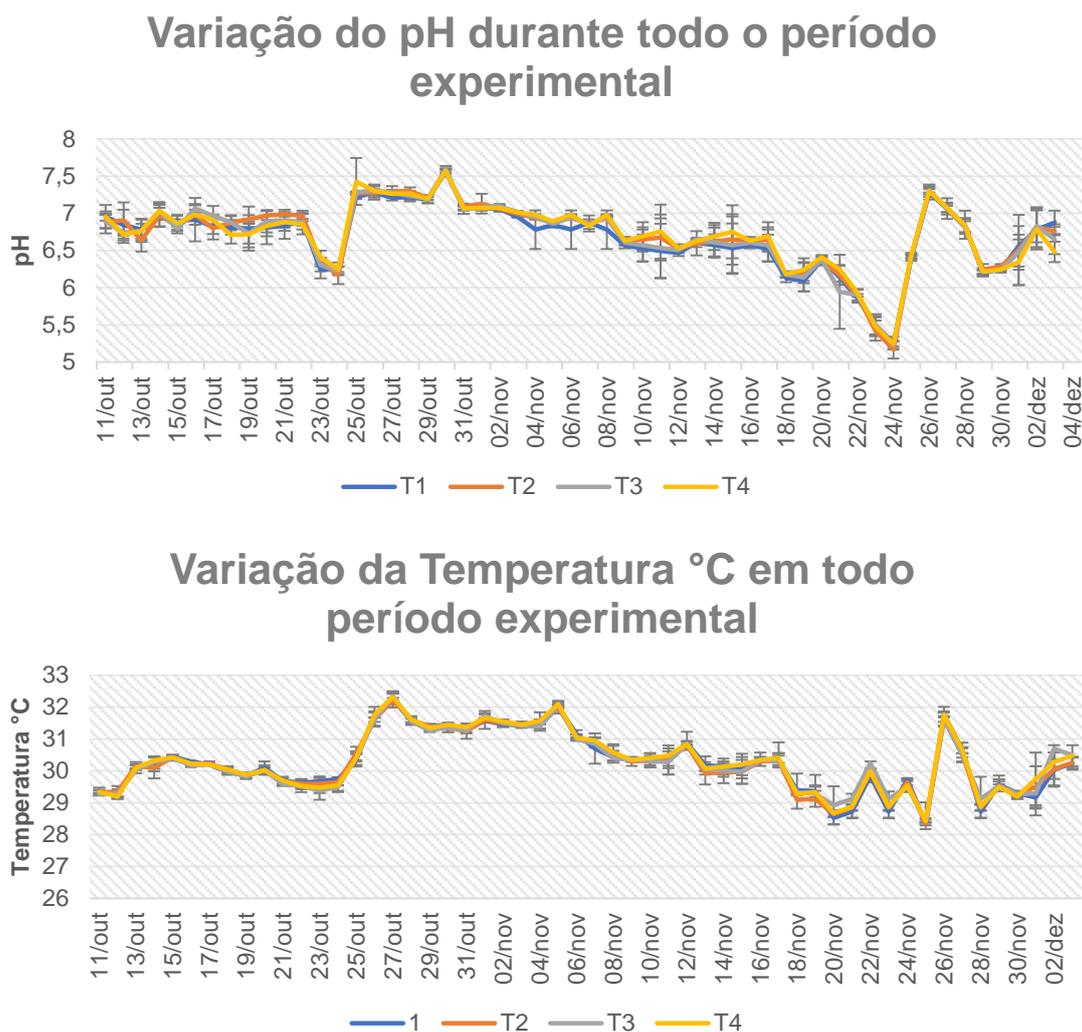
%Nf = Nutriente ou energia nas fezes.

Para a análise estatística o procedimento foi de modelos lineares generalizados mistos, com uso do procedimento PROC MIXED, do Statistical Analysis System (SAS System, Inc., Cary, NC, USA), e em caso de diferença significativa, foi aplicado o teste de Tukey.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para as variáveis físico-químicas da água estão presentes na Figura 7.

Figura 7 – Parâmetros de qualidade de água avaliados durante todo o período experimental



A variação entre os tratamentos foi pequena dentro de todo o período experimental, entretanto, em alguns dias é possível observar algumas variações maiores. Entre os dias 22 e 25 de outubro ocorreram variações maiores em todos os tratamentos, da mesma forma no período de 22 a 26 de novembro. Entretanto, essas variações ocorreram de forma lenta e estão dentro da faixa de tolerância para

a espécie. Efeito similar pode ser observado para a temperatura, com variações de temperatura de 28 °C a 32 °C.

Os tratamentos não apresentaram diferença ($p < 0.05$) nas curvas de crescimento para o comprimento final, Figura 8. A Figura 9 representa as curvas de crescimento para o comprimento total dos animais de cada tratamento durante todo o período experimental (56 dias), com os valores de predição do modelo para 80 dias e os valores observados por meio das coletas de dados durante o período experimental.

Figura 8 – Curva de crescimento para tamanho e TCA dos lambaris do rabo amarelo

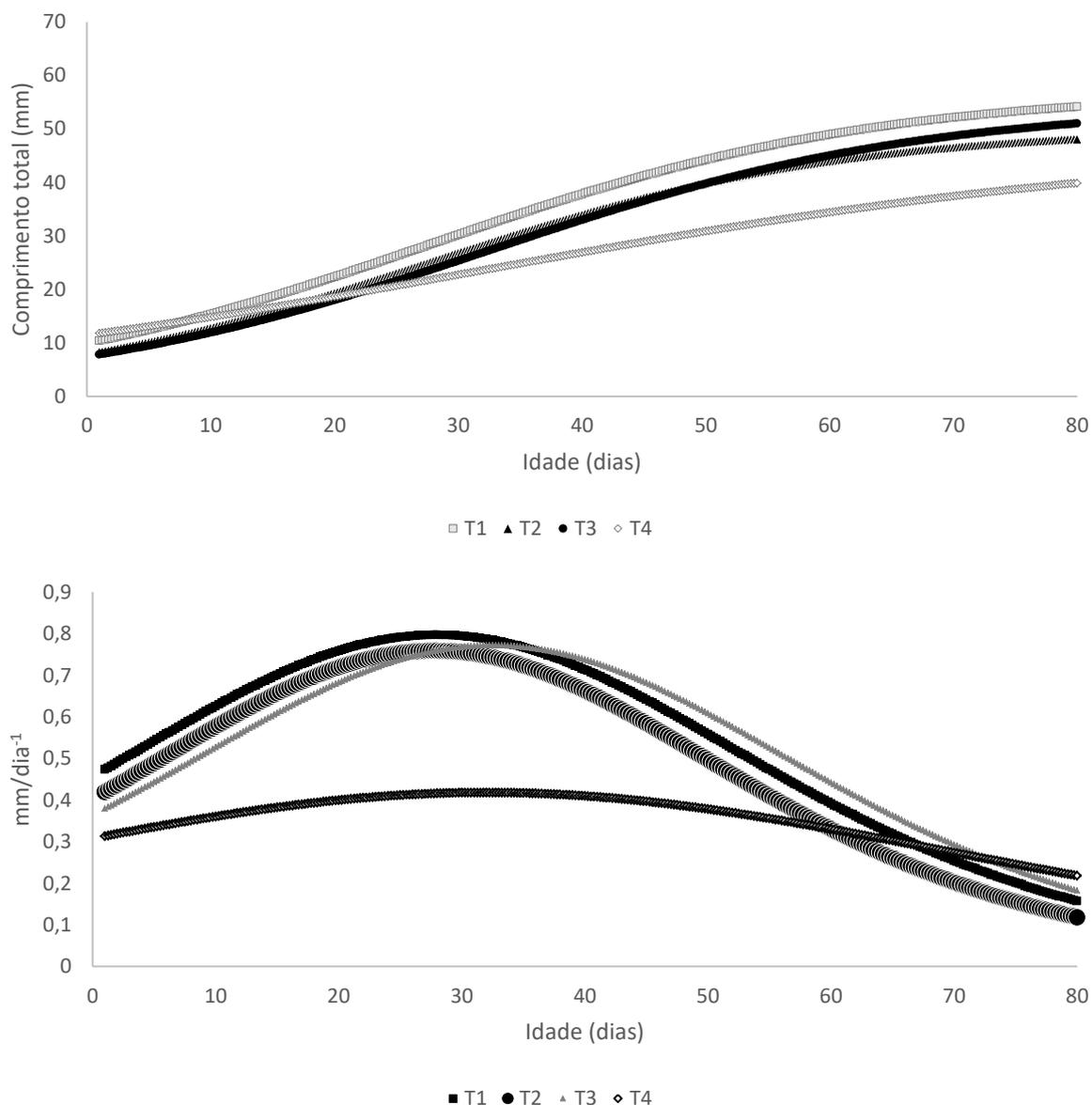
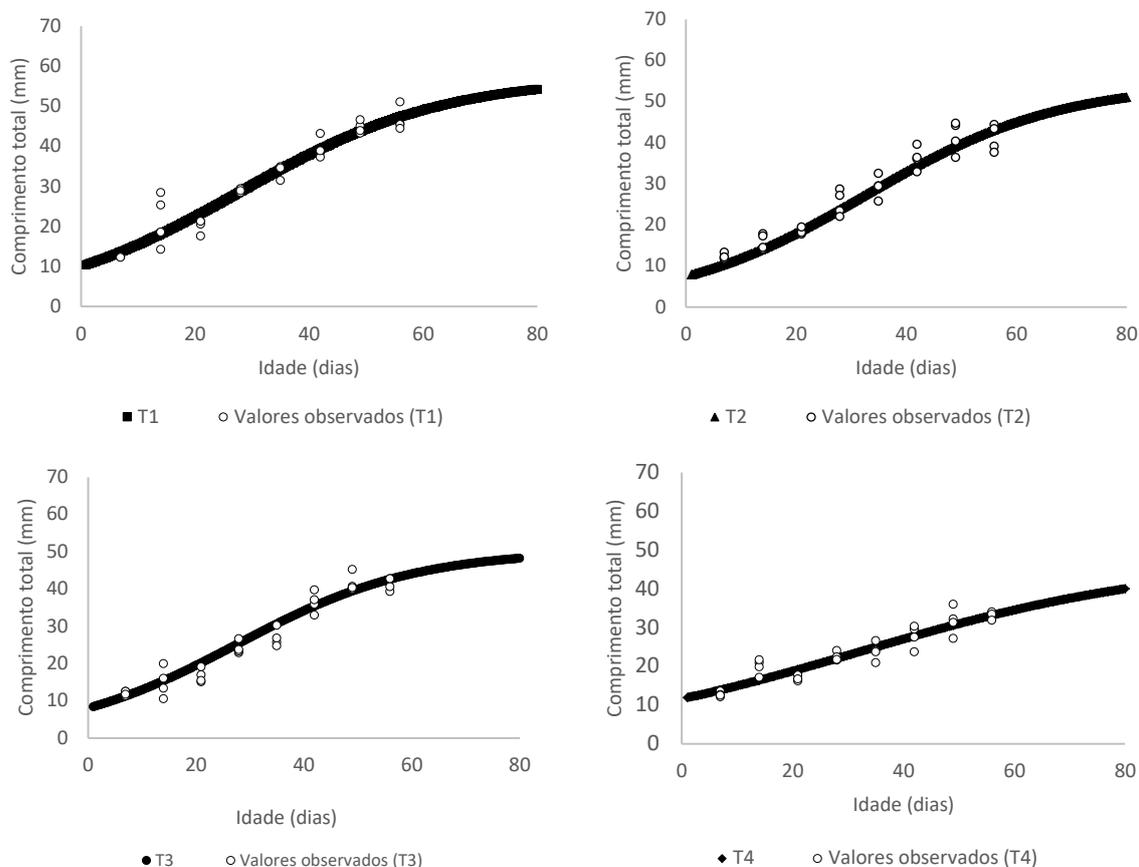


Figura 9 – Curva de crescimento para tamanho dos tratamentos 1, 2, 3 e 4



Para o crescimento em tamanho, o modelo que melhor ajustou aos dados, com melhor valor de (AICC) comparado aos demais modelos testados foi o logístico, onde os animais do tratamento 4 apresentaram crescimento lento e inferior aos demais tratamentos, atingindo comportamento assintótico mais cedo que os demais, como observado na Figura 8. A TCA do tratamento 4 também apresentou valores bem abaixo dos encontrados nos demais tratamentos.

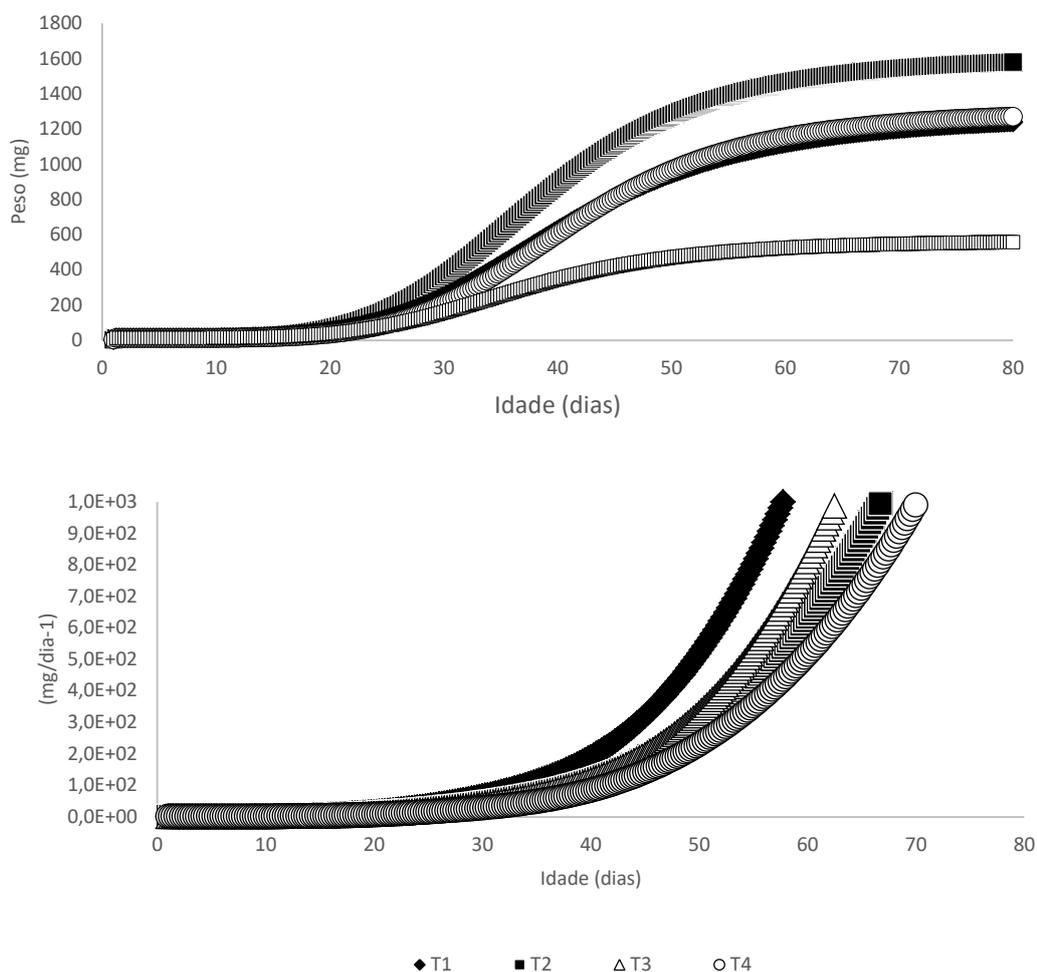
O comprimento final é importante pelo aspecto comercial da espécie. Apesar de ser considerada uma espécie destinada geralmente para alimentação, os exemplares não atingem um tamanho e peso similares aos das principais espécies de peixes comercializados no Brasil que, geralmente, ficam na faixa de 0,8 a 1,5 kg (variando conforme a espécie).

O lambari do rabo amarelo é comercializado na faixa de 7 a 10 cm como iscas vivas (SUSSEL, 2012). No presente estudo, os animais do tratamento 1 apresentaram um comprimento final na faixa dos 5 cm, enquanto que, no tratamento 4, os animais ficaram na faixa dos 3 cm. Apesar dos valores serem inferiores ao

mencionado por Sussel (2012), os animais estavam com um período de vida curto, quando comparado ao que geralmente é encontrado em situações de cultivo comercial.

Para o peso final, foi encontrada diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tratamentos, com maior valor encontrado para o T1 e menor valor para o T4. Os valores encontrados no T1 indicam que o modelo estimou um peso próximo da assintótica da curva, bem como observado pelos valores encontrados no T1. No tratamento 2 e 3, é possível observar que os valores encontrados pelas coletas de dados estão um pouco mais distantes da curva, quando comparados ao T1. O peso final nesses dois tratamentos são considerados iguais ($p < 0,05$), porém diferentes do T4, que apresentou os menores valores para peso final dos animais. É possível observar também os menores valores encontrados para TCA no tratamento 4, presente na Figura 10.

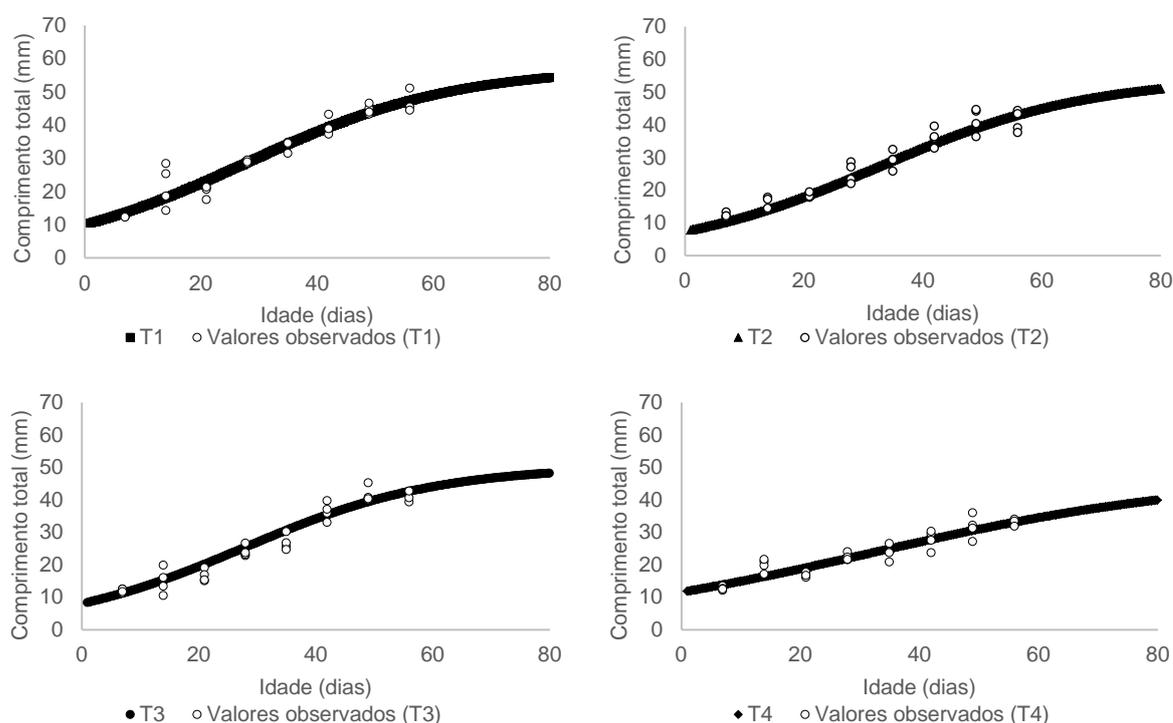
Figura 10 – Curva de crescimento para peso e TCA dos lambaris do rabo amarelo



Para o peso final dos animais, os valores encontrados apresentaram diferença estatística, com o tratamento 4, diferenciando-se dos demais, Figura 11. No início da primeira fase experimental, com término aos 28 dias, os animais possuíam um peso final bem próximo entre os tratamentos, sugerindo que o efeito do processamento ocorre de forma mais intensiva próximo ao início da segunda fase experimental.

Dunn et al. (2011) mencionam que poucos estudos foram realizados para determinar a capacidade de digestão e absorção dos carboidratos na dieta durante a fase de larvicultura, principalmente pela baixa quantidade nos alimentos durante essa fase. Entretanto, apesar da escassez de informações sobre o funcionamento da digestão durante a larvicultura, diversos estudos relatam a atividade de α amilase durante esta fase em diversas espécies de peixes (CARA et al., 2003; GISBERT et al., 2009; MA et al., 2005; SUZER et al., 2007).

Figura 11 – Curva de crescimento para peso dos tratamentos 1, 2, 3 e 4

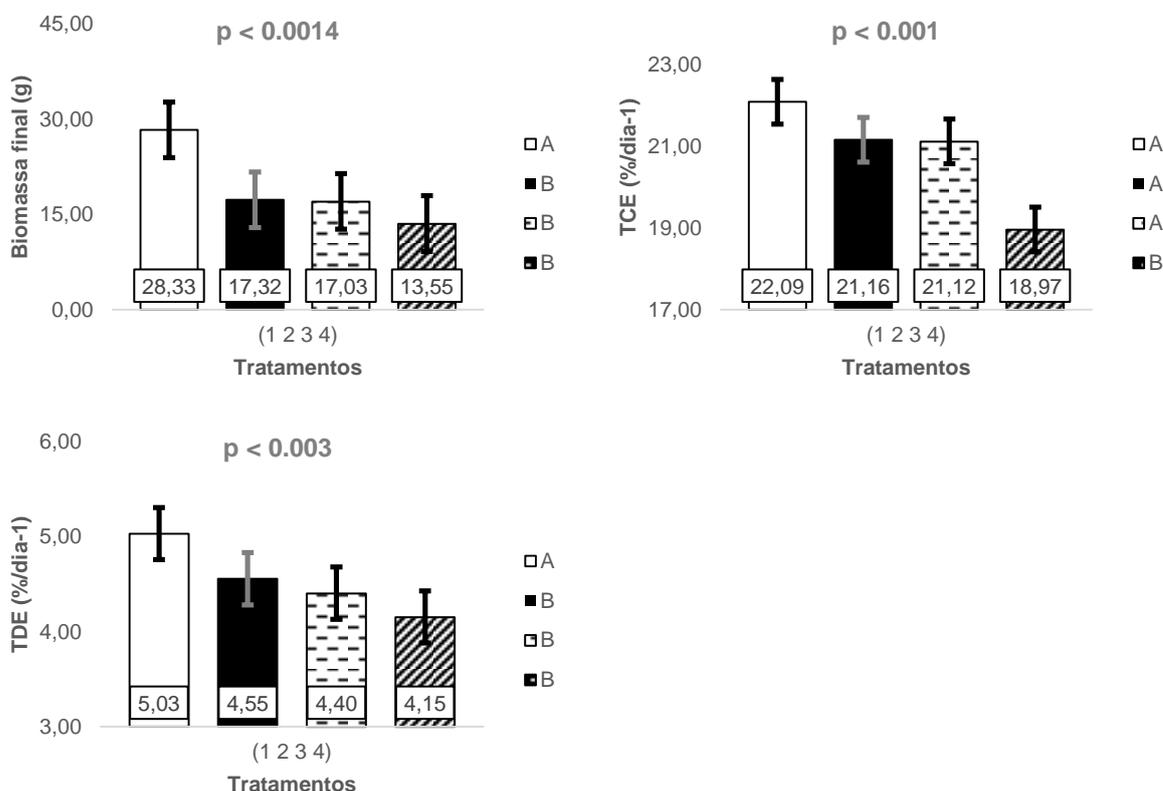


A capacidade das larvas em metabolizar os carboidratos depende principalmente do hábito alimentar, fonte e quantidade de carboidratos presentes na dieta (FANG et al., 2014). Ao final da larvicultura, os animais possuíam aspecto juvenil, com desenvolvimento total do trato gastrointestinal e, dessa forma, é

possível observar que as dietas começaram a apresentar efeito no desempenho dos animais, com maior crescimento em animais que receberam dietas com ingredientes processados.

De forma geral, os peixes onívoros possuem capacidade para digerir e absorver os carboidratos presentes na dieta (com exceção dos polissacarídeos não amiláceos), porém, a forma em que são ofertados aos animais (moléculas complexas ou reduzidas) pode interferir diretamente no seu aproveitamento (MEURER; HAYASHI, 2003; SINHA et al., 2011; STONE, 2003; WILSON, 1994).

Figura 12 – Biomassa final, Taxa de crescimento e desenvolvimento específico durante a primeira fase



Para as variáveis de desempenho como Ganho de biomassa, TCE, TDE e Uniformidade do lote, os animais do tratamento 1 apresentaram melhores resultados que os demais, Figura 12. No tratamento 1, a ração era composta de ingredientes que recebiam apenas cocção, enquanto que nos tratamentos 2 e 3, a enzima; e enzima e cocção, respectivamente, eram adicionadas no processamento dos ingredientes. O fato de os tratamentos 2 e 3 apresentarem semelhança ao

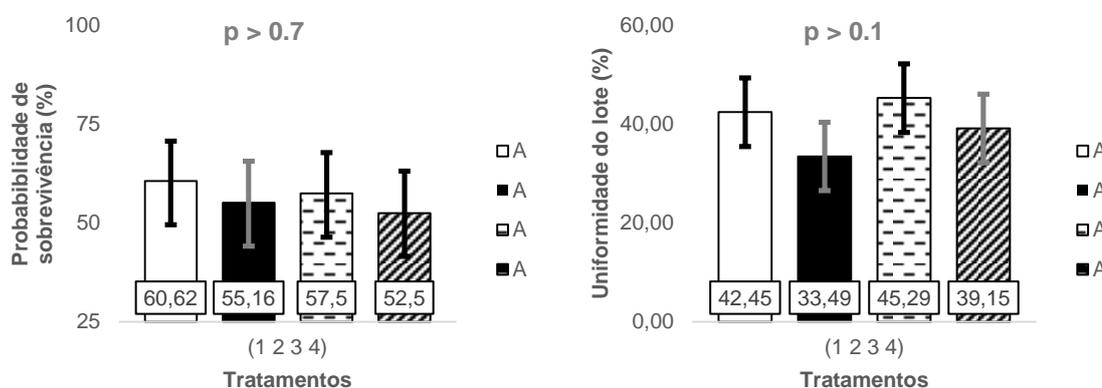
tratamento 4, é possível inferir a capacidade dos animais em conseguirem aproveitar os carboidratos durante a primeira fase do experimento, conforme mencionado por Vásquez-Torres e Arias-Castellanos (2013).

Entretanto, apesar da capacidade de aproveitar os nutrientes na fase inicial de vida, alguns fatores, como o canibalismo, alimentação de larvas em decomposição e o comportamento dos animais em um sistema onde os animais maiores subjagam os menores, podem ter influenciado o comportamento das variáveis na primeira fase experimental, conforme padrões comportamentais mencionados por Cavero et al. (2003), Dias et al. (2011) e Kestmont et al. (2003).

Em razão do fotoperíodo programado de 12 horas, é possível que nas primeiras horas do dia, as larvas maiores tenham ingerido animais em decomposição. Esse tipo de comportamento é bastante comum durante a larvicultura. Algumas larvas de peixes, em período de jejum, procuram se alimentar de outras larvas menores ou em decomposição. Essa hipótese pode ter influenciado no desenvolvimento dos animais, uma vez que, ingerindo larvas ou restos de larvas em decomposição, os animais estão adquirindo mais nutrientes e possibilitando um desenvolvimento acelerado em relação aos demais peixes. As disputas que ocorriam antes e durante a alimentação, segundo Correa e Cerqueira (2008), podem ser consideradas como um indício ao canibalismo.

Conforme Kestmont et al. (2003), o crescimento heterogêneo inicial induz ao canibalismo. Uma vez que alguns animais atingem um crescimento muito acelerado e adquirem uma massa elevada em relação aos demais, esse grupo pode estabelecer relação de hierarquia e, em densidades de estocagem mais brandas, como utilizada no presente estudo, pode provocar uma disputa inicial por alimento que, mesmo em regime *ad libitum*, os animais maiores dificultam a procura por alimento dos animais subjagados. Outro ponto importante é que nos animais mais desenvolvidos, o trato digestivo acompanha sua evolução, conseqüentemente, a produção de enzimas digestíveis é maior e possibilita ao animal o aproveitamento dos nutrientes presentes na dieta, possibilitando ainda mais o desenvolvimento (ROTTA, 2003).

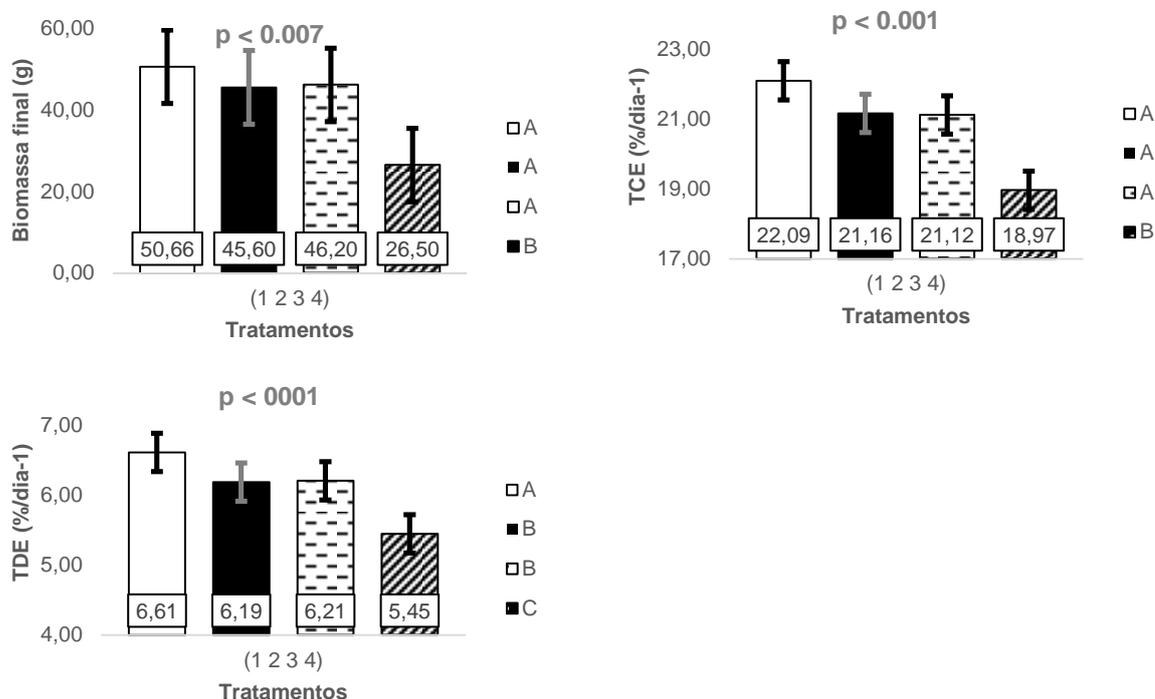
Figura 13 – Probabilidade de sobrevivência e uniformidade do lote durante a primeira fase



Na segunda fase do experimento, os animais apresentaram um ganho de biomassa maior nos tratamentos 1, 2 e 3, iguais entre si e diferentes do tratamento 4, que apresentou os menores valores observados. Uma das hipóteses para este comportamento é o hábito alimentar da espécie e o efeito do processamento dos ingredientes na ração. Apesar de a dieta possuir a mesma composição, os ingredientes que foram submetidos a diferentes tipos de tratamento possibilitaram maior aproveitamento dos carboidratos em relação ao tratamento 4. Como o lambari do rabo amarelo é uma espécie onívora, possui melhor aproveitamento das fontes de carboidratos presentes na dieta (TAN et al., 2009; TIAN et al., 2012).

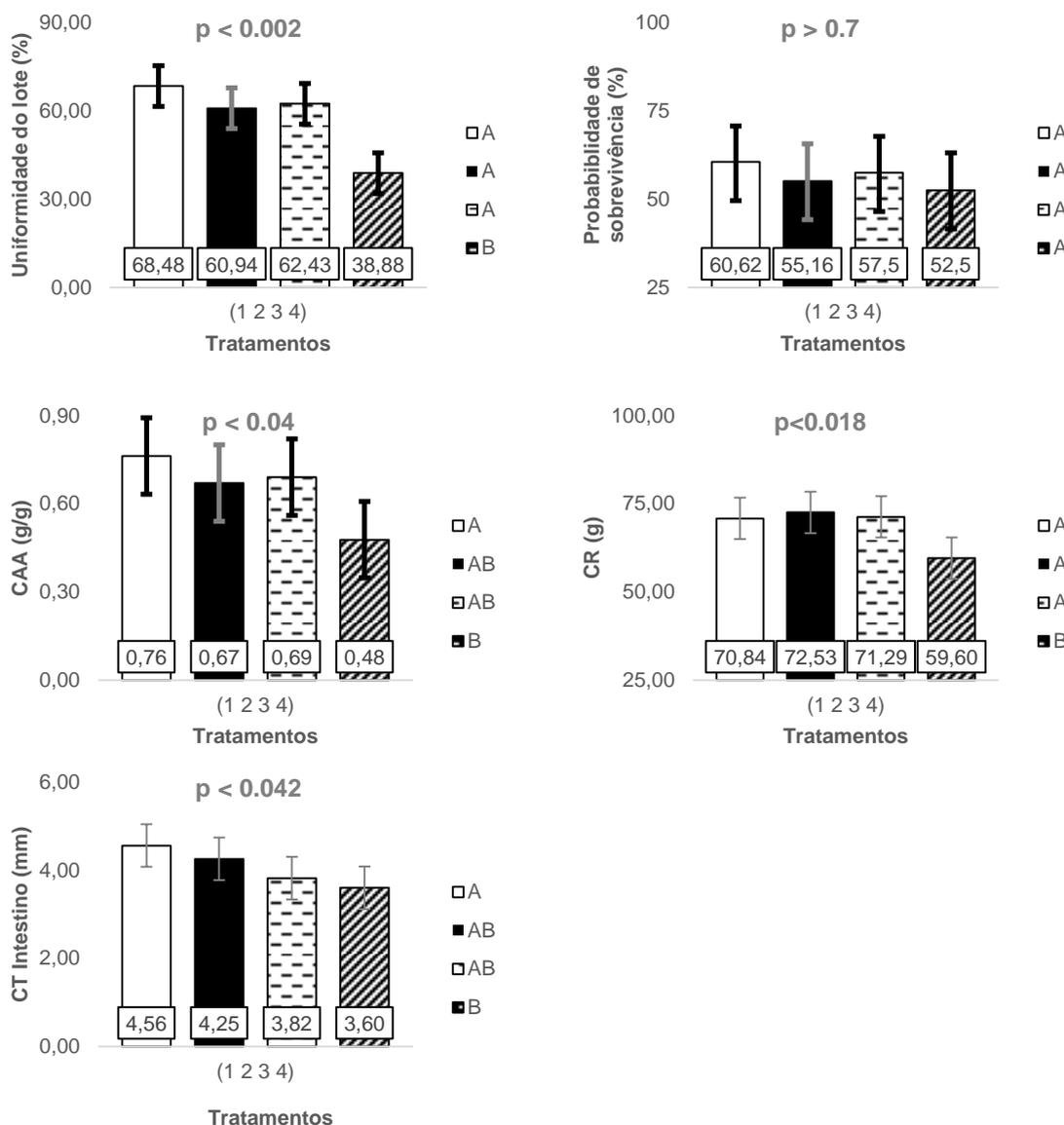
As taxas de crescimento e desenvolvimento específico apresentaram os melhores resultados no tratamento 1. Os animais apresentaram valores para essas variáveis superiores ao encontrado por Cui et al. (2010), Li et al. (2013), Ren e Dong (2018), Ren et al. (2015) e Vásquez-Torres e Arias-Castellanos (2013). O lambari do rabo amarelo é uma espécie que apresenta crescimento muito acelerado nos primeiros meses de vida, podendo atingir tamanho comercial até no terceiro mês de cultivo em condições apropriadas. O fato de ser uma espécie de pequeno porte pode contribuir para possuir taxas de crescimento tão elevadas em relação a outras espécies no período inicial de vida.

Figura 14 – Biomassa final, Taxa de crescimento e desenvolvimento específico durante a segunda fase



A conversão alimentar aparente dos animais durante a segunda etapa experimental apresentou os maiores valores no tratamento 1 e os menores no tratamento 4. Os valores foram inferiores ao encontrado por Ren et al. (2015), Tian et al. (2012) e Vásquez-Torres e Arias-Castellanos (2013). Em relação ao consumo de alimento, os animais apresentaram um menor consumo de alimento no tratamento 4 e maior consumo no tratamento 1. Os valores foram inferiores ao encontrado por Li et al. (2013) e Ren et al. (2011). Referente aos valores encontrados para CR e CAA, o fato de os animais aumentarem o consumo em rações com processamento de ingredientes e possuírem uma CAA elevada, pode estar associado a efeitos relacionados a uma maior atratividade das dietas, quando comparadas com o tratamento 4. Os fatores antinutricionais presentes em ingredientes de origem vegetal podem ter influenciado para um aumento no consumo dos alimentos, como relatado por Francis, Makkar e Becker (2001), Palermo, Pellegrini e Fogliano (2013) e Ramírez-Cárdenas, Leonel e Costa (2008).

Figura 15 – Uniformidade do lote, Probabilidade de sobrevivência, conversão alimentar aparente, consumo de ração e comprimento total do intestino da segunda fase



Em relação à sobrevivência dos animais durante a segunda fase experimental, os animais apresentaram maior sobrevivência nos animais que receberam a ração sem nenhum processamento dos ingredientes (tratamento 4), com valores inferiores de sobrevivência nos tratamentos 1, 2 e 3. Um ponto importante a mencionar é o comportamento dos animais dentro das unidades durante a segunda fase experimental. Com a modificação na densidade de estocagem, os animais dos tratamentos 1, 2 e 3 mostravam um comportamento hierárquico nos aquários, com pequenos grupos de peixes que apresentavam um

tamanho superior aos demais animais dos aquários e com comportamento de dominância. Entretanto, no tratamento 4, dois grupos eram formados (peixes maiores e menores), como dois pequenos cardumes, que evitavam confrontos diretos por alimento.

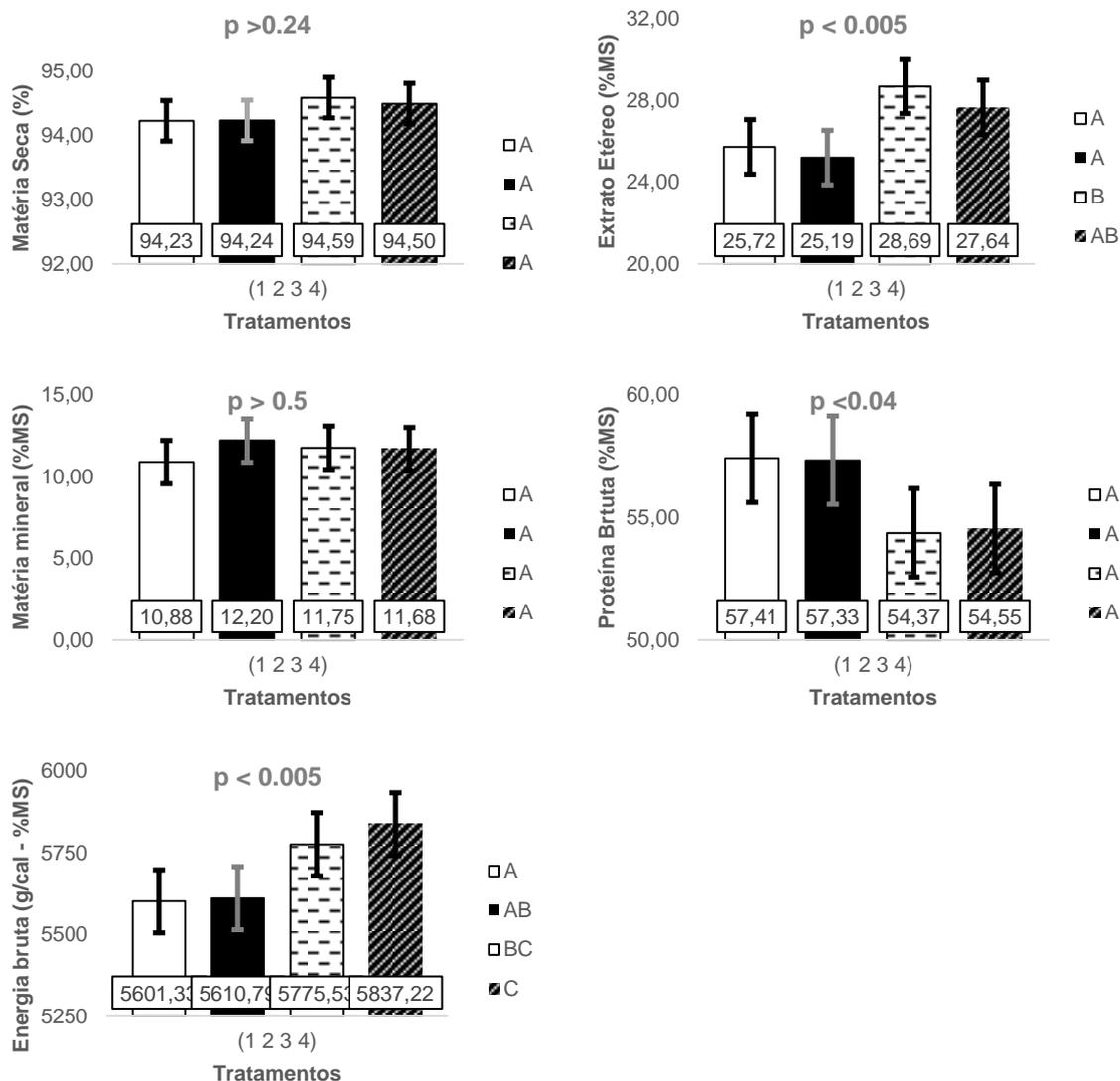
A estratégia de formação de pequenos cardumes pode ter contribuído diretamente para o aumento da sobrevivência dos animais, uma vez que as brigas eram maiores apenas nos aquários que apresentavam peixes dominantes (tratamentos 1, 2 e 3). A variável uniformidade do lote apresentou os menores resultados para o tratamento 4, reforçando a hipótese de peixes mais heterogêneos dentro do lote, porém, como o lambari é uma espécie forrageira, bastante ativa e com tendência a formar grupos, esse comportamento pode ter contribuído para a maior sobrevivência e menor uniformidade do lote. Gonçalves Junior et al. (2014) e Pereira et al. (2016) salientam que as interações sociais são as principais causas para o comportamento da uniformidade do lote.

Entretanto, em peixes considerados pacíficos, esse comportamento geralmente é nulo, como observado por Ribeiro et al. (2010), que não observaram diferença entre os tratamentos para o acará bandeira, espécie de peixe ornamental que apresenta comportamento social pacífico. Outro ponto importante a mencionar é que na disputa por alimento, a formação de grupos hierárquicos contribui para a diminuição desse parâmetro. Marques et al. (2004), ao trabalharem com diferentes taxas de arraçoamento, mencionaram que a quantidade de alimento pode reduzir o efeito dessa variável, uma vez que diminuiria a disputa por alimento dentro das unidades experimentais. Takahashi et al. (2010), ao avaliarem diferentes tipos de alimento, também relataram que a alimentação é um fator crucial para o comportamento dessa variável, sendo necessário um fornecimento de alimento adequado e, sempre que possível, um reajuste na densidade do lote dos animais para quebrar o comportamento social.

Duas variáveis de composição da carcaça não apresentaram diferença entre os tratamentos (proteína e matéria mineral) Figura 16. Para o extrato etéreo e energia bruta da carcaça, houve diferença entre os tratamentos, com maiores resultados no T3 e T4. Apesar do T4 não apresentar nenhum processamento dos ingredientes, os valores são iguais ao T3, que recebeu tratamento térmico e enzimático dos ingredientes. De forma geral, em relação ao comportamento dos

nutrientes da carcaça, pode-se inferir que os tratamentos 3 e 4 apresentaram os melhores resultados relacionados à quantidade de gordura e energia presentes na carcaça.

Figura 16 – Composição da carcaça dos lambaris do rabo amarelo



Para as variáveis relacionadas à eficiência e retenção de PB, EE, MM e EE (figuras 17 e 18), de forma geral, os tratamentos 1 ao 3 apresentam os melhores resultados para essas variáveis, indicando que os alimentos processados podem apresentar uma melhora na utilização e retenção dos nutrientes presentes na dieta. Apesar disso, os valores observados na carcaça sugerem que apenas a ração do tratamento 3 apresenta melhores resultados para EE e EB, pois, ao utilizar os dois métodos de processamento (cocção + enzima), a possibilidade de aumento no teor

de carboidratos é superior nesta dieta, conseqüentemente, pode contribuir para o aumento desses parâmetros. A diminuição desses valores nos tratamentos 1 e 2 pode sugerir que em razão da baixa sobrevivência dos tratamentos 1, 2 e 3, o canibalismo pode ter contribuído para esse efeito, porém, como os animais do tratamento 3 receberam dois tratamentos, a eficiência pode ter sido aumentada, compensando assim o canibalismo.

Signor et al. (2010), ao trabalharem com complexo enzimático composto por amilase, protease, celulase, lipase, pectinase, xilanase, -glucanase e fitas, observaram uma melhora na conversão e eficiência alimentar para juvenis de tilápia do Nilo. Entretanto, Caverio et al. (2019) encontraram melhora nos parâmetros de desempenho e conversão alimentar dos juvenis de pirarucu alimentados com diferentes tipos e níveis de amilase, proteases e lipases.

Castillo e Gatlin (2015), em um levantamento científico sobre a utilização de enzimas para peixes, observaram que a alfa amilase apresentou melhora nas taxas de crescimento de carpas alimentadas com dietas contendo milho não gelatinizado e níveis de proteína abaixo do ideal. Aumento dos níveis de digestibilidade da matéria seca, glicose no sangue, glicogênio hepático, amilase intestinal, proteases intestinais e melhora no sistema imunológico somente em peixes alimentados com milho não gelatinizado. Para a carpa prateada a suplementação de alfa amilase também melhorou a digestibilidade do amido. De maneira geral, esses autores mostram diversas evidências que a utilização de diferentes tipos de enzimas amilolíticas melhora a utilização dos nutrientes, bem como a digestibilidade de ingredientes ricos em amido, possibilitando aos animais onívoros melhor aproveitamento destes compostos e, em alguns casos, para carnívoros.

Figura 17 – Taxa de eficiência para proteína, matéria mineral, extrato etéreo e energia bruta dos lambaris do rabo amarelo

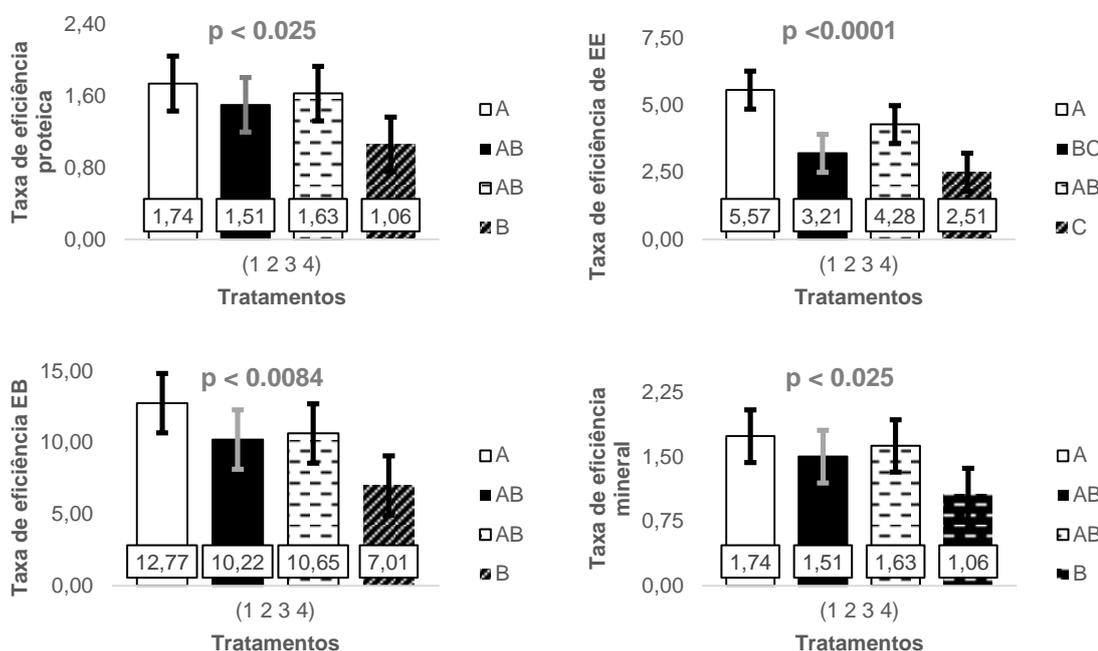
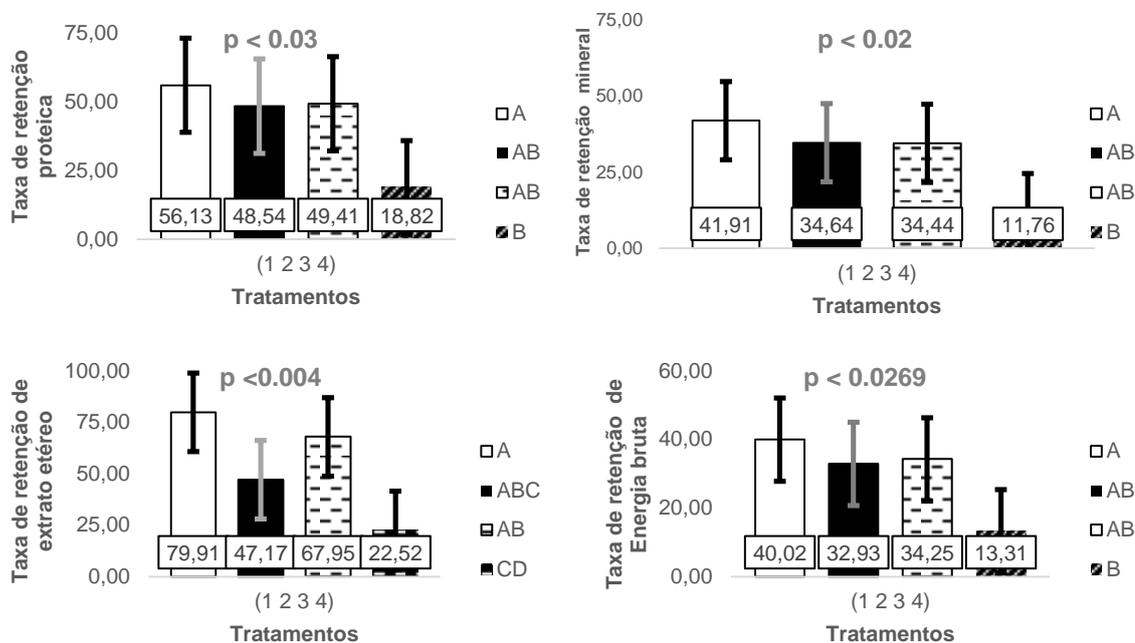


Figura 18 – Taxas de retenção para proteína bruta, matéria mineral, extrato etéreo e energia bruta



Complexos multienzimáticos também possibilitam a melhora do desempenho dos animais, como constatado por Hlophe-Ginindza et al. (2016), que ao avaliarem diferentes níveis de um complexo enzimático, observaram efeito linear em todos os

níveis no crescimento de *O. mossambicus*. Todavia, seus resultados sugerem uma suplementação de até 0.5 g/kg de dieta, para obtenção dos melhores resultados. Resultados similares foram obtidos por Ghomi et al. (2012), indicando o uso de complexos multienzimáticos com características similares também na proporção de 0.5 g/kg de dieta.

Tabela 5 – Correlação de Pearson entre as variáveis de composição bromatológica da carcaça e ingestão de alimentos

Coefficiente de correlação de Pearson											
$\left(\frac{\text{Correlação}}{p\text{ valor}}\right)$											
	TRAT	REP	PB	EB	EE	CPB	CEB	CEE	TEP	TEEB	TEEE
TRAT	1.00	0.00	-0.63	0.76	0.58	0.58	-0.51	0.58	-0.60	-0.71	-0.70
REP		1.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00
PB			1.00	-0.71	-0.82	-0.82	0.68	-0.82	0.20	0.29	0.25
EB				1.00	0.78	0.78	-0.54	0.78	-0.26	-0.35	-0.32
EE					1.00	1.00	-0.52	1.00	-0.10	-0.20	-0.12
CPB						1.00	-0.52	1.00	-0.10	-0.20	-0.12
CEB							1.00	-0.52	0.56	0.54	0.39
CEE								1.00	-0.10	-0.20	-0.12
TEP									1.00	0.98	0.88
TEEB										1.00	0.93
TEEE											1.00
TRPB											
TREE											
TREB											

Outro ponto importante a mencionar é que, conforme Tabela 5, os valores de proteína bruta possuem uma correlação positiva com o aumento no consumo de energia bruta, reforçando a hipótese do efeito economizador de proteína. Para a energia bruta, o consumo de extrato etéreo (EE) auxilia no aumento de energia da carcaça e apresenta uma alta correlação positiva com o aumento de EE na carcaça.

A energia na dieta pode restringir o crescimento dos peixes se não for fornecida na quantidade ideal para os animais. A baixa relação de Energia/Proteína pode dificultar a excreção de nitrogênio dos animais, compromete a utilização da

proteína utilizada para o crescimento, direcionada para obtenção de energia (CHO, 1992; LOVELL, 1984, 1986).

Tabela 6 – Continuação da Tabela 5

	Coefficiente de correlação de Pearson		
	($\frac{\text{Correlação}}{p \text{ valor}}$)		
	TRPB	TREE	TREB
TRAT	-0.63 0.01	-0.64 0.01	-0.63 0.01
REP	0.14 0.60	0.05 0.87	0.10 0.70
PB	0.19 0.48	0.08 0.76	0.15 0.58
EB	-0.29 0.28	-0.23 0.38	-0.26 0.32
EE	-0.14 0.59	0.01 0.97	-0.11 0.69
CPB	-0.14 0.59	0.01 0.97	-0.11 0.69
CEB	0.54 0.03	0.39 0.14	0.49 0.06
CEE	-0.14 0.59	0.01 0.97	-0.11 0.69
TEP	0.98 <.0001	0.94 <.0001	0.97 <.0001
TEEB	0.96 <.0001	0.95 <.0001	0.96 <.0001
TEEE	0.82 <.0001	0.94 <.0001	0.84 <.0001
TRPB	1.00	0.93 <.0001	1.00 <.0001
TREE	0.93 <.0001	1.00	0.95 <.0001
TREB	1.00 <.0001	0.95 <.0001	1.00

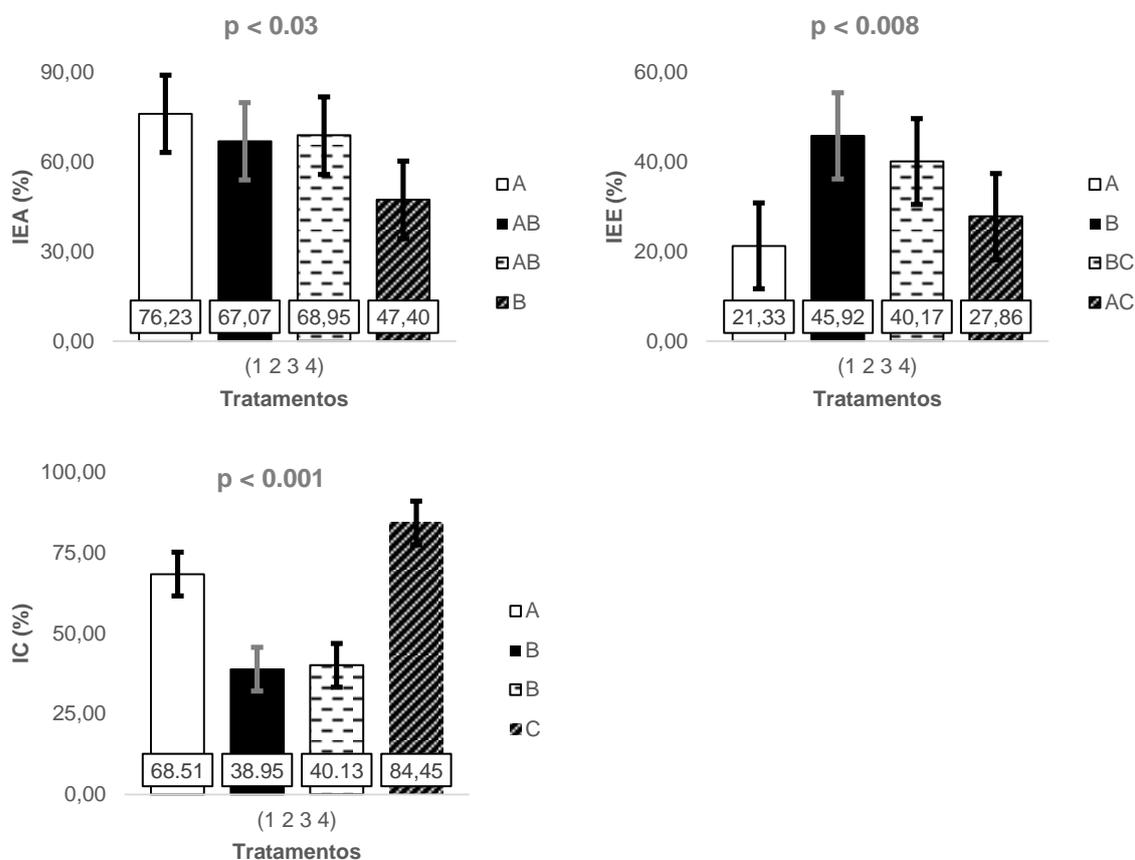
Onde: Trat = tratamento; Rep = repetição; PB = Proteína bruta da carcaça; EB = Energia

Craig, Kuhn e Schwarz (2017) relatam que o excesso de energia em relação ao teor de proteínas pode resultar em uma alta deposição lipídica, além de resultar em uma diminuição da ingestão do alimento e, conseqüentemente, menor ganho de peso. Apesar da grande importância da energia para poupar a proteína no uso como forma de energia, esse parâmetro deve ser fornecido apenas para satisfazer as necessidades durante o crescimento.

Para as variáveis econômicas utilizadas no presente trabalho, Figura 19, todas as variáveis apresentaram diferença entre os tratamentos. A capacidade do animal em converter o alimento ingerido em massa, descrita para a variável Índice de eficiência alimentar (IEA), apresenta-se igual entre os tratamentos 1, 2 e 3. Esse comportamento demonstra a capacidade dos animais em aproveitar melhor os nutrientes que foram previamente processados.

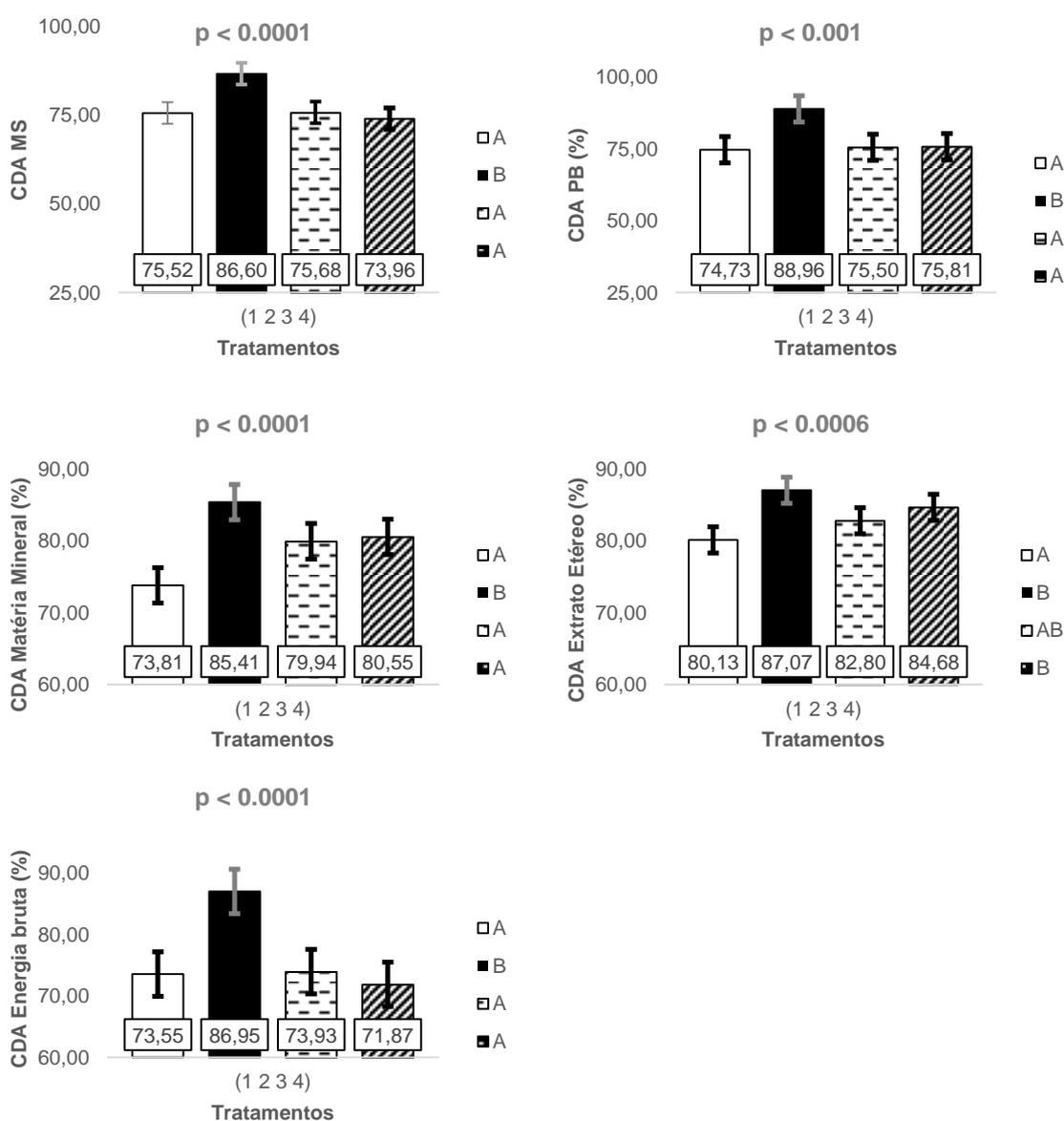
Para a variável Índice de custo (IC), a representação da relação entre o custo de cada dieta pode indicar melhores resultados na dieta que não recebeu nenhum processamento (T4), diferindo-se dos demais tratamentos. O T1 foi diferente do T2 e T3, iguais entre si. As dietas com uso de enzimas apresentaram um Índice de custo inferior ao tratamento sem nenhum processamento. Esse comportamento era esperado em virtude do custo para obtenção das enzimas e da realização dos procedimentos. Porém a utilização das enzimas não acarreta diretamente em uma ineficiência ou desvantagem frente ao incremento monetário para sua utilização. Ao contrário, na variável Índice de eficiência econômica, que representa o que foi produzido e a relação entre o alimento ingerido e seu custo, demonstra que a utilização de enzima + cocção durante o processamento gera a melhor eficiência econômica, seguida pela utilização de enzima, sem processamento e apenas cocção (T2, T3, T4 e T1, respectivamente).

Figura 19 – Índices econômicos para o lambari do rabo amarelo



Em relação aos resultados obtidos para a digestibilidade, todas as variáveis apresentaram diferença entre os tratamentos, Figura 20. Para o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca (CDAMS), os valores observados no tratamento 2 são os mais altos, diferentemente dos demais tratamentos, que são iguais entre si. Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, matéria mineral e energia bruta (CDA – PB, MM, EB) apresentaram melhores resultados no tratamento 2 e igualdade entre os demais tratamentos. Entretanto, para o coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo (CDAEE), o tratamento 1 foi igual ao 3, porém se difere dos demais. Os tratamentos 2, 3 e 4 são iguais entre si.

Figura 20 – Coeficientes de digestibilidade aparente para o lambari do rabo amarelo



De forma geral, os resultados obtidos de digestibilidade das rações experimentais indicam melhora nos CDAs da ração que recebeu tratamento térmico e enzimático (T2), seguido pelo tratamento apenas de enzimas (T3). As enzimas suplementadas na dieta melhoram o aproveitamento da dieta, como observado por Kumar et al. (2006), que, ao utilizarem alfa amilase, observaram melhora na proteína muscular para juvenis de rohita, alimentados com dietas contendo amido não gelatinizado suplementada com 50 mg de alfa amilase/kg de dieta. A suplementação de enzimas associadas à gelatinização do amido também melhorou o desempenho e digestibilidade dos animais, como observado por Kumar, Sahu e Pal (2006).

De certa forma, a gelatinização do amido, descrita desde a década de 1970 por Anderson, Conway e Peplinski (1970), ocorre pelo aumento da temperatura e absorção de água, formando um composto transparente, viscoso, com degradação das zonas cristalinas e término da birrefringência. Basicamente com o aquecimento, a molécula ao absorver água, aumenta seu tamanho e, ao atingir o ponto de máxima viscosidade, resulta na degradação do amido, formando moléculas particionadas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; DENARDIN, 2009; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

A gelatinização do milho pode melhorar o coeficiente de digestibilidade aparente dos peixes, como observado por Asad et al. (2019), que obtiveram melhores resultados para os coeficientes de digestibilidade aparente em dietas que possuíam amido gelatinizado. Moro, Silva e Cyrino (2017) encontraram melhora nos CDAs de dourado, alimentados com milho submetido a processo de extrusão. Atualmente, a extrusão de dietas é o processo comumente utilizado na fabricação de rações, pois segundo Nikmaram et al. (2017), pode reduzir fatores antinutricionais, podendo inativar ou destruir aflatoxinas, destruir microrganismos, auxiliar em outros processos, como a gelatinização do amido.

Entretanto, apesar das dietas utilizadas no presente estudo não receberem o processamento por extrusão, foram submetidas a um tempo de cozimento e, posteriormente, exposição à enzima alfa amilase, com a finalidade de hidrolisar a molécula de amido. Segundo Fish e Thompson (1991), o aquecimento a uma temperatura de 100 °C durante 15 minutos é eficiente para evitar que a lectina possa inibir a alfa amilase. Dessa forma, pode-se inferir que o processamento de

cozimento dos ingredientes pode auxiliar na melhora de parâmetros dos ingredientes.

Contudo, é possível observar no presente experimento que o uso de apenas cocção ou enzima não promove o melhor aproveitamento dos nutrientes. Os fatores antinutricionais presentes em ingredientes de origem vegetal podem comprometer diretamente no desempenho dos animais ou na digestibilidade. Como observado para o robalo japonês, a utilização apenas de enzimas em dieta contendo diferentes níveis de farelo de canola, em rações peletizadas, não apresentou melhoras significativas (CHENG et al., 2010). Esses autores salientam que os fatores antinutricionais presentes nesse ingrediente podem dificultar o aproveitamento dos nutrientes, além de não melhorar o desempenho dos animais. Apesar disso, a utilização de ingredientes de origem vegetal pode melhorar aspectos relacionados ao custo de produção de dieta, além de diversas características, como melhora no desempenho animal, diminuição de microrganismos não desejáveis no trato digestivo e, principalmente, como um potencial imunomodulador, conforme observado por Zahran et al. (2014).

Diógenes et al. (2018) mencionam que a suplementação de enzimas exógenas pode ser uma estratégia para a melhora no aproveitamento dos ingredientes, mas depende de diversas características, como tipo de alimento, hábito da espécie e temperatura. Um ponto importante a mencionar é que os estudos com suplementação de enzimas para peixes ocorre como parte suplementar na dieta e não na confecção. Em alguns casos é possível que o nível de enzima suplementado não seja adequado para melhorar o aproveitamento dos nutrientes.

A estratégia utilizada no presente experimento, de promover a hidrólise no momento antes da ingestão do alimento, pode influenciar na disponibilidade de moléculas de carboidratos clivadas, possivelmente como oligossacarídeos, e facilitar a ação das enzimas presentes no trato digestivo do animal, com um melhor aproveitamento desse nutriente.

Desse modo, o uso do processo de cozimento associado à exposição à alfa amilase proporcionou os melhores resultados para os coeficientes de digestibilidade dos animais, melhorou o desempenho e apresentou viabilidade econômica.

6 CONCLUSÃO

O desempenho dos animais foi afetado pelo processamento dos ingredientes pré-confecção da dieta, apresentando os melhores resultados em dietas que receberam apenas cocção como processamento.

Em relação à eficiência e retenção dos nutrientes da dieta, o processamento dos ingredientes melhorou alguns parâmetros, mas não refletiu diretamente em alterações na carcaça dos animais.

Para as variáveis econômicas, a utilização das enzimas associadas ao processo de cocção demonstra maior eficiência da ração no desempenho com os custos comparado dos animais.

A utilização de processos térmicos e enzimáticos na pré-confecção da dieta pode melhorar os coeficientes de digestibilidade aparente do lambari do rabo amarelo.

REFERÊNCIAS

- AABIMORAD, E. G.; CASTELLANI, D. Exigências nutricionais de aminoácidos para o lambari-do-rabo-amarelo baseadas na composição da carcaça e do músculo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, p. 31-38, 2011.
- ALMEIDA, R. B. C. *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) como modelo biológico de espécie de peixe para exploração zootécnica e biomanipulação. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PEPLINSKI, A. J. Gelatinization of Corn Grits by Roll Cooking, Extrusion Cooking and Steaming. *Starch - Stärke*, v. 22, n. 4, p. 130-135, 1970.
- ASAD, F.; QAMER, S.; ASHRAF, A.; RAFIQUE, A.; SHAHEEN, Z.; NISAR, A.; JAVAID, S. Apparent nutrient digestibility of carbohydrate (corn) in *Cirrhinus mrigala* under the influence of chromium chloride hexahydrate. **Brazilian Journal of Biology**, n. 6984, p. 1-5, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário PeixeBR**, n. 138, 2018. Disponível em: <http://www.peixebr.com.br/anuario-peixebr-2018/>. Acesso em: 18 fev. 2020.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. AOAC. **Official methods of analysis**. 17th ed. Maryland, 2000.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de Peixes**. 3rd ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2018.
- BARBOSA, H. P.; FIALHO, E. T.; LIMA, G. J. M. M.; FERREIRA, A. S. Triguilho na alimentação de suínos. **Boletim Técnico Embrapa**, v. 1, n. 1, p. 1-4, 1990.
- BASSO, C. **Amido Resistente**: Efeito de Processamento, aceitabilidade e glicemia. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BELLAVER, C.; TADEU, E.; PROTAS, J. F. D. S.; GOMES, P. C. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 8, p. 969-974, 1985.
- CARA, J. B.; MOYAN, F. J.; CÁRDENAS, S.; FERNÁNDEZ-DÍAZ, C. Assessment of digestive enzyme activities during larval development of white bream. **Journal of Fish Biology**, v. 63, p. 48-58, 2003.
- CARVALHO, R. V. **Produção e caracterização de α -amilase por bacillus sp.**

smia-2 termofílico utilizando proteínas do soro de leite, e algumas aplicações da enzima. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

CASTILLO, S.; GATLIN, D. M. Dietary supplementation of exogenous carbohydrase enzymes in fish nutrition: A review. **Aquaculture**, n. 435, p. 286-292, 2015.

CAVERO, B. A. S.; ITUASSÚ, D. R.; GANDRA, A. L.; PEREIRA-MARINHO, T.; FONSECA, F. A. L.; PEREIRA-FILHO, M. Exogenous enzymes on the feeding of pirarucu *Arapaima gigas* Schinz. 1822 (Osteoglossiformes. Arapaimidae). **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 14, n. 1, p. 1-7, 2019.

CAVERO, B. A. S.; PEREIRA FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D. R. Efeito da densidade de estocagem na homogeneidade do crescimento de juvenis de pirarucu em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 103-107, 2003.

CHENG, Z.; AI, Q.; MAI, K.; XU, W.; MA, H.; LI, Y.; ZHANG, J. Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. **Aquaculture**, v. 305, n. 1-4, p. 102-108, 2010.

CHO, C. Y. Feeding for rainbow trout and other salmonids. With reference to current estimates of energy and protein requirements. **Aquaculture**, n. 100, p. 107-123, 1992.

COLIN, B.; COWEY, C. B.; YOUNG, D. C.; CHO, C. Nutrition requirements of fish. **Proceeding of the Nutrition Society** 52: 417-426, 1993.

CORREA, C. F.; CERQUEIRA, V. R. Densidade de estocagem para juvenis de robalo peva após a larvicultura. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 4, p. 571-576, 2008.

CRAIG, S.; KUHN, D.; SCHWARZ, M. Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding Steven. **Virginia Cooperative Extension**, n. 256-420, 2017.

CUI, X. J.; ZHOU, Q. C.; LIANG, H. O.; YANG, J.; ZHAO, L. Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 1, p. 99-107, 2010.

CUNHA, M. S. da. **Biogeografia histórica do lambari de ampla distribuição *Astyanax aff. bimaculatus* (Teleostei: Characidae) no sudeste brasileiro, com base em padrões de variação citogenéticos e moleculares.** Dissertação (Mestrado em Genética Animal; Genética molecular e de microrganismos; Genética quantitativa; Genética vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos de

Fennema. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DENARDIN, C. C. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, 2009.

DIAS, D. C.; CORRÊA, C. F.; LEONARDO, A. F. G.; TACHIBANA, L.; ROMAGOSA, E.; RANZANI-PAIVA, M. J. T. Probiótico na larvicultura de matrinxã, *Brycon amazonicus*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 33, n. 4, p. 365-368, 2011.

DIÓGENES, A. F.; CASTRO, C.; CARVALHO, M.; MAGALHÃES, R.; ESTEVÃO-RODRIGUES, T. T.; SERRA, C. R.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H. Exogenous enzymes supplementation enhances diet digestibility and digestive function and affects intestinal microbiota of turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles fed distillers' dried grains with solubles (DDGS) based diets. **Aquaculture**, n. 486, p. 42-50, 2018.

DUNN, A. M.; HOFMANN, O. S.; WATERS, B.; WITCHEL, E. Cloaking malware with the trusted platform module. *In: Proceedings of the 20th USENIX Security Symposium*, 2011. p. 395-410.

ESCHMEYER, W. N.; FONG, J. D. Catalog of Fishes. *In: I. f. B. S. a. Sustainability* (ed.). **Ichthyology**, California Academy of Sciences, 2018.

EUROPEAN Union comments on Codex Circular Letter CL 2014 / 13-FA Priority list of substances proposed for evaluation by JECFA Mixed Competence, Europe Union, 2015.

FANG, L.; LIANG, X. F.; ZHOU, Y.; GUO, X. Z.; HE, Y.; YI, T. L.; LIU, L. W.; YUAN, X. C.; TAO, Y. X. Programming effects of high-carbohydrate feeding of larvae on adult glucose metabolism in zebrafish, *Danio rerio*. **British Journal of Nutrition**, v. 111, n. 5, p. 808-818, 2014.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018**. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible, 2018.

FISH, B. C.; THOMPSON, L. U. Lectin-tannin interactions and their influence on pancreatic amylase activity and starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 4, p. 727-731, 1991.

FISHBASE. **Astyanax Altiparanae**. 2020. Disponível em: <https://www.fishbase.se/summary/Astyanax-altiparanae.html>. Acesso em: 10 dez. 2019.

FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. **Nutriaqua**: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013.

FRANCIS, G.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, p. 197-227, 2001.

FURUYA, W.M. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM. 2010.

GHOMI, M. R.; SHAHRIARI, R.; LANGROUDI, H. F.; NIKOO, M.; VON ELERT, E. Effects of exogenous dietary enzyme on growth, body composition, and fatty acid profiles of cultured great sturgeon *Huso huso* fingerlings. **Aquaculture International**, v. 20, n. 2, p. 249-254, 2012.

GISBERT, E.; GIMÉNEZ, G.; FERNÁNDEZ, I.; KOTZAMANIS, Y.; ESTÉVEZ, A. Development of digestive enzymes in common dentex *Dentex dentex* during early ontogeny. **Aquaculture**, v. 287, n. 3-4, p. 381-387, 2009.

GONÇALVES, G. S.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Digestibilidade aparente e suplementação de fitase em alimentos vegetais para a tilápia do Nilo. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 313-321, 2004.

GONÇALVES JUNIOR, L. P.; MENDONÇA, P. P.; PEREIRA, S. L.; MATIELO, M. D.; DA SILVA AMORIM, I. R. Stocking densities in the larviculture of goldfish. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 4, 2014.

HLOPHE-GININDZA, S. N.; MOYO, N. A. G.; NGAMBI, J. W.; NCUBE, I. The effect of exogenous enzyme supplementation on growth performance and digestive enzyme activities in *Oreochromis mossambicus* fed kikuyu-based diets. **Aquaculture Research**, v. 47, n. 12, p. 3777-3787, 2016.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, n. 41, 2013.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, n. 42, 2014.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, n. 43, 2015.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, n. 44, 2016.

KESTMONT, P. S.; JOURDAN, M.; HOUBART, C.; MERLARD, M.; PASPATIS, P.; FORTAINE, A.; CUVIER, M.; BARAS, E. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae, biotic and abiotic influences. **Aquaculture**, v. 227, n. 1-4, p. 333-356, 2003.

KUMAR, S.; SAHU, N. P.; PAL, A. K.; CHOUDHURY, D.; MUKHERJEE, S. C. Studies on digestibility and digestive enzyme activities in *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles: Effect of microbial α -amylase supplementation in non-gelatinized or gelatinized corn-based diet at two protein levels. **Fish Physiology and**

Biochemistry, v. 32, n. 3, p. 209-220, 2006.

KUMAR, S.; SAHU, N. P.; PAL, A. K. Non-gelatinized corn supplemented with microbial α -amylase at sub-optimal protein in the diet of *Labeo rohita* (Hamilton) fingerlings increases cell size of muscle. **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 1, n. 2, p. 102-111, 2006.

LI, X. F.; WANG, Y.; LIU, W. B.; JIANG, G. Z.; ZHU, J. Effects of dietary carbohydrate lipid ratios on growth performance, body composition and glucose metabolism of fingerling blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. **Aquaculture Nutrition**, v. 19, p. 701-708, 2013.

LÓPEZ, S.; FRANCE, J.; GERRITS, W. J. J.; DHANOA, M. S.; HUMPHRIES, D. J.; DIJKSTRA, J. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. **Journal of Animal Science**, 2000.

LOVELL, R. T. Use of soybean products in diets for aquaculture species. Saint Louis. American Soybean Association. 16 p. **Technical Bulletin**, v. AQ21-90, n. 6-7, 1984.

LOVELL, R. T. Weight gain versus protein gain for evaluating fish feeds. **Aquaculture Magazine**, v. 12, p. 45-47, 1986.

MA, H., CAHU, C., ZAMBONINO, J., YU, H., DUAN, Q., LE GALL, M. M., MAI, K. Activities of selected digestive enzymes during larval development of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). **Aquaculture**, v. 245, n. 1-4, p. 239-248, 2005.

MALABARBA, L. R.; MALABARBA, M. C. S. L. Filogenia e Classificação dos peixes Neotropicais. *In: Ictiologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce*. 2014. p. 336.

MARQUES, N. R.; HAYASHI, C.; SOUZA, S. R. de; SOARES, T. Efeito de diferentes níveis de arraçoamento para alevinos de Carpa-Capim (*Ctenopharyngodon idella*) em condições experimentais. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 30, n. 1, p. 51-56, 2004.

MCDONALD, A. The Enzyme List Class 3 – Hydrolases. **International Union of Biochemistry and Molecular Biology** (NC-IUBMB), 2019.

MCDONALD, A. G.; BOYCE, S.; TIPTON, K. ExplorEnz: the primary source of the IUBMB enzyme list. **Nucleic Acids Res.**, v. 37, 2009.

MEURER, F.; HAYASHI, C. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de peixes - Revisão. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 6, n. 2, p. 127-138, 2003.

MIRANDE, M. J. Weighted parsimony phylogeny of the family Characidae

(Teleostei: Characiformes). **Cladistics**, v. 25, p. 574-613, 2009.

MORO, G. V.; SILVA, T. S. C.; CYRINO, J. E. P. Feed processing affected the digestibility of carbohydrate sources for dourado *Salminus brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 40-45, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

NGUYEN, Q. D.; REZESSY-SZABÓ, J. M.; CLAEYSSSENS, M.; STALS, I.; HOSCHKE, Á. Purification and characterisation of amylolytic enzymes from thermophilic fungus *Thermomyces lanuginosus* strain. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 31, p. 345-352, 2002.

NIKMARAM, N.; LEONG, S. Y.; KOUBAA, M.; ZHU, Z.; BARBA, F. J.; GREINER, R.; ROOHINEJAD, S. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. **Food Control**, v. 79, p. 62-73, 2017.

NOSE, T. On the effective value of freshwater green algae (*Chlorella ellipsoidea*), as a nutritive source to gold fish. **Bull. Fresh. Fish. Res. Lab.**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 1960.

PALERMO, M.; PELLEGRINI, N.; FOGLIANO, V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. **Journal of Science Food Agriculture**, v. 94, 1057-1070, 2013.

PASCOAL, A. M. **Extração e caracterização do amido de lobeira**. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PEREIRA, L. H. G. **Obtenção e estudo das propriedades físico-químicas de amidos de mandioca (manihot esculenta) oxidados e ácido-modificados**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2008.

PEREIRA, S. L.; GONÇALVES JUNIOR, L. P.; DE AZEVEDO, R. V.; MATIELO, M. D.; SELVATICI, P. D. C.; AMORIM, I. R.; MENDONÇA, P. P. Different feeding strategies on larval rearing of angelfish (*Peterodophyllum scalare*, Cichlidae). **Acta Amazonica**, v. 46, 2016.

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E.; BARROS, M. M.; PINTO, L. G. Q.; FURUYA, W. M.; PEZZATO, A. C. Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 595-1604, 2002.

RAMÍREZ-CÁRDENAS, L.; LEONEL, A. J.; COSTA, N. M. B. Efeito do processamento doméstico sobre o teor de nutrientes e de fatores antinutricionais de diferentes cultivares de feijão comum. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 13, 2008.

RATKOWSKY, D. A. Principles of nonlinear regression modeling. **Journal of Industrial Microbiology**, 1993.

REN, J.; DONG, L. Evaluation of electricity supply sustainability and security: Multi-criteria decision analysis approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 438-453, 2018.

REN, M.; AI, Q.; MAI, K.; MA, H.; WANG, X. Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, apparent digestibility coefficient and digestive enzyme activities of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 10, p. 1467-1475, 2011.

REN, M.; HABTE-TSION, H. M.; XIE, J.; LIU, B.; ZHOU, Q.; GE, X.; PAN, L.; CHEN, R. Effects of dietary cho source on growth performance, diet difestibility and liver glucose enzyme activity in blunt snout bream. **Aquaculture**, n. 438, p. 75-81, 2015.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2007.

RIBEIRO, F. de A. S.; JORGE, P. H.; FERNANDES, J. B. K.; SAKOMURA, N. K. Densidade de estocagem para produção de acará-bandeira em viveiros escavados em policultivo com camarão-da-amazônia. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 129-134, 2010.

RODWELL, V. W.; BENDER, D. A.; BOTHAM, K. M.; KENNELLY, P. J.; WEIL, P. A. *Bioquímica ilustrada de Harper*. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2017.

ROTTA, M. A. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à Piscicultura. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, p. 689-1699, 2003.

SANTANA, R. S. **Produção de enzimas amilolíticas através da fermentação em estado sólido**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2012.

SHIGA, L. H.; YAMAGUCHI, M. M.; UENO, C. Elaboração de conserva de lambari em óleo de canola envasado em potes de vidro. **Tópicos em Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v. 3, p. 187-198, 2017.

SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A.; GONÇALVES, G. S.; DE FREITAS, J. M. A. Performance of juvenile Nile tilapia fed diets with enzymatic complex. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 977-983, 2010.

SILVA, N. J. R.; LOPES, M.; GONÇALVES, F. H. A. S. B. G.; GONSALES, Z.; HENRIQUES, M. Avaliação do potencial do mercado consumidor de lambari da baixada santista. **Informações Econômicas**, v. 41, p. 1-17, 2011.

SINHA, A. K.; KUMAR, V.; MAKKAR, H. P. S.; DE BOECK, G.; BECKER, K. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition - A review. **Food Chemistry**, v. 127, n. 4, p. 1409-1426, 2011.

SPIER, M. R. **Produção de enzimas amilolíticas fúngicas α -amilase e amiloglucosidase por fermentação no estado sólido**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

STONE, D. A. J. Dietary carbohydrate utilization by fish. **Reviews in Fisheries Science**, v. 11, n. 4, p. 337-369, 2003.

SUSSEL, F. R. **Fontes e níveis de proteína na alimentação do lambari-do-rabo-amarelo: desempenho produtivo e análise econômica**. Tese (Doutorado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SUZER, C.; KAMACI, H. O.; COBAN, D.; SAKA, Ş.; FIRAT, K.; ÖZKARA, B.; ÖZKARA, A. Digestive enzyme activity of the red porgy (*Pagrus pagrus*, L.) during larval development under culture conditions. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 16, p. 1778-1785, 2007.

TAKAHASHI, L. S.; DA SILVA, T. V.; FERNANDES, J. B. K.; BILLER, J. D.; DE SANDRE, L. C. G. Effect of food type on growth performance of angelfish juvenile (*Pterophyllum scalare*). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 1, p. 1-8, 2010.

TALMA, S. V. **Avaliação da qualidade de raízes de mandioca (manihot esculenta crantz) de diferentes variedades de interesse para as regiões norte e noroeste fluminenses**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

TAN, Q.; WANG, F.; XIE, S.; ZHU, X.; LEI, W.; SHEN, J. Effect of high dietary starch levels on the growth performance, blood chemistry and body composition of gibel carp (*Carassius auratus var. gibelio*). **Aquaculture Research**, v. 40, p. 1011-1018, 2009.

TIAN, L. X.; LIU, Y. J.; YANG, H. J.; LIANG, G. Y.; NIU, J. Effects of different dietary wheat starch levels on growth, feed efficiency and digestibility in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Aquaculture International**, v. 20, p. 283-293, 2012.

VÁSQUEZ-TORRES, W.; ARIAS-CASTELLANOS, J. A. Effect of dietary carbohydrates and lipids on growth in cachama (*Piaractus brachypomus*). **Aquaculture Research**, v. 44, n. 11, p. 1768-1776, 2013.

WILSON, R. P. Utilization of dietary carbohydrate by fish. **Aquaculture**, v. 124, n. 1-4, p. 67-80, 1994.

ZAHRAN, E.; RISHA, E.; ABDELHAMID, F.; MAHGOUB, H. A.; IBRAHIM, T. Effects

of dietary Astragalus polysaccharides (APS) on growth performance, immunological parameters, digestive enzymes, and intestinal morphology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 38, n. 1, p. 149-157, 2014.