



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

PÂMELA JULIANA FURLAN MURARI

**REVISÃO SISTEMÁTICA E O EFEITO DA
SUPLEMENTAÇÃO ALIMENTAR COM β -1,3/1,6-GLUCANA
EM *Hyphessobrycon eques* (PISCES, CHARACIFORMES)**

PÂMELA JULIANA FURLAN MURARI

**REVISÃO SISTEMÁTICA E O EFEITO DA
SUPLEMENTAÇÃO ALIMENTAR COM β -1,3/1,6-GLUCANA
EM *Hyphessobrycon eques* (PISCES, CHARACIFORMES)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito parcial para a obtenção do
título de Doutor em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Mauricio Lopera
Barrero

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F985 Furlan-Murari, Pâmela Juliana.
Revisão sistemática e o efeito da suplementação alimentar com B-1,3/1,6-glucana em *Hyphessobrycon eques* (Pisces, Characiformes) / Pâmela Juliana Furlan-Murari. - Londrina, 2020.
86 f. : il.

Orientador: Nelson Mauricio Lopera Barrero.
Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Aditivo aquícola B-glucana - Tese. 2. Peixe ornamental *Hyphessobrycon eques* - Tese. 3. Criação em cativeiro - Tese. 4. Histologia intestinal - Tese. I. Lopera Barrero, Nelson Mauricio . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. III. Título.

CDU 636

PÂMELA JULIANA FURLAN MURARI

**REVISÃO SISTEMÁTICA E O EFEITO DA
SUPLEMENTAÇÃO ALIMENTAR COM β -1,3/1,6-GLUCANA
EM *Hyphessobrycon eques* (PISCES, CHARACIFORMES)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito parcial para a obtenção do
título de Doutor em Ciência Animal.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Nelson Mauricio Lopera
Barrero
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Jayme Aparecido Povh
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul -
UFMS

Dr. Darci Carlos Fornari
Auburn University - AU

Londrina, 28 de Outubro de 2020

*Dedico ao meu Esposo Emerson, ao meu filho Gabriel,
a minha querida mãe Lúcia e a toda minha família,
que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a ir além.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo presente que é a minha vida e por me capacitar a chegar tão longe, por me conduzir neste caminho árduo, com força e determinação, para enfim conquistar a vitória!

Agradeço ao meu querido e amado esposo, por estar sempre ao meu lado, por ser o meu sustento, o meu refúgio e amparo, por me ajudar cuidando de tudo quando os dias de estudo foram intensos, por sempre me encorajar a alcançar os meus sonhos e lutar comigo para a realização de cada um deles, tudo tem mais sentido quando estou segurando na sua mão.

Agradeço também ao meu amado Filho, que chegou a pouco e ainda é muito pequeno, não é nada fácil finalizar um doutorado quando se tem um filho tão novo, que precisa de atenção e presença mais que tudo, sem entender direito as ausências dos longos dias de estudo da mamãe. Mas a chegada dele trouxe tanto amor, alegria e paz, que me fez ser muito mais forte e perseverante, aumentando ainda mais a vontade de lutar e conquistar um futuro melhor, onde ele possa viver e ser feliz.

Agradeço a minha família que sempre estiveram comigo e me ajudaram na concretização e finalização desse sonho e de tantas outras vitórias já alcançadas, ensinamentos e palavras que serão levados por toda vida. Em especial agradeço a minha querida Mãe, que tanto me encorajou a continuar e lutar por essa conquista, me auxiliando em todos os momentos, estando sempre presente e confiante de que eu seria capaz de ir tão longe. Agradeço também ao meu amado Pai, por ser o maior exemplo de profissional e homem de fé, dedicado a todo momento à nossa família, tudo que sou e onde cheguei só foi possível porque vocês lutaram e me ensinaram a lutar sem nunca desistir.

Sou muito grata à Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, pela oportunidade na obtenção da graduação no curso de Zootecnia, e posteriormente o título de Mestre, e agora Doutora em Ciência Animal. Bons frutos que foram colhidos com muito esforço e dedicação, proporcionando o preparo intelectual e profissional necessário para enfrentar todo o caminho que irei trilhar pela frente.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Nelson Maurício Lopera Barrero, por toda colaboração durante os anos de mestrado e doutorado, sobretudo por todo ensinamento, paciência, incentivos e motivações, acreditando em mim desde sempre e me encorajando a seguir sempre em frente.

Agradeço à Dra. Angela Rocio Poveda Parra no auxílio com as análises dos dados, sempre pronta a colaborar e auxiliar para a melhora do trabalho realizado.

Agradeço aos professores Dr. Paulo César Meletti, Dr. Eduardo J. de Almeida Araújo e Dra. Odimari P. Prado Calixto por participarem da banca de qualificação, auxiliando com sugestões e correções do trabalho realizado, e em especial aos professores Paulo e Eduardo por disponibilizarem seus respectivos laboratórios para a conclusão das análises.

Agradeço aos professores Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira, Dr. Ricardo Pereira Ribeiro, Dr. Jayme Aparecido Povh e Dr. Darci Carlos Fornari pela participação na banca de defesa da tese e compartilhamento de importantes conhecimentos, orientando, de forma clara e objetiva, com apontamentos fundamentais para uma melhor finalização desse trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Biologia Molecular do Núcleo de Estudo e Pesquisa em Aquicultura e Genética da Universidade Estadual de Londrina, pelo apoio para a realização das análises, e também agradeço aos amigos, colegas e membros do grupo pela companhia e colaboração durante todos os anos de estudo e aprendizado, além da cooperação para a concretização do experimento, análises e desenvolvimento da pesquisa final.

Agradeço aos amigos Angela M. Urrea-Rojas e Felipe Pinheiro de Souza, que estiveram presentes durante toda a caminhada, ajudando com muita dedicação e amizade, e em especial agradeço ao meu amigo Ed Christian S. de Lima, por toda ajuda, amizade, colaboração e grandes sugestões, com certeza a tese não seria a mesma sem essas pessoas, elas foram essenciais no meu caminho e na concretização desse trabalho.

Agradeço também a CAPES, por apoiar a realização desse trabalho, ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, e às Empresas Nutricon e Biorigin, pela solicitude no fornecimento da ração e do aditivo β -1,3/1,6-glucana, respectivamente, ambos utilizados no experimento realizado.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização da pesquisa e desse sonho, eu agradeço!

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz
e seus planos serão bem-sucedidos”.*
(Pr 16, 3)

FURLAN-MURARI, Pâmela Juliana. **Revisão sistemática e o efeito da suplementação alimentar com β -1,3/1,6-glucana em *Hyphessobrycon eques* (Pisces, Characiformes)**. 2020. 86 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

O Brasil é considerado o celeiro do mundo em relação a biodiversidade de peixes, com importantes espécies de água doce, como o peixe *Hyphessobrycon eques*, o qual possui grande destaque na aquicultura ornamental. Considerando a importância dessa espécie, foram desenvolvidas duas pesquisas: uma revisão sistemática de literatura com o intuito de buscar estudos que possam auxiliar na criação em cativeiro de *Hyphessobrycon eques* e verificar as lacunas do conhecimento sobre esses peixes. Por outro lado, através das informações obtidas na revisão, foi realizado um experimento inédito avaliando o efeito da β -1,3/1,6-glucana sobre o desempenho, glicose plasmática e histologia intestinal, enriquecendo as informações nutricionais disponíveis para *Hyphessobrycon eques*. Na revisão sistemática de literatura, a partir das bibliotecas digitais do Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct e Scopus, foram identificadas 966 publicações na triagem inicial, das quais apenas 56 representavam pesquisas sobre a espécie. O período das publicações selecionadas compreendeu de 1997 a 2020. Ao considerar somente as publicações com aspectos pertinentes à criação em cativeiro, 25 estudos foram selecionados, categorizados e analisados. Duas pesquisas abordaram informações sobre a reprodução e desenvolvimento da espécie. Quatro identificaram a fauna parasitária e cinco avaliaram as concentrações letais de potenciais agentes profiláticos usados na aquicultura. Outras nove pesquisas apontaram as preferências alimentares dos peixes e quatro avaliaram os aditivos dietéticos já utilizados. A revisão sistemática também identificou carências relacionadas aos estudos científicos sobre a espécie, tais como a determinação de exigências nutricionais e uso de aditivos, além da falta de adequação dos manejos alimentares, como frequências, períodos e níveis de alimentação específicos. Sobre o desenvolvimento, ainda não há consenso em relação a duração de cada fase, como também quais as condições de manejo mais adequadas para cada uma delas. Finalmente, no aspecto sanitário, há carências de pesquisas experimentais que tenham comparado e determinado qual melhor agente profilático, de acordo com os patógenos já identificados nos animais. Na pesquisa experimental, foi avaliado de forma inédita o efeito da suplementação dietética da β -1,3/1,6-glucana em diferentes níveis (0,0, 0,5, 1,0 e 2,0 g/kg) nos parâmetros de desempenho, concentração da glicose plasmática e histologia do intestino proximal de *Hyphessobrycon eques*. Não foram observados efeitos no desempenho, na glicose plasmática ou nas mensurações da histologia intestinal. Por outro lado, foi verificado que a concentração de 2,0 g/kg do aditivo proporcionou maior abundância das células caliciformes, secretoras de mucos ácidos e neutros. Portanto, a partir desse estudo foi possível oferecer um maior respaldo para a criação em cativeiro de *Hyphessobrycon eques*, como também apontar diversas oportunidades para que futuras pesquisas científicas possam enriquecer, com novos conhecimentos, a criação da espécie. A exemplo do observado com a suplementação da β -1,3/1,6-glucana, a qual proporcionou uma maior proteção sobre o tecido epitelial do intestino desse peixe ornamental.

Palavras-chave: aditivos aquícolas; peixe ornamental; criação em cativeiro; histologia intestinal; Mato Grosso.

FURLAN-MURARI, Pâmela Juliana. **Systematic review and the effect of food supplementation with β -1,3/1,6-glucan on *Hyphessobrycon eques* (Pisces, Characiformes)**. 2020. 86 p. Thesis (Doctor's Degree in Animal Science) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

Brazil is considered the breadbasket of the world in relation to fish biodiversity, with important freshwater species, such as the *Hyphessobrycon eques* fish, which has great prominence in ornamental aquaculture. Considering the importance of this species, two researches were carried out: a systematic review of the literature in order to seek studies that can assist in captive rearing of *Hyphessobrycon eques* and to verify the knowledge gaps about these fish. On the other hand, through the information obtained in this review, a novel experiment was carried out evaluating the effect of β -1,3/1,6-glucan on performance, plasma glucose and intestinal histology, enriching the nutritional information available for *Hyphessobrycon eques*. In the systematic literature review, according to the digital libraries of Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct and Scopus, 966 publications were identified in the initial screening, of which only 56 represented research on the species. The period of selected publications ranged from 1997 to 2020. When considering only publications with aspects relevant to captive rearing, 25 studies were selected, categorized and analyzed. Two surveys addressed information on the reproduction and development of the species. Four identified the parasitic fauna and five evaluated the lethal concentrations of potential prophylactic agents used in aquaculture. Another nine surveys pointed out the food preferences of the fish and four evaluated the dietary supplements already used. The systematic review also identified deficiencies related to scientific studies on the species, such as the determination of nutritional requirements and the use of additives, in addition to the lack of adequacy of food management, such as specific frequencies, periods and levels of feeding. Regarding the development, there is still no consensus regarding the duration of each phase, as well as which management conditions are most appropriate for each one. Finally, in the sanitary aspect, there is a lack of experimental research that has compared and determined which is the best prophylactic agent, according to the pathogens already identified in the animals. In experimental research, the effect of β -1,3/1,6-glucan dietary supplementation at different levels (0.0, 0.5, 1.0 and 2.0 g/kg) on performance parameters, plasma glucose concentration and histology of the proximal intestine of *Hyphessobrycon eques* were evaluated in a novel way. There were no effects on performance, plasma glucose or intestinal histology measurements. On the other hand, it was found that the concentration of 2.0 g/kg of the additive provided a greater abundance of goblet cells, secreting acid and neutral mucus. Therefore, from this study it was possible to offer greater support for the creation in captivity of *Hyphessobrycon eques*, as well as to point out several opportunities for future scientific research to enrich, with new knowledge, the creation of the species. As observed with β -1,3/1,6-glucan supplementation, which provided greater protection over the epithelial tissue of the intestine of this ornamental fish.

Key words: aquaculture additives; captive breeding; intestinal histology; jewel tetra; ornamental fish.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Peixe Ornamental *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882) 21

ARTIGO A

Figura 1 – Etapas do processo para a seleção das pesquisas sobre *Hyphessobrycon eques* na revisão sistemática 38

ARTIGO B

Figura 1 – Corte longitudinal do intestino proximal de *Hyphessobrycon eques* com as morfometrias. HE. obj.40x 71

Figura 2 – Corte longitudinal do intestino proximal de *H. eques* com presença de células caliciformes (seta) nas vilosidades, posicionadas entre os enterócitos. PAS, obj.40x 73

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A

- Tabela 1** – Mapeamento dos estudos selecionados nas etapas 3 e 4 da revisão sistemática de literatura e classificados de acordo com os principais aspectos abordados em cada pesquisa sobre a espécie de peixe ornamental *H. eques*. 40
- Tabela 2** – Parâmetros de qualidade da água em habitats naturais da espécie *H. eques*... 41
- Tabela 3** – Principais parâmetros de qualidade da água em condições experimentais com *H. eques* 44
- Tabela 4** – Aspectos relacionados ao desenvolvimento embrionário, larval e juvenil de *H. eques* em condições experimentais 46
- Tabela 5** – Potenciais agentes profiláticos utilizados em pesquisas com a espécie *H. eques* para determinação das concentrações patológicas e letais na espécie..... 47
- Tabela 6** – Preferências alimentares de *H. eques* em condições naturais e experimentais 48

ARTIGO B

- Tabela 1** – Níveis de garantia da ração comercial utilizada 69
- Tabela 2** – Valores médios (\pm DP) dos parâmetros de desempenho e da concentração da glicose plasmática de *Hyphessobrycon eques*, alimentados com dietas contendo diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana 72
- Tabela 3** – Valores médios (\pm DP) mensurações das camadas musculares, profundidade das criptas, enterócitos e vilosidades, obtidos em cortes longitudinais do intestino proximal de *Hyphessobrycon eques* suplementados com diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana. 73
- Tabela 4** – Valores médios (\pm DP) do número de células caliciformes presentes nas vilosidades intestinais de *Hyphessobrycon eques* alimentados com diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana na dieta 74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alcian Blue
ABINPET	Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação
ANOVA	Análise de Variância
CA	Conversão Alimentar
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CGP	Concentração da Glicose Plasmática
CME	Espessura da Camada Muscular
CMR	Consumo Médio de Ração
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COND	Condutividade
CP	Profundidade da Cripta
CP	Comprimento Padrão
CT	Comprimento Total
EA	Altura dos Enterócitos
ENR	Enrofloxacina
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Fator de Condição
FLO	Florfenicol
GP	Ganho de Peso
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
NEPAG	Núcleo de Estudo e Pesquisa em Aquicultura e Genética
OD	Oxigênio Dissolvido
OFI	Ornamental Fish International
PAS	Periodic Acid-Schiff
PF	Peso Final
PI	Peso Inicial
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SOBREV	Sobrevivência
TCE	Taxa de Crescimento Específica
TEMP	Temperatura
TH	Tiametoxano

TOL	Toltrazuril
UEL	Universidade Estadual de Londrina
VA	Altura das vilosidades
VL	Largura das vilosidades

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1.	AQUICULTURA ORNAMENTAL	18
2.1.1.	Aspectos Econômicos da Atividade Aquícola Ornamental	18
2.1.2.	Aquicultura Ornamental Brasileira	18
2.1.2.1.	<i>Hyphessobrycon eques</i>	20
2.1.3.	Cultivo Ornamental e os Principais Desafios	21
2.1.3.1.	Aditivos na alimentação de peixes	23
2.1.3.1.1.	<i>β-glucana</i>	24
3.	REFERÊNCIAS	26
4.	ARTIGO A – REVISÃO SISTEMÁTICA DE <i>HYPHESSOBRYCON EQUES</i>: SUPORTE PARA O APERFEIÇOAMENTO DA CRIAÇÃO EM CATIVEIRO	33
5.	ARTIGO B – INCLUSÃO DE B-1,3/1,6-GLUCANA NA DIETA DE <i>HYPHESSOBRYCON EQUES</i> E SEUS EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO, GLICOSE SANGUÍNEA E HISTOLOGIA INTESTINAL	65
6.	CONCLUSÃO GERAL	86

1. INTRODUÇÃO

O peixe ornamental é considerado o animal de estimação com maior destaque populacional no mundo, quando comparado aos outros animais do mercado pet (ABINPET, 2019). Além disso, o crescimento da produção de organismos aquáticos ornamentais está cada vez maior (FARIA et al., 2019), envolvendo desde a coleta, criação, importação e exportação dos animais (ZUANON; SALARO; FURUYA, 2011).

No Brasil, o maior impulsionamento da produção de peixes ornamentais ocorreu apenas no final da década de 70 (FARIA et al., 2016a; MUZITANO et al., 2014). Entretanto, desde então a aquicultura ornamental do país vem ganhando grande evidência no mercado nacional e internacional (IBAMA, 2008; RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010), principalmente devido à grande biodiversidade de peixes ornamentais, qualificando o país como o maior celeiro do mundo (FARIA et al., 2016b; MESQUITA; ISAAC-NAHUM, 2015).

As espécies de água doce se destacam, em virtude dos baixos custos e manejo facilitado quando comparadas às espécies marinhas (ASSIS; CAVALCANTE; BRITO, 2014; PAULA et al., 2018). Com destaque para a espécie *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882), considerado um peixe ornamental dulcícola, nativo da América do sul (SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019) com importantes características, como beleza, porte pequeno, fácil manejo e valor econômico, motivos que o faz se destacar no cultivo e comercialização para o aquarismo (BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015; PARK et al., 2014).

A grande diversidade de espécies possibilita ao Brasil se tornar líder na produção mundial de peixes ornamentais (PAULA et al., 2018). Porém, o país tem destaque nas exportações principalmente devido à pesca extrativista, sendo um grande desafio exportar peixes nativos cultivados (RIBEIRO et al., 2009), em grande parte, por causa da escassez de informações relacionadas a criação em cativeiro dessas espécies nativas, como *H. eques* (ÇELIK; CIRIK, 2019; PARK et al., 2014; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019). Nesse sentido, estudos baseados em revisões sistemáticas de literatura podem representar publicações de muita importância, pois permitem unificar os conhecimentos e utilizá-los para priorizar pesquisas e outras atividades. Assim, por meio das pesquisas será possível auxiliar no maior crescimento e melhor desenvolvimento do setor aquícola ornamental do país (FARIA et al., 2019), disponibilizando o conhecimento necessário para o adequado controle durante a produção, com tomadas de decisões mais assertivas e a comercialização de animais mais

saudáveis e com melhor bem-estar (ACOSTA; SILVA, 2015; VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013).

Diante desse cenário, a busca por alternativas que favoreçam uma melhor produtividade e saúde animal também fez com que determinadas estratégias alimentares ganhassem destaque na aquicultura (STEVENS et al., 2017; VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013), como a suplementação com β -glucanas, consideradas atualmente entre os aditivos mais promissores na aquicultura (KÜHLWEIN et al., 2014; SALAH; EL NAHAS; MAHMOUD, 2017).

Em peixes, a β -glucana já demonstrou exercer efeitos benéficos sobre a saúde e bem-estar por meio de mecanismos específicos da defesa imunológica, melhorando a capacidade na proteção contra patógenos (CHAGAS et al., 2013; DEL RIO-ZARAGOZA; FAJER-ÁVILA; ALMAZÁN-RUEDA, 2011; KIRON et al., 2016), ou contribuindo com melhor desempenho no crescimento (DAWOOD et al., 2017b; HUU; SANG; THUY, 2016), e até mesmo na redução do estresse, verificado por meio da concentração plasmática da glicose (DAWOOD et al., 2017a; PILARSKI et al., 2017). De forma específica, a β -glucana também já demonstrou ser capaz de modular a saúde intestinal dos animais, ao agir na expressão de genes diretamente relacionados a histologia intestinal (KIRON et al., 2016), aumentando a superfície de absorção intestinal e a eficiência no aproveitamento dos nutrientes (LIRANÇO et al., 2013). O aditivo também já demonstrou efeito sobre a expressão de genes de componentes do muco presente na pele, brânquias e intestinos dos peixes (MAREL et al., 2012), proporcionando maior proteção contra infecções (JUNG-SCHROERS et al., 2018).

Entretanto, os efeitos da β -glucana são variáveis de acordo com a espécie, tipo e fonte do aditivo (PILARSKI et al., 2017), como também concentração utilizada e período de suplementação (SALAH; EL NAHAS; MAHMOUD, 2017). Portanto, é importante a realização de novas pesquisas com esse aditivo, principalmente para peixes ornamentais, visto a escassez de estudos existentes (ABREU et al., 2014; LIN et al., 2011; RODRÍGUEZ et al., 2009; RUSSO; YANONG, 2006). Entre essas espécies está *H. eques*, a qual, através da verificação por meio do levantamento bibliográfico, ainda não possui nenhuma pesquisa científica avaliando o efeito da β -glucana.

Desta forma, o objetivo da presente pesquisa foi realizar uma revisão sistemática de literatura com o intuito de compilar informações gerais sobre a espécie *H. eques* e assim auxiliar na sua criação em cativeiro, além de verificar as lacunas no conhecimento científico da espécie. Por outro lado, através das informações obtidas nessa revisão, foi realizado um experimento

inédito avaliando o efeito da β -1,3/1,6-glucana sobre o desempenho, glicose plasmática e histologia intestinal, enriquecendo as informações nutricionais disponíveis para *H. eques*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AQUICULTURA ORNAMENTAL

2.1.1 Aspectos Econômicos da Atividade Aquícola Ornamental

O cultivo de peixes para fins ornamentais existe há muito tempo, como nas culturas maia, egípcia e romana, quando a beleza dos animais era demonstrada em pinturas e esculturas (FARIA et al., 2016a). Na China, há mais de três milênios, peixes kinguio (*Carassius auratus*) eram cultivados para a ornamentação, enquanto na cultura japonesa carpas coloridas representavam força, persistência, bravura e sucesso, acreditando que lhes trariam prosperidade. Na Inglaterra, desde o século XV, existiam aquários, ou tanques, para contemplação de peixes, considerados como itens de luxo pela alta sociedade (FARIA et al., 2016a; RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010).

Entretanto, foi somente a partir do século XX, por meio de novas tecnologias e conhecimentos sobre manutenção e sobrevivência dos peixes, que a atividade obteve seu melhor momento (ASSIS; CAVALCANTE; BRITO, 2014), com maior crescimento e destaque mundial na produção de organismos aquáticos ornamentais (ZUANON, SALARO; FURUYA, 2011). Desde então, a aquicultura ornamental já sofreu diversas oscilações ao longo do tempo, no entanto, as exportações sempre demonstravam boa resiliência, com recuperações cada vez maiores (OFI, 2020).

Atualmente, com setor inserido no segmento econômico de grande ascensão mundial, o denominado “Mercado Pet” (FARIA et al., 2016a), em 2018 o faturamento obtido foi de US\$ 124,6 bilhões, crescimento de 4,3% em relação ao ano anterior, mesmo momento em que a população de peixes ornamentais foi considerada a mais representativa entre os demais grupos de animais do segmento, como cães e gatos (ABINPET, 2019), colaborando para que o aquarismo tenha alcançado a segunda colocação como *hobby* mais popular no mundo (OFI, 2020), praticado principalmente em países com elevado grau de desenvolvimento econômico (FARIA et al., 2016a).

2.1.2 Aquicultura Ornamental Brasileira

Devido às boas características continentais, diferentes biotipos e climas favoráveis, o Brasil é considerado o celeiro do mundo em relação à biodiversidade de peixes ornamentais

(FARIA et al., 2016b; MESQUITA; ISAAC-NAHUM, 2015; PELICICE; AGOSTINHO, 2005). Com relação ao cultivo desses animais no país, o início ocorreu na segunda metade da década de 20, mas o maior impulsionamento foi apenas no final da década de 70, com predominância por pequenos e médios produtores (FARIA et al., 2016a; IBAMA, 2006). Desde então, a aquicultura ornamental vem se tornando um grande agronegócio no país, com grande importância econômica, social e ambiental; além de envolver milhares de produtores (MUZITANO et al., 2014) com sistemas de cultivo intensivo ou semi-intensivo, realizados em pequenos e médios aquários, tanques de alvenaria, terra, e até mesmo em piscinas de lona (IBAMA, 2006). Nota-se ainda que essa atividade representa, portanto, uma importante fonte de renda para muitas famílias e um modo de grande relevância para gerar empregos (RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010).

Desde 2015, mais de 116 mil empresários do mercado pet foram atendidos no Brasil, e o setor aquícola ornamental foi o representante deste mercado que obteve o maior lucro, com mais de 20 milhões de brasileiros adquirindo aquários em seus lares (SEBRAE, 2019). No entanto, a diversificação da população de pets brasileiros ainda não se assemelha com a dos países mais desenvolvidos (FARIA et al., 2016a). Em 2018, o Brasil foi o terceiro país com a maior população de animais de estimação no mundo, totalizando 139,3 milhões de pets, com os cães, aves e gatos ocupando as primeiras colocações do ranking, respectivamente, restando aos peixes ornamentais apenas o quarto lugar desta classificação, com aproximadamente 19,1 milhões de peixes, todavia, vale a pena ressaltar que o crescimento acumulado de 2013-2018 da população de peixes ornamentais foi de 61%, o segundo maior crescimento do segmento (ABINPET, 2019).

Com relação ao faturamento mundial do mercado Pet, em 2015 o Brasil ocupava o terceiro lugar, atrás somente dos Estados Unidos e do Reino Unido. Já em 2018, o país assumiu a segunda colocação, com 5,2% do faturamento, deixando o Reino Unido na terceira posição, (4,9%). Além disso, houve um crescimento de 24% nas exportações, quando comparado ao ano de 2017 (ABINPET, 2019). Crescimento este atribuído aos grandes fornecedores, como o maior pólo produtor de peixes ornamentais do Brasil, situado no estado de Minas Gerais. Entretanto, há também outros estados que merecem destaque, especialmente Ceará, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, com médios e grandes produtores (RIBEIRO et al., 2008), além de Pernambuco (FARIA et al., 2016a; PAULA et al., 2018).

2.1.2.1 *Hyphessobrycon eques*

O peixe de água doce *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882) é uma espécie nativa que pertence à ordem Characiformes e família Characidae (TAVARES, 1997). O gênero *Hyphessobrycon* é considerado entre os mais importantes e numerosos da sua família, com aproximadamente 136 espécies, destacando-se os pequenos peixes de água doce da América do Sul. Além disso, é também muito diversificado, com espécies herbívoras, onívoras, iliófagas e carnívoras (DAGOSTA et al., 2016; GONÇALVES et al., 2013), presentes em diversas condições ambientais (SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019).

A espécie *H. eques* foi originalmente encontrada nas bacias hidrográficas do Amazonas, Guaporé e Paraguai (WEITZMAN; PALMER, 1998). Entretanto, estes peixes já estão amplamente distribuídos por toda a América do Sul (AGUINAGA et al., 2014), geralmente em ambientes lênticos, como córregos, rios, lagoas e reservatórios em diversas regiões do Brasil (ACOSTA; SILVA, 2015; ANDRADE et al., 2008; CASATTI; MENDES; FERREIRA, 2003; DIAS et al., 2017; FIORI et al., 2016; FUGIMOTO et al., 2013; GONÇALVES; BRAGA, 2008; GONÇALVES et al., 2013; MESCHIATTI; ARCIFA, 2009; PELICICE; AGOSTINHO, 2006; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019), assim como no Paraguai, Bolívia e Argentina (COLE; HARING, 1999; MARTINEZ et al., 2012), sendo considerada uma espécie alóctone nessas regiões (BRANDÃO et al., 2009).

Conhecido mundialmente como “Serpae tetra” (ÇELIK; CIRIK, 2019), “Jewel tetra” (AGUINAGA et al., 2014; FUGIMOTO et al., 2013) e no Brasil como “Mato Grosso” (CARRASCHI et al., 2011; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019), *H. eques* (Figura 1) possui tamanho pequeno (GONÇALVES et al., 2013; MESCHIATTI; ARCIFA, 2009) e achatado lateralmente, com coloração variando entre marrom-castanho avermelhado claro, vermelho brilhante, a um vermelho escuro e manchas pretas acima da nadadeira peitoral, na nadadeira dorsal e extremidade da nadadeira anal (Cole & Haring 1999; Fugimoto et al. 2013; PARK et al., 2014). Embora não exista dimorfismo sexual com relação à coloração, as fêmeas são maiores e apresentam o abdome mais inflamado em relação aos machos, devido à necessidade de acumular maiores quantidades de energia para reprodução (PARK et al., 2014; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019).

Figura 1. Peixe Ornamental *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882)



Fonte: Próprio autor

Com relação às características comportamentais e hábitos alimentares, pode-se dizer que a espécie possui atividade diurna (WEITZMAN; PALMER, 1998), com preferência por permanecer no fundo dos locais onde vivem, onde há pouco fluxo de água, evitando as superfícies (PARK et al., 2014), normalmente encontrados em grandes grupos, com 20 a 30 animais, revirando os substratos (CASATTI; MENDES; FERREIRA, 2003), sendo até chamados de forrageiros oportunistas (CARVALHO; DEL-CLARO, 2004).

Dentre as preferências alimentares, esses animais consomem principalmente microcrustáceos (FUGIMOTO et al., 2013), a exemplo de cladóceros e copépodes (BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015; CASATTI; MENDES; FERREIRA, 2003), além de larvas de insetos (CASATTI; MENDES; FERREIRA, 2003). Motivo pelo qual a espécie é categorizada como zooplancctófaga (CRIPPA; HAHN; FUGI, 2009; SANTANA-PORTO; ANDRIAN, 2009).

É importante ressaltar que *H. eques* tem grande participação na comercialização brasileira e mundial, como peixe ornamental para o aquarismo, devido à sua beleza, tamanho pequeno, fácil manejo e valor econômico (BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015; PARK et al., 2014; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019), destacando-se entre as espécies de água doce, com presença em lojas de aquários de diversas regiões do Brasil (FUGIMOTO et al., 2013). Além de ser também muito apreciada para realização de estudos científicos, em virtude da boa adaptação aos ambientes naturais da América do Sul, como temperaturas altas e pH ácido, possuírem tamanho pequeno, com metabolismo alto e relativa sensibilidade a diversas substâncias (ABE et al., 2019; AGUINAGA et al., 2014; CARRASCHI et al., 2011; CARVALHO; DEL-CLARO, 2004; MANSANO et al., 2018; MARCON et al., 2016; SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015; SILVA et al., 2016; SOTERO-SANTOS; ROCHA; POVINELLI, 2007).

Embora *H. eques* tenha grande importância como peixe ornamental e boas características para ser utilizado em pesquisas, ainda há carências de estudos com a espécie, principalmente com aspectos relacionados a sua criação em cativeiro e fatores que poderiam auxiliar para o melhor cuidado com sua saúde e bem-estar, assim como maior produtividade e adequada dieta alimentar. Sendo assim, primeiramente é necessário identificar essas lacunas, para, então, direcionar futuras e assertivas pesquisas com a espécie.

2.1.3 Cultivo Ornamental e os Principais Desafios

A grande diversidade de espécies de peixes no Brasil faz com que um enorme potencial ainda possa ser atingido, com a possibilidade dele se tornar o líder na produção mundial de peixes ornamentais (FARIA et al., 2016b; PAULA et al., 2018; RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010). Entretanto, ainda há muito para ser realizado, visto que o país tem se destacado entre os principais exportadores geralmente em função da pesca extrativista (RIBEIRO et al., 2009).

A partir do final da década de 1950, os países do sudeste da Ásia (Cingapura, Tailândia, Hong Kong e Indonésia) foram os detentores de uma indústria altamente desenvolvida, o que os possibilitou a criação em cativeiro de mais de 90% dos peixes ornamentais de água doce (FAO, 2010). Assim, a aquicultura que antes era somente uma atividade exploratória, passou a preservar e a cultivar organismos saudáveis, que até pouco tempo não sobreviviam fora dos seus habitats naturais (RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010). Dessa forma, os primeiros desafios da indústria brasileira de peixes ornamentais consistem em aumentar as exportações das espécies nativas, porém cultivadas na aquicultura (RIBEIRO et al., 2009).

A criação em cativeiro das espécies nativas traria o benefício para populações naturais, por meio da redução nas capturas, uma vez que a sobre-exploração pode ocasionar reduções drásticas, até mesmo extinção de diversas espécies (ASSIS; CAVALCANTE; BRITO, 2014). Além disso, a comercialização de espécies cultivadas é mais vantajosa, em virtude da redução dos custos com o transporte e da melhora nas condições sanitárias dos peixes cultivados, tornando-os mais competitivos no mercado mundial (SOBREIRO, 2016).

No entanto, o setor aquícola ornamental ainda sofre com a inconstância das pisciculturas e com condições estressantes durante o cultivo e comercialização, como intensos manejos, altas densidades, procedimentos de embalagem e transporte, além das alterações na qualidade da água (STEVENS et al., 2017; ZUANON; SALARO; FURUYA, 2011),

representando um grande obstáculo para o sucesso na produção das espécies de peixes ornamentais (AZEVEDO et al., 2016), principalmente em virtude dos fatores ambientais influenciarem diretamente o sistema imunológico dos peixes (RIBEIRO et al., 2012).

Além disso, ainda há poucos estudos científicos com informações que poderiam auxiliar na criação das espécies (CAMARGO; CARVALHO JÚNIOR; ESTUPIÑAN, 2012) ou relacionados a saúde e o bem-estar em espécies ornamentais (BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015; CAMARGO; CARVALHO JÚNIOR; ESTUPIÑAN, 2012; FARIA et al., 2016b; STEVENS et al., 2017; ZUANON; SALARO; FURUYA, 2011), principalmente peixes ornamentais nativos (ACOSTA; SILVA, 2015; CARVALHO; DEL-CLARO, 2004; CHAGAS et al., 2013; PARK et al., 2014; SANTANA; TONDATO; SÚAREZ, 2019).

Nesse sentido, as pesquisas poderão auxiliar para um maior crescimento e melhor desenvolvimento do setor aquícola ornamental no país (FARIA et al., 2019), por meio de experimentos e evidências científicas. Assim, a criação em cativeiro das espécies nativas poderá ser considerada uma indústria sustentável com importantes benefícios e com uma gestão de sucesso (MURRAY; WATSON, 2014; STEVENS et al., 2017). Além de proporcionar o conhecimento necessário para um adequado controle durante a produção, com tomadas de decisões mais assertivas e a comercialização de animais saudáveis e com melhor bem-estar (ACOSTA; SILVA, 2015; VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013).

2.1.3.1 Aditivos na alimentação de peixes

A busca por alternativas que favoreçam uma melhor produtividade e saúde animal fez com que determinadas estratégias alimentares ganhassem destaque na aquicultura (STEVENS et al., 2017; VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013). Os chamados “alimentos funcionais” são aditivos capazes de promover efeitos benéficos à saúde dos animais que os consomem, podendo reduzir as chances de ficarem debilitados, frente aos desafios da criação em cativeiro (RIBEIRO et al., 2012). O uso desses aditivos é uma prática exercida há anos, e ainda continua muito presente na aquicultura (AZEVEDO et al., 2016; BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015; DAWOOD et al., 2017a; DAWOOD et al., 2017b; DI DOMENICO et al., 2017; HERCZEG et al., 2017; JI et al., 2017; JUNG-SCHROERS et al., 2018; STEVENS et al., 2017; ZHU; WU, 2018).

Definidos como substâncias que não possuem valor nutricional, os aditivos, como o nome já diz, são adicionados intencionalmente às dietas dos animais (RIBEIRO et al., 2012).

Logo, saber a quantidade ideal para cada espécie é de extrema importância para atingir os benefícios almejados (ZUANON; SALARO; FURUYA, 2011), como potencializar a pigmentação da pele (BERCHIELLI-MORAIS; FERNANDES; SIPAÚBA-TAVARES, 2015), aumentar o aproveitamento dos alimentos (RIBEIRO et al., 2012), melhorar a morfometria intestinal (AZEVEDO et al., 2016), promover a saúde da microbiota intestinal, colaborar para o maior crescimento, além de favorecer a sobrevivência dos animais (STEVENS et al., 2017). Também é possível obter melhores condições para que os peixes suportem as adversidades do meio, como o manejo de captura e transporte, reduzindo o estresse, as doenças e a mortalidade durante o cultivo e a comercialização dos animais (ZUANON; SALARO; FURUYA, 2011).

As classificações dos grupos de aditivos são determinadas de acordo com as principais características funcionais, como os aditivos promotores de crescimento, antioxidantes, pigmentantes ou aglutinantes (RIBEIRO et al., 2012). E entre os grupos de aditivos mais conhecidos estão os chamados “modificadores da resposta biológica” (VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013), os quais representam uma das principais ferramentas utilizadas na piscicultura moderna (DI DOMENICO et al., 2017).

2.1.3.1.1 *β-glucana*

Dentre os vários tipos de aditivos, as β -glucanas estão entre os mais promissores na aquicultura (SALAH; EL NAHAS; MAHMOUD, 2017), as quais são categorizadas no grupo dos "modificadores da resposta biológica" (VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013), principalmente por potencializarem a resposta imune dos animais (KIRON et al., 2016; MAREL et al., 2012; PILARSKI et al., 2017), diferindo-se pelo tipo de ligações e ramificações na cadeia principal (MAGNANI; CASTRO-GÓMEZ, 2008).

De forma específica, as β -1,3/1,6-glucanas são polissacarídeos naturais de moléculas de glicose, unidas por ligações β (1–3) e β (1–6) (CHAGAS, et al., 2013; RODRÍGUEZ et al., 2009; VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013). Normalmente são encontradas em componentes estruturais das paredes celulares de plantas, fungos, leveduras, bactérias, cogumelos e algas marinhas (SALAH; EL NAHAS; MAHMOUD, 2017) e podem ser administradas aos animais por diferentes formas, como imersão na água, na alimentação ou por injeção (VETVICKA; VANNUCCI; SIMA, 2013).

Em peixes, as β -glucanas já provaram favorecer a saúde, exercendo efeitos positivos sobre mecanismos específicos de defesa imunológica, melhorando a capacidade de defesa contra patógenos (CHAGAS et al., 2013; DEL RIO-ZARAGOZA; FAJER-ÁVILA;

ALMAZÁN-RUEDA, 2011; KIRON et al., 2016). O aditivo também contribui para o melhor desempenho no crescimento (DAWOOD et al., 2017b; HUU; SANG; THUY, 2016) e bem-estar, por agir em parâmetros bioquímicos sanguíneos, como a concentração da glicose plasmática, considerada um bom indicador de estresse em peixes (DAWOOD et al., 2017a; PILARSKI et al., 2017). Além disso, a β -glucana pode atuar de forma específica na expressão de genes de componentes do muco presente na pele, brânquias e intestinos dos peixes (MAREL et al., 2012) e genes que atuam diretamente na morfologia intestinal dos animais (KIRON et al., 2016), colaborando para uma maior proteção contra infecções (JUNG-SCHROERS et al., 2018) e maior atividade das enzimas digestivas (LIRANÇO et al., 2013), sem causar efeitos prejudiciais nos indicadores de saúde e morfologia intestinal dos peixes (KÜHLWEIN et al., 2014).

Os efeitos benéficos das β -glucanas são relatados em diferentes espécies de peixes de produção, como em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (PILARSKI et al., 2017), jundiás (*Rhamdia quelen*) (DI DOMENICO et al., 2017), tambaqui (*Colossoma macropomum*) (CHAGAS et al., 2013), caranga (*Lutjanus guttatus*) (DEL RIO-ZARAGOZA; FAJER-ÁVILA; ALMAZÁN-RUEDA, 2011), carpas (*Cyprinus carpio*) (JUNG-SCHROERS et al., 2018) e corvina amarela, (*Pseudosciaena crocea*) (AI et al., 2007). No entanto, poucas pesquisas foram encontradas com a utilização deste aditivo para peixes ornamentais, como visto para Labeo bicolor (*Epalzeorhynchus bicolor*) (RUSSO; YANONG, 2006), zebrafish (*Dario rerio*) (RODRÍGUEZ et al, 2009), carpa ornamental (*Cyprinus carpio koi*) (LIN et al., 2011) e peixe lápis (*Nannostomus trifasciatus*) (ABREU et al., 2014).

Além disso, os efeitos da β -glucana são variáveis, dependentes não somente da espécie, como também do tipo e fonte do aditivo (PILARSKI et al., 2017), concentração utilizada e período de suplementação (SALAH; EL NAHAS; MAHMOUD, 2017). Sendo assim, é imprescindível a realização de novos estudos, principalmente com peixes ornamentais nativos, como *Hyphessobrycon eques*, devido à ausência de pesquisas científicas que tenham avaliado o efeito sistêmico da β -glucana com essa espécie.

3. REFERÊNCIAS

- ABE, F. R.; MACHADO, A. A.; COLEONE, A. C.; CRUZ, C.; MACHADO-NETO, J. G. Toxicity of Diflubenzuron and Temephos on Freshwater Fishes: Ecotoxicological Assays with *Oreochromis niloticus* and *Hyphessobrycon eques*. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 230, n. 77, p. 1-10, 2019.
- ABREU, J. S.; BRINN, R. P.; GOMES, L. C.; MCCOMB, D. M.; BALDISSEROTTO, B.; ZAIDEN, S. F.; URBINATI, E. C.; MARCON, J. L. Effect of beta 1,3 glucan in stress responses of the pencilfish (*Nannostomus trifasciatus*) during transport within the rio Negro basin. **Neotropical Ichthyology**, v. 12, n. 3, p. 623-628, 2014.
- ABINPET – Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. **Mercado Pet Brasil 2019**, p. 1 -8. 2019.
- ACOSTA, A.; SILVA, R. First record of *Hysterothylacium* sp. Moravec, Kohn et Fernandes, 1993 larvae (Nematoda: Anisakidae) infecting the ornamental fish *Hyphessobrycon eques* Steindachner, 1882 (Characiformes, Characidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 3, p. 638-642, 2015.
- AGUINAGA, J. Y.; CLAUDIANO, G. S.; MARCUSO, P. F.; IKEFUTI, C.; ORTEGA, G. G.; ETO, S. F.; CRUZ, C.; MORAES, J. R. E.; MORAES, F. R.; FERNANDES, J. B. K. Acute Toxicity and Determination of the Active Constituents of Aqueous Extract of *Uncaria tomentosa* Bark in *Hyphessobrycon eques*. **Journal of Toxicology**, v. 2014, n. 1, p. 1-5, 2014.
- AI, Q.; MAI, K.; ZHANG, L.; TAN, B.; ZHANG, W.; XU, W.; LI, H. Effects of dietary b-1,3 glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*, **Fish Shellfish Immunol**, v. 22, p. 394-402, 2007.
- ANDRADE, V. X. L.; CAMPOS, F. F. S.; LANGEANI, F.; ROMAGOSA, E. Reproductive dynamics of the main species of fish in the municipal reservoir of São José do Rio Preto. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 3, p. 365-373, 2008.
- ASSIS, D. A. S.; CAVALCANTE, S. S.; BRITO, M. F. G. Avaliação do comércio de peixes ornamentais de água doce em Aracaju, Sergipe. **Magistra**, v. 26, n. 2, p. 213-220, p. 262-265, 2014.
- AZEVEDO, R. V.; FOSSE FILHO, J. C.; PEREIRA, S. L.; ANDRADE, D. R.; VISAL JÚNIOR, M. V. Prebiótico, probiótico e simbiótico para larvas de *Trichogaster leeri* (Bleeker, 1852, Perciformes, Osphronemidae). **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 3, p.795-804, 2016.
- BERCHIELLI-MORAIS, F. A.; FERNANDES, J. B. K.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Diets supplemented with microalgal biomass: effects on growth, survival and colouration of ornamental fish *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882). **Aquaculture Research**, v. 47, n. 10, p. 3061-3069, 2015.
- BRANDÃO, H.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; RAMOS, I. P.; CARVALHO, E. D. Assessment of the ichthyofauna in stretches under the influence of Salto Grande Reservoir (Middle Paranapanema River, SP/PR, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 4, p.

451-463, 2009.

CARRASCHI, S. P.; CUBO, P.; SCHIAVETTI, B. L.; SHIOGIRI, N. S.; CRUZ, C. D.; PITELLI, R. A. Efeitos tóxicos de surfactantes fitossanitários para o peixe mato grosso (*Hyphessobrycon eques*). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 33, n. 2, p. 191-196, 2011.

CAMARGO, M.; CARVALHO JÚNIOR, J.; ESTUPIÑAN, R. A.. Peixes comerciais da ecorregião aquática Xingu-Tapajós In: CASTILHOS, Zuleica Carmen; BUCKUP, Paulo Andreas. **Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós**. 1ed. Rio de Janeiro: CETEM / MCT, p. 175-192, 2012.

CARVALHO, L. N.; DEL-CLARO, K. Effects of predation pressure on the feeding behaviour of the serpa tetra *Hyphessobrycon eques* (Ostariophysi, Characidae). **Acta Ethologica**, v. 7, n. 2, p. 89-93, 2004.

CASATTI, L.; MENDES, H. F.; FERREIRA, K. M. Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana Reservoir, Paranapanema River, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 2, p. 213-222, 2003.

ÇELIK, P.; CIRIK, Ş. Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). **Aquaculture Research**, v. 51, n. 1, p. 1-15, 2019.

CHAGAS, E. C.; PILARSKI, F.; SAKABE, R.; MORAES, F. R. Desempenho produtivo e respostas fisiopatológicas de tambaquis alimentados com ração suplementada com β -glucano. **Pesq. agropec. bras**, v.48, p.899-905, 2013.

COLE B.; HARING M. Spawing and Production of the Serpae Tetra, *Hyphessobrycon serpae*. Sea Grand Extension service, School of ocean and Earth Science and Technology. Center for Tropical and Subtropical. **Aquaculture Publication**, v. 138, p. 1-7, 1999.

CRIPPA, V. E. L.; HAHN, N. S.; FUGI, R. Food resource used by small-sized fish in macrophyte patches in ponds of the upper Paraná river floodplain. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 31, n. 2, p. 119-125, 2009.

DAGOSTA, F. C. P.; MARINHO, M. M. F.; CAMELIER, P.; LIMA, F. C. T. A New Species of *Hyphessobrycon* (Characiformes: Characidae) from the Upper Rio Juruena Basin, Central Brazil, with a Redescription of *H. cyanotaenia*. **Copeia**, v. 104, n. 1, p. 250-259, 2016.

DAWOOD, M. A. O.; KOSHIO, S.; EL-SABAGH, M.; BILLAH, M. M.; AINELDIN, A. I.; ZAYED, M. M.; OMAR, A. A. E. Changes in the growth, humoral and mucosal immune responses following β -glucan and vitamin C administration in red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture**, v. 470, p. 214-222, 2017a.

DAWOOD, M. A. O.; KOSHIO, S.; ISHIKAWA, M.; YOKOYAMA, S.; BASUINI, E. L.; HOSSAIN, M. S.; NHU, T. H.; MOSS, A. S.; DOSSOU, S.; WEI, H. Dietary supplementation of β -glucan improves growth performance, the innate response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23; p. 148-159, 2017b.

DEL RIO-ZARAGOZA, O.B.; FAJER-ÁVILA, E.J.; ALMAZÁN-RUEDA, P. Influence of β -glucan on innate immunity and resistance of *Lutjanus guttatus* to an experimental infection of Dactylogyrid monogeneans, **Parasite Immunol**, v. 33, p. 483-494, 2011.

- DIAS, R. M.; SILVA, J. C. B.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A. Effects of macrophyte complexity and hydrometric level on fish assemblages in a Neotropical floodplain. **Environmental Biology of Fishes**, v. 100, n. 6, p. 703-716, 2017.
- DI DOMENICO, J.; CANOVA, R.; SOVERAL, L. F.; NIED, C. O.; COSTA, M. M.; FRANDOLOSO, R.; KREUTZ, L. C. Immunomodulatory effects of dietary β -glucan in silver catfish (*Rhamdia quelen*). **Pesq. Vet. Bras.** v. 37, p. 73-78, 2017.
- FAO - Food and Agriculture Organization. Monticini, P. The ornamental fish trade. Production and commerce of ornamental fish: Technical-managerial and legislative aspects. **GLOBEFISH Research Programme**, Rome, v. 102, p. 1-134, 2010.
- FARIA, C. F. A.; PONTES, C. S.; RIBEIRO, F. A. P. M. C. Caracterização do mercado de aquicultura ornamental e aquarofilia no Rio Grande do Norte, **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 203-2015, 2019.
- FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, K.; ALMEIDA, C. F.; SANTOS, F. W. M.; SANTOS, R. F. B. Aquicultura ornamental: um mercado promissor, **Panorama da Aquicultura**, v. 26, n.154, p. 24-37, 2016a.
- FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, K.; ALMEIDA, C. F.; SANTOS, F. W. M.; SANTOS, R. F. B. Capital intelectual brasileiro para o desenvolvimento da cadeia de produção dos peixes ornamentais. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 26, n.157, p. 24-31, 2016b.
- FIORI, L.F.; ALVES, G. H. Z.; HAHN, N. S.; BENEDITO, E. Influence of feeding plasticity on the fitness of small Neotropical characids. **Iheringia Série Zoologia**, v. 106, n. 1, p. 1-6, 2016.
- FUGIMOTO, R. Y.; ALMEIDA, E. S.; DINIZ, D. G.; EIRAS, J. C.; MARTINS, M. LATERÇA. First occurrence of *Quadrigrurus nickoli* (Acanthocephala) in the ornamental fish *Hyphessobrycon eques*. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, n. 1, p. 110-113, 2013.
- GONÇALVES, C. S.; BRAGA, F. M. S. Fish diversity and occurrence in the influence area of the Mogi Guaçu reservoir and oxbow lakes, high Paraná river basin, São Paulo, Brazil. **Biota Neotrop.** v. 8, n. 2, p. 103-114, 2008.
- GONÇALVES, C. S.; SOUZA, U. P.; FERREIRA, F. C.; PERESSIN, A.; BRAGA, F. M. S. Life-history strategies associated to reproduction of three *Hyphessobrycon* species (Characidae) in lentic environments of upper Paraná River basin. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 4, p. 398-405, 2013.
- HERCZEG, D.; SIPOS, D.; DÁN, Á.; LOY, C.; KALLERT, D. M.; ESZTERBAUER, E. The effect of dietary immunostimulants on the susceptibility of common carp (*Cyprinus carpio*) to the white spot parasite, *Ichthyophthirius multifiliis*. **Acta Veterinaria Hungarica**, v. 65, p. 517-530, 2017.
- HUU, H. D.; SANG, H. M.; THUY, N. T. T. Dietary β -glucan improved growth performance, *Vibrio* counts, haematological parameters and stress resistance of pompano fish, *Trachinotus ovatus* Linnaeus, 1758, **Fish & Shellfish Immunology**, v. 54, p. 402-410, 2016.

IBAMA. **Diagnóstico geral das práticas de controle ligadas a exploração, captura, comercialização, exportação e uso de peixes para fins ornamentais e de aquariofilia**, Brasília, p. 217, 2008.

IBAMA. **Exploração de peixes ornamentais no Brasil com ênfase sobre a introdução de espécies exóticas**. IBAMA / MMA. 2006.

JI, L.; SUN, G.; LI, J.; WANG, Y.; DU, Y.; LI, X.; LIU, Y. Effect of dietary β -glucan on growth, survival and regulation of immune processes in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* infected by *Aeromonas salmonicida*, **Fish & Shellfish Immunology**, v. 64, p. 56-67, 2017.

JUNG-SCHROERS, V.; ADAMEK, M.; HARRIS, S.; SYAKURI, H.; JUNG, A.; IRNAZAROWS, I.; STEINHAGEN, D. Response of the intestinal mucosal barrier of carp (*Cyprinus carpio*) to a bacterial challenge by *Aeromonas hydrophila* infection after feeding with β -1,3/1,6-glucan. **Journal of Fish Diseases**, v. 41, p. 1077-1092, 2018.

KIRON, V.; KULKARNI, A.; DAHLE, D.; VASANTH, G.; LOKESH, J.; ELVEBO, O. Recognition of purified β -1,3/1,6 glucan and molecular signalling in the intestine of Atlantic salmon. **Developmental and Comparative Immunology**, v. 56, p. 57-66, 2016.

KÜHLWEIN H.; MERRIFIELD D. L.; RAWLING M. D.; FOEY A. D.; DAVIES S. J. Effects of dietary β -1,3 (1,6) -D-glucan supplementation on growth performance, intestinal morphology and haemato-immunological profile of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). **J Anim Physiol Anim Nutr**, v. 98, n. 2, p. 279-289, 2014.

LIN, S.; PAN, Y.; LUO, L.; LUO, L. Effects of dietary β -1,3-glucan, chitosan or raffinose on the growth, innate immunity and resistance of koi (*Cyprinus carpio koi*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 31, p. 788-794, 2011.

LIRANÇO, A. D. S.; CIARLINI, P. C.; MORAES, G.; CAMARGO, A. L. S.; RAMAGOSA, E. Mannan oligosaccharide (mos) and β -glucan (β -glu) in dietary supplementation for Nile tilapia juveniles kept in cages. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 8, p. 112-125, 2013.

MAGNANI, M.; CASTRO-GÓMEZ, R. J. H. β -glucana from *Saccharomyces cerevisiae*: constitution, bioactivity and obtaining. **Semina Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 631-650, 2008.

MANSANO, A. S.; SOUZA, J. P.; CANCINO-BERNARDI, J.; VENTURINI, F. P.; MARANGONI, V. S.; ZUCOLOTTI, V. Toxicity of copper oxide nanoparticles to Neotropical species *Ceriodaphnia silvestrii* and *Hyphessobrycon eques*. **Environmental Pollution**, v. 243, n. 1, p. 723-733, 2018.

MARCON, L.; LOPES, D. S.; MOUNTEER, A. H.; GOULART, A. M. A.; LEANDRO, M. V.; BENJAMIN, L. A. Pathological and histometric analysis of the gills of female *Hyphessobrycon eques* (Teleostei:Characidae) exposed to different concentrations of the insecticide Dimilin ®. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 131, n. 1, p. 135-142, 2016.

MAREL, M.; ADAMEK, M.; GONZALEZ, S. F.; FROST, P.; ROMBOUT, J. H. W. M.; WIEGERTJES, G. F.; SAVELKOUL, H. F. J.; STEINHAGEN, D. Molecular cloning and expression of two β -defensin and two mucin genes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) and

their up-regulation after β -glucan feeding. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, p. 494-501, 2012.

MARTINEZ, E. R. M.; ALVES, A. L.; SILVEIRA, S. M.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C. Cytogenetic analysis in the incertae sedis species *Astyanax altiparanae* Garutti and Britzki, 2000 and *Hyphessobrycon eques* Steindachner, 1882 (Characiformes, Characidae) from the upper Paraná river basin. **CompCytogen**, v. 6, n. 1, p. 41-51, 2012.

MESCHIATTI, A. J.; ARCIFA, M. S. 2009. A review on the fishfauna of Mogi-Guaçu river basin: a century of studies. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 1, p. 135-159, 2009.

MESQUITA, EMC; ISAAC-NAHUM, Victoria Judith. Traditional knowledge and artisanal fishing technology on the Xingu River in Pará, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Paulo, v. 75, n. 3, p. 138-157, 2015.

MURRAY, Joanna M.; WATSON, Gordon J. A Critical Assessment of Marine Aquarist Biodiversity Data and Commercial Aquaculture: Identifying Gaps in Culture Initiatives to Inform Local Fisheries Managers. **Plos One**, Califórnia, v. 9, n. 9, p. e105982, 2014.

MUZITANO, I. S.; NEVES, C. A.; RADAEL, M. C.; REZENDE, F. P.; MENDONÇA, P. P.; SANTOS, M. V. B.; ANDRADE, D. R.; VIDAL JÚNIOR, M. V. Suplementação de vitamina C na estruturação do tecido conjuntivo de melanotênia-maçã. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 8, p. 780-784, 2014.

OFI. Ornamental Fish International. **ORNAMENTAL FISH INDUSTRY DATA**. Disponível em: <<https://www.ofish.org/ornamental-fish-industry-data>>. Acesso em 14 de janeiro de 2020.

PARK J. M.; KIM N. R.; HAN K. H.; HAN J. H.; SON M. H.; CHO J. K. Spawning Behavior, Egg Development, Larvae and Juvenile Morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) Characidae Fishes. **Dev Reprod**, v. 18, n. 4, p. 241-249, 2014.

PAULA, M. S.; SILVA, J. A.; SANTOS, D. C.; JÚNIOR, I. F.; MELO, N. F. A. C.; COSTA, P. O. Caracterização do comércio varejista de peixes ornamentais na cidade de Belém - Pará. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, v. 18, n. 1, p. 33-38, 2018.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Perspectives on ornamental fisheries in the upper Paraná River floodplain, Brazil. **Fisheries Research**, v. 72, p.109-119, 2005.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Feeding ecology of fishes associated with *Egeria* spp. patches in a tropical reservoir, Brazil. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 15, p. 10-19, 2006.

PILARSKI, F.; OLIVEIRA, C. A. F.; SOUZA, F. P. B. D.; ZANUZZO, F. S. Different β -glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 70, p. 25-29, 2017.

RIBEIRO, F. A. S.; CARVALHO JUNIOR, J. R.; FERNANDES, J. B. K.; NAKAYAMA, L. Comércio brasileiro de peixes ornamentais. **Panorama da Aqüicultura**, v., n., p.54-59, 2008.

RIBEIRO, F. A. S.; CARVALHO JUNIOR, J. R.; FERNANDES, J. B. K.; NAKAYAMA, L. Cadeia produtiva do peixe ornamental. **Panorama da Aqüicultura**, v.19, n.112, p.36-45, 2009.

RIBEIRO, F. A. S.; LIMA, M. T.; FERNANDES, C. J. B. K. Panorama do mercado de organismos aquáticos ornamentais. **Boletim Sociedade Brasileira de Limnologia**, Mossoró, 2010.

RIBEIRO, P. A. P.; MELO, D. C.; COSTA, L. S.; TEIXEIRA, E. A. **Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce**. UFMG, Belo Horizonte, p. 1-92, 2012.

RODRÍGUEZ, I.; CHAMORRO, R.; NOVOA, B.; FIGUERAS, A. β -Glucan administration enhances disease resistance and some innate immune responses in zebrafish (*Danio rerio*). **Fish & Shellfish Immunology**, v. 27, n.2, 369-373, 2009

RUSSO, R.; YANONG, R. P. E. Dietary beta-glucans and nucleotides enhance resistance of red-tail black shark (*Epalzeorhynchus bicolor*, fam. Cyprinidae) to *Streptococcus iniae* infection. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 37, p. 298-306, 2006.

SALAH, A. S.; EL NAHAS, A. F.; MAHMOUD, S. Modulatory effect of different doses of β -1,3/1,6-glucan on the expression of antioxidant, inflammatory, stress and immune-related genes of *Oreochromis niloticus* challenged with *Streptococcus iniae*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 70, p. 204-213, 2017.

SANTANA, C. A.; TONDATO, K. K.; SÚAREZ, Y. R. Reproductive biology of *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) in Southern Pantanal, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p.70-79, 2019.

SANTANA-PORTO, E. A.; ANDRIAN, I. F. Trophic organization the ichthyofauna of two semi-lentic environments in a flood plain on the upper Paraná River, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 21, n. 3, p. 359-366, 2009.

SEBRAE. **Workshop debate desenvolvimento da aqüicultura ornamental**. 2019. Disponível em: <<http://www.agenciasebrae.com.br/sites/asn/uf/NA/workshop-debate-esenvolvimento-da-aquicultura-rnamental,24a9cb3db66fe610VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em 14 de janeiro de 2020.

SILVA, A. F.; CRUZ, C. D.; REZENDE, F. R. L.; YAMAUCHI, A. K. F.; PITELLI, R. A. Copper sulfate acute ecotoxicity and environmental risk for tropical fish. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 36, n. 4, p. 377-381, 2014.

SILVA, A. F.; CARRASCHI, S. P.; GÍRIO A. C. F.; NETO, A. N.; CRUZ, C.; PITELLI, R. A. Ecotoxicity of vinasse for fish tetra-serpae (*Hyphessobrycon eques*) and macrophyte duckweed (*Lemna minor*). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 3, p. 557 - 565, 2015.

SILVA, A. F.; CRUZ, C. D.; GARLICH, N.; CERVEIRA JUNIOR, W. R.; PITELLI, R. A. Sensitivity of aquatic organisms to ethanol and its potential use as bioindicators. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 38, n. 4, p. 377-385, 2016.

SOBREIRO, Thaissa. Dinâmica socioecológica e resiliência da pesca ornamental em Barcelos, Rio Negro, Amazonas, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 118-134, 2016.

SOTERO-SANTOS, R. B.; ROCHA, O.; POVINELLI, J. Toxicity of ferric chloride sludge to aquatic organisms. **Chemosphere**, v. 68, n. 4, p. 628-636, 2007.

STEVENS, C. H.; CROFT, D. P.; PAULL, G. C.; TYELER, C. R. Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? **Journal of Fish Biology**, v. 91, p. 409-428, 2017.

TAVARES, I. *Serpae Tetras*, Aquarist and Pondkeeper. **New York**, v. 61, p. 38-40, 1997.

VETVICKA, V.; VANNUCCI, L.; SIMA, P. The effects of β - glucan on fish immunity. North American **Journal of Medical Sciences**, v. 5, n. 10, 580-588, 2013.

WEITZMAN, S. H.; PALMER, L. Phantom Tetras, a Brief Account of their Ichthyological and Aquarium History. **Tropical Fish Hobbyist**, v. 43, n. 11, p. 124-132, 1998.

ZHU, M.; WU, S. The growth performance and nonspecific immunity of loach *Paramisgurnus dabryanus* as affected by dietary β -1,3-glucan. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 83, p. 368-372, 2018.

ZUANON, J. A. S.; SALARO, A. L.; FURUYA, W. M. Produção e nutrição de peixes ornamentais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 165-174, 2011.

4. ARTIGO A (*Reviews in Aquaculture*)

Revisão sistemática de *Hyphessobrycon eques*: suporte para o aperfeiçoamento da criação em cativeiro

Systematic review of *Hyphessobrycon eques*: Support for improvement of captive breeding

Resumo

O peixe ornamental *Hyphessobrycon eques* possui grande destaque no aquarismo e na pesquisa científica. Diversos estudos já foram realizados com esses peixes, porém, ainda não há pesquisas que tenham compilado todas as informações pertinentes sobre a espécie. Neste contexto, foi desenvolvida uma revisão sistemática de literatura para auxiliar na criação em cativeiro de *Hyphessobrycon eques* e verificar as lacunas do conhecimento sobre esses peixes. Assim, das 966 publicações encontradas na triagem inicial das bibliotecas digitais Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct e Scopus, apenas 56 representaram pesquisas sobre a espécie, com período compreendido de 1997 a 2020, conforme os critérios estabelecidos na revisão. Considerando apenas os aspectos pertinentes à criação, 25 estudos foram selecionados e abordaram informações sobre a reprodução e desenvolvimento embrionário, larval e juvenil da espécie; a fauna parasitária; a concentração limite de potenciais agentes profiláticos; as preferências alimentares e os suplementos dietéticos utilizados para esses peixes. Com relação as lacunas de informações sobre o cultivo da espécie, há ausências de estudos na nutrição com a determinação de exigências nutricionais e uso de aditivos, além da falta de adequação dos manejos alimentares, como frequências, períodos e níveis de alimentação específicos. No desenvolvimento, ainda não há consenso em relação a duração de cada fase, como também quais as condições de manejo mais adequadas para cada uma delas. No aspecto sanitário, há carências de pesquisas experimentais que tenham comparado e determinado qual melhor agente profilático, de acordo com os patógenos já identificados na espécie. Portanto, a partir dessa revisão foi possível oferecer um maior respaldo para a criação de *Hyphessobrycon eques*, como também apontar diversas oportunidades para que novos estudos científicos possam enriquecer e colaborar com a criação desse peixe ornamental.

Palavras-chave: Aquicultura. Cultivo de peixe ornamental. Mato Grosso. Peixe de aquário.

Abstract

The ornamental fish *Hyphessobrycon eques* has a great prominence in fishkeeping and scientific research. Several studies have already been carried out with these fish, however, there is still no research that has compiled all relevant information about the species. In this context, a systematic literature review was developed to assist in the captive breeding of *Hyphessobrycon eques* and to verify knowledge gaps about these fish. Thus, of the 966 publications found in the initial screening of the digital libraries Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct and

Scopus, only 56 represented research on the species, with a period from 1997 to 2020, according to the criteria established in the review. Considering the aspects pertinent to the breeding, 25 studies were selected and addressed information about the reproduction and embryonic, larval and juvenile development of the species; parasitic fauna; the limit concentration of potential prophylactic agents; food preferences and dietary supplements used in these fish. Regarding the information gaps on the cultivation of the species, there are no studies on nutrition, such as the determination of nutritional requirements and the use of additives, in addition to the lack of adequacy of food management, such as frequencies, periods and specific feeding levels. In development, there is still no consensus regarding the duration of each phase, as well as which management conditions are most appropriate for each one. In the health aspect, there is a lack of experimental research that has compared and determined which is the best prophylactic agent, according to the pathogens already identified in the species. Therefore, from this review it was possible to offer greater support for the creation of *Hyphessobrycon eques*, as well as to point out several opportunities for new scientific studies to enrich and collaborate with the creation of this ornamental fish.

Key words: Aquaculture. Aquarium fish. Jewel Tetra. Ornamental fish farming.

Introdução

O peixe *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882), popularmente conhecido no Brasil como “Mato Grosso” (Santana et al. 2019), é nativo do gênero *Hyphessobrycon*, um dos mais importantes na família Characidae, ordem Characiforme (Tavares 1997; Park et al. 2014; Berchielli-Morais et al. 2015; Dagosta et al. 2016). A espécie é originária das bacias hidrográficas Amazônica, Guaporé e Paraguai (Weitzman & Palmer 1998). Entretanto, esses peixes já foram encontrados em diversas regiões da América do Sul (Aguinaga et al. 2014), principalmente no Brasil, onde geralmente são visualizados em grandes cardumes, de 20 a 30 indivíduos (Casatti et al. 2003), em locais com presença de macrófitas (Teresa et al. 2011), lânticos ou semilânticos (Esguícero & Arcifa 2010), como córregos, rios, lagoas e reservatórios (Fugimoto et al. 2013; Gonçalves et al. 2013; Acosta & Silva 2015; Fiori et al. 2016; Dias et al. 2017; Santana et al. 2019).

A espécie possui tamanho pequeno (Gonçalves et al. 2013) geralmente atingindo entre 4 a 6 centímetros de comprimento total, com coloração variando entre marrom avermelhado claro, vermelho brilhante, a um vermelho escuro (Cole & Haring 1999; Fugimoto et al. 2013). Além disso, possui corpo achatado lateralmente e normalmente há manchas pretas na parte superior da nadadeira peitoral, na nadadeira dorsal e na borda da nadadeira anal (Park et al. 2014), e as nadadeiras pélvica e anal são vermelhas escuras, com detalhes em branco nas bordas mais externas, já a nadadeira caudal possui coloração vermelha sólida (Cole & Haring 1999). Devido à essa beleza considerável, como também boa adaptação, fácil manejo e boa resistência,

H. eques tem grande participação na comercialização brasileira e mundial como peixe ornamental para o aquarismo (Park et al. 2014; Berchielli-Morais et al. 2015; Çelik & Cirik 2019; Santana et al. 2019). A espécie é igualmente importante em pesquisas científicas, pois além das características já citadas, é um peixe adaptado aos variados ambientes da América do Sul, com relativa sensibilidade a diversas substâncias (Silva et al. 2015; Marcon et al. 2016. Mansano et al. 2018; Abe et al. 2019).

Estudos com *H. eques* foram realizados sob diferentes abordagens, como avaliações toxicológicas (Marcon et al. 2016; Mansano et al. 2018; Abe et al. 2019), comportamento alimentar (Carvalho & Del-Claro 2004; Pelicice & Agostinho 2006), reprodução e desenvolvimento (Park et al. 2014; Çelik & Cirik 2019), fauna parasitária (Santos et al. 2017; Narciso et al. 2019), genética e citogenética (Piscor & Parise-Maltempo 2015; Costa-Silva et al. 2018), preferência alimentar (Miraldo & Pecora 2017; Carniatto et al. 2020) e suplementação dietética (Pan et al. 2011; Berchielli-Morais et al. 2015). Porém, há ainda relatos de carências nos conhecimentos sobre esse peixe (Carvalho & Del-Claro 2004; Park et al. 2014; Acosta & Silva 2015; Çelik & Cirik 2019; Santana et al. 2019). Além disso, ainda não há compilação de informações científicas suficientes que poderiam auxiliar na criação da espécie, ou mesmo, são poucos os estudos que tenham relacionado os conhecimentos adquiridos na pesquisa com o cultivo desses animais. Portanto, existe a necessidade do enriquecimento com estudos científicos e informações técnicas neste aspecto.

Considerando o contexto atual, esse estudo visa identificar, categorizar e abordar, de forma inédita por meio de uma revisão sistemática de literatura, todas as pesquisas desenvolvidas sobre o peixe ornamental *Hyphessobrycon eques*, desde o ano de 1997 até 2020, além de apontar as lacunas de conhecimento sobre a espécie, bem como as perspectivas para que futuras pesquisas possam colaborar para a criação em cativeiro desse peixe ornamental.

Material e Métodos

Estratégias para a seleção das pesquisas

Por meio da revisão sistemática objetivou-se responder às perguntas: ‘1. Quais foram os estudos desenvolvidos com informações sobre a espécie *Hyphessobrycon eques*?’ ‘2. Quais aspectos abordados nestes estudos poderão auxiliar na criação em cativeiro da espécie?’. Para tanto, foram selecionados cinco bancos de dados relacionados às produções científicas das Ciências Agrária: Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct e Scopus. Foram também

determinadas duas etapas distintas para as buscas: primeiramente com a palavra-chave “*Hyphessobrycon eques*” e em segundo momento com a *string* de busca formulada: (“Ornamental fish” OR “Aquarium fish” OR “Pet Fish” OR “Ornamental aquaculture” OR “Ornamental fish farming”) AND (“*Hyphessobrycon eques*” OR “Mato Grosso” OR “Serpae tetra” OR “Jewel tetra” OR “Blood tetra”).

A triagem inicial ocorreu em dezembro/2019, e novamente foi atualizada em julho/2020, sendo realizada de acordo com as particularidades de cada banco de dados. Na biblioteca digital Scielo a *string* de busca foi aplicada separadamente, do contrário não seriam obtidos resultados. Com relação a biblioteca digital do Google Scholar, os itens “incluir patente” e “incluir citações” não foram selecionados, para ambas etapas de buscas. Além disso, na etapa com a palavra-chave “*Hyphessobrycon eques*” foi selecionado ‘encontrar artigos com a frase exata “*Hyphessobrycon eques*” localizadas no título dos artigos’. Ao finalizar as buscas em todos os bancos de dados, os resultados obtidos foram armazenados e manipulados no programa ‘StArt’ versão 2.3.4.

Determinados critérios foram aplicados para a elegibilidade das pesquisas: estudos fundamentados em análises experimentais ou exploratórias sobre a espécie *Hyphessobrycon eques*; somente estudos em formato “artigo científico” e “comunicação rápida”; idiomas português, inglês e espanhol; e delimitação do período final (até julho/2020). Em virtude das divergências que cada biblioteca digital disponibiliza para seleção dos resultados, os critérios foram verificados apenas após a triagem inicial. Posteriormente, para a etapa de inclusão das pesquisas, aplicou-se novamente critérios específicos: somente estudos com informações que poderiam auxiliar na criação em cativeiro da espécie, como as pesquisas sobre reprodução, desenvolvimento, relacionadas a fauna parasitária e possíveis agentes profiláticos, além dos aspectos referentes à nutrição, como preferências alimentares, comportamento alimentar e dietas nutricionais.

Processos para a seleção das pesquisas

A seleção das pesquisas ocorreu de acordo com as recomendações *PRISMA*, em quatro etapas distintas: 1. Identificação, 2. Seleção, 3. Elegibilidade e 4. Inclusão (Figura 1), conforme metodologia apresentada por Galvão et al. (2015). Na identificação (Etapa 1), todas as pesquisas encontradas nas bases de dados foram agrupadas, com posterior exclusão dos estudos duplicados. Nesta etapa também foram acrescentadas pesquisas não localizadas na triagem

inicial, porém presentes em diversas referências de estudos já selecionados (*backward snowballing*).

Em seguida ocorreu o início da seleção dos resultados (Etapa 2), por meio da leitura dos títulos e resumos de cada estudo. Para tanto, dois pesquisadores analisaram cada estudo conforme os primeiros critérios estabelecidos, de forma independente, garantindo a não interferência na seleção. Após essa etapa, os resultados selecionados foram igualmente analisados, porém desta vez com a leitura na íntegra, sendo verificado também a disponibilidade do acesso a cada estudo, fase denominada elegibilidade (Etapa 3). Por último, a fase de inclusão (Etapa 4) ocorreu a partir da triagem dos estudos já específicos sobre o peixe *H. eques*, a partir deles foram incluídas somente as pesquisas com informações que auxiliariam no cultivo em cativeiro da espécie, conforme os critérios específicos para essa etapa da seleção.

A comparação dos resultados obtidos na seleção de cada pesquisador foi realizada por meio do método estatístico Teste Kappa (Cohen, 1960), para avaliação da concordância entre eles. O resultado compreendeu em $\kappa = 0,75$, representando um acordo significativo substancial entre os pesquisadores ($\kappa = 0,61$ a $0,80$), conforme proposto por Landis e Koch (1977), demonstrando alta confiabilidade na avaliação dos artigos selecionados para a revisão sistemática. As pesquisas em desacordo foram definidas posteriormente de forma conjunta entre os pesquisadores.

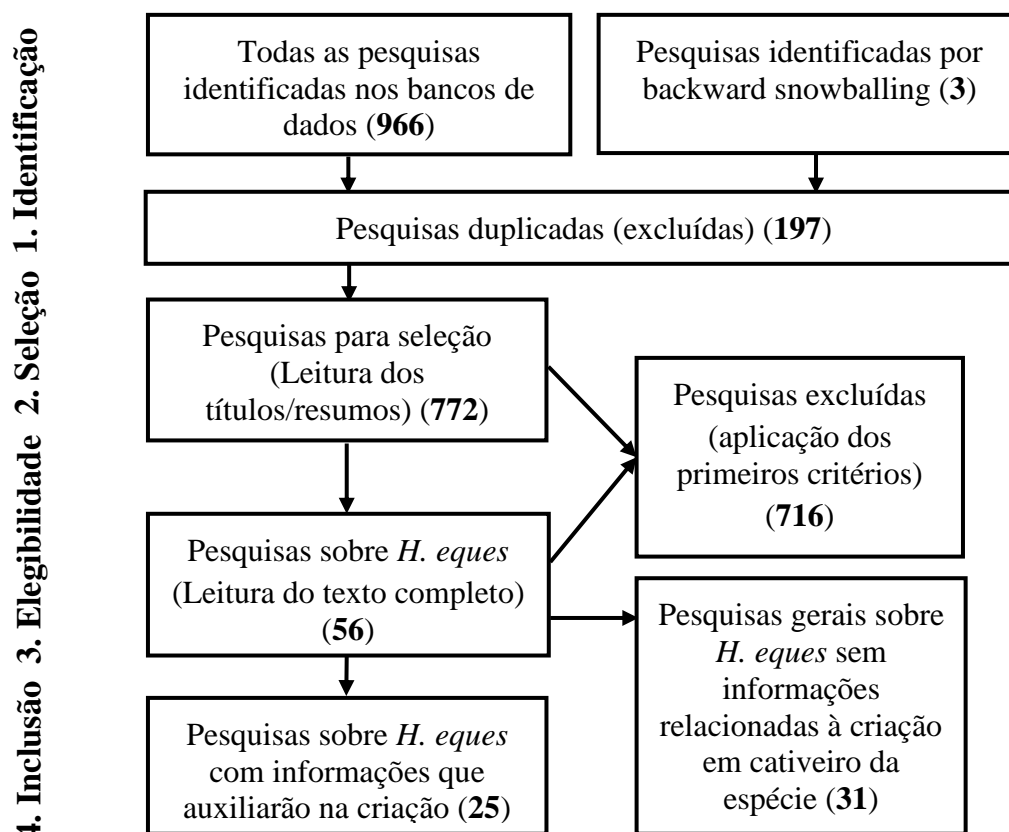


Figura 1 Etapas do processo para a seleção das pesquisas sobre *Hyphessobrycon eques* na revisão sistemática.

Extração dos dados das pesquisas selecionadas

Todos os estudos selecionados na etapa 3 foram categorizados de acordo com o principal objetivo de cada pesquisa. Assim, foi possível averiguar quais os conhecimentos já foram obtidos e publicados sobre *H. eques* até o momento, de acordo com as bibliotecas digitais da revisão. Posteriormente, foram extraídas desses estudos informações pertinentes às condições de manejo relacionadas aos parâmetros da qualidade da água, tanto em condições naturais, quanto em experimentos controlados com a espécie.

Já sobre as pesquisas incluídas na última fase da seleção (Etapa 4), foram extraídas, analisadas, categorizadas e posteriormente discutidas, todas as informações relacionadas aos critérios específicos que poderiam colaborar para a criação em cativeiro da espécie *H. eques*. Dessa forma, foram estabelecidas as seguintes abordagens: 1. Aspectos reprodutivos e do desenvolvimento; 2. Aspectos sanitários; 3. Aspectos alimentares. Todos apontamentos foram relacionados somente ao peixe *H. eques*, independentemente da presença de outras espécies também analisadas nas pesquisas. Por último, a partir das abordagens analisadas nos estudos

selecionados das etapas 3 e 4, foram discutidas quais as principais lacunas de conhecimentos sobre a espécie, e que poderiam colaborar para sua criação em cativeiro.

Resultados

Foram identificadas 966 publicações na triagem inicial, com posterior adição de 3 publicações referentes ao *backward snowballing* (Weitzman & Palmer 1997; Weitzman & Palmer 1998; Cole & Haring 1999) das quais 56 apresentaram informações sobre o peixe *H. eques*, representando todas as pesquisas publicadas até julho de 2020 com estudos fundamentados em análises experimentais ou exploratórias sobre a espécie, de acordo com as bibliotecas digitais da revisão (Tabela 1). As maiores incidências de estudos foram sobre análises exploratórias dos habitats naturais e estrutura populacional (n=12) e experimentos toxicológicos (n=11) sobre a espécie *H. eques*. Os períodos das publicações datam desde 1997 até 2020, com diversas oscilações ao longo dos 23 anos, entretanto desde 2005 houve um aumento das pesquisas publicadas por ano, com destaque para os anos de 2014, 2015 e 2018, por apresentarem as maiores incidências de estudos por ano (Gráfico 1).

As publicações incluídas na última etapa da seleção apresentaram informações pertinentes a criação em cativeiro da espécie *H. eques*. Assim, 25 estudos foram considerados elegíveis (Tabela 1), possibilitando abordar informações sobre a reprodução e desenvolvimento embrionário, larval e juvenil da espécie (Çelik & Cirik 2019; Park et al. 2014), fauna parasitária já relatada nesses peixes (Fugimoto et al. 2013; Acosta & Silva 2015; Santos et al. 2017; Narciso et al. 2019), avaliação das concentrações letais de potenciais agentes profiláticos (Russo et al. 2007; Aguinaga et al. 2014; Silva et al. 2014; Carraschi et al. 2015; Marcon et al. 2016), preferências alimentares dos peixes em condições naturais e experimentais (Casatti et al. 2003; Pelicice & Agostinho 2006; Crippa et al. 2009; Santana-Porto & Andrian 2009; Carniatto et al. 2014; Berchielli-Morais et al. 2015; Fiori et al. 2016; Miraldo & Pecora 2017; Carniatto et al. 2020) e aditivos nutricionais já avaliados na espécie (Wang et al. 2006; Pan et al. 2010; Pan et al. 2011; Berchielli-Morais et al. 2015).

Tabela 1 Mapeamento dos estudos selecionados nas etapas 3 e 4 da revisão sistemática de literatura e classificados de acordo com os principais aspectos abordados em cada pesquisa sobre a espécie de peixe ornamental *H. eques*

Aspectos abordados	Seleção Etapa 3	Seleção Etapa 4	Pesquisa
Anatomia	1	0	Datovo e Castro (2012)
Comportamento social	1	0	Nijman e Heuts (2000)
Comportamento / Preferência alimentar	9	9	Casatti et al. (2003); Carvalho e Del Claro (2004); Pelicice e Agostinho (2006); Crippa et al. (2009); ; Santana-Porto & Andrian 2009; Carniatto et al. (2014); Fiori et al. (2016); Miraldo e Pecora (2017) Carniatto et al. (2020)
Criação e produção	1	1	Cole e Haring (1999)
Fisiologia	1	0	Gonzalez et al. (2018)
Genética, Citogenética e Filogenia	7	0	Javonillo et al. (2010); Martinez et al. (2012); Paz et al. (2014); Piscor e Parise-Maltempi (2015); Shimabukuro-Dias et al. (2016); Costa-Silva et al. (2018); Piscor et al. (2020) Weitzman e Palmer (1997); Weitzman e Palmer (1998); Pelicice e Agostinho (2005);
Habitat natural / Estrutura populacional	12	0	Pelicice et al. (2005); Golçalves e Braga (2008); Esguícero e Arcifa (2010); Teresa et al. (2011); Penha et al. (2014); Severo-Neto et al. (2018); Tondato et al. (2018); Nunes et al. (2020); Pereira et al. (2020)
Nutrição	4	4	Wang et al. (2006); Pan et al. (2010); Pan et al. (2011); Berchielli-Morais et al. (2015)
Reprodução e Desenvolvimento	5	2	Andrade et al. (2008); Gonçalves et al. (2013); Park et al. (2014); Çelik e Cirik (2019); Santana et al. (2019)

Sanidade	4	4	Fugimoto et al. (2013); Acosta e Silva (2015); Santos et al. (2017); Narciso et al. (2019) Russo et al. (2007); Sotero-Santos et al. (2007); Carraschi et al. (2011); Aguinaga et al. (2014); Silva et al. (2014); Carraschi et al. (2015); Silva et al. (2015); Silva et al. (2016); Marcon et al. (2016); Mansano et al. (2018); Abe et al. (2019)
Toxicologia	11	5	

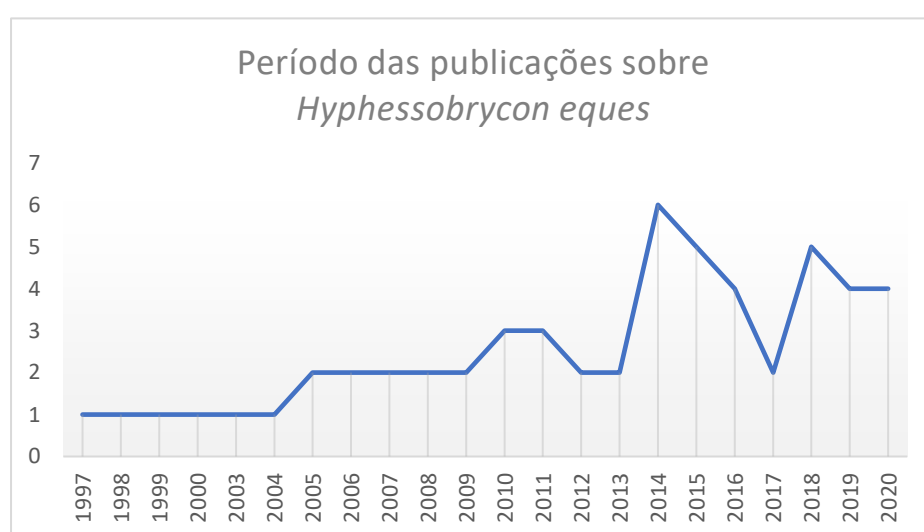


Gráfico 1 Período das publicações científicas nas bibliotecas digitais Google Scholar, Pubmed, Scielo, Science Direct e Scopus sobre a espécie *Hyphessobrycon eques*

Condições relacionadas aos parâmetros de qualidade da água para *H. eques*

Apenas sete pesquisas relataram informações sobre às características físico-químicas da água em locais naturais de análise ou coleta dos peixes da espécie *H. eques*, conforme demonstrado na tabela 2. De acordo com os dados, houve grande variação dos parâmetros, principalmente relacionados à temperatura.

Tabela 2 Parâmetros de qualidade da água em habitats naturais da espécie *H. eques*

Temp. (°C)	Parâmetros			Localização / Coordenadas Geográficas	Período das coletas	Pesquisa
	pH	OD (mg/L)	Cond. (µS/cm)			
24,7 - 27,5	6,11 - 8,86	7,0 - 7,9	50,0 - 56,9	Margem direita do rio Parapanema (Reservatório Rosana – SP, Brasil) / 22°36'45,7 ”S; 52°15'19,5 ”W	*/jul./2000; */set./2000; */dez./2000; */mar./2001	Casatti et al. (2003)
30,53 ± 0,23	7,42 ± 0,12	7,26 ± 0,24	41,4 ± 0,61	Seis amostras no rio Parapanema (Reservatório Rosana, afluyente do Alto Rio Paraná, PR e SP – Brasil) / três em 22 ° 34 ' 07 " S, 52 ° 33 ' 34 " W e três em 22 ° 38 ' 29 " S, 52 ° 47 ' 16 " W	15 a 21/jan./2003	Pelicice et al. (2005)
17 - 21	5,2 - 6,6	0,54 - 7,00	*	Quatro lagoas (Catingueiro, Barrinha, Pedra e Fundão), margem direita do rio Mogi Guaçu (Reservatório Mogi	*/ago./2005 a */jul./2006	Gonçalvez e Braga (2008)

				Guaçu, SP- Brasil) / 22° 16' e 22°18' S, 47° 09' e 47° 12' W		
12,2 - 19,9	5,5 - 7,6	6,19 - 7,62	49,1 - 138,7	Quatro habitats na Bacia Jacaré- Guaçu, margem direita do rio Tietê (Alto Rio Paraná, Brasil) / 21° 50 '46 "S, 48° 29' 22" W; 21° 51 '59 "S, 48° 16' 42 "W; 21° 51 '53 "S, 48° 16 '42 "W; 21° 51 '52 "S, 48° 16' 09" W	22 a 25/jun./2008; 21 a 24/jun./2009	Esguícero e Arcifa (2010)
22,3 ± 1,2 / 22,2 ± 1,1	6,8 ± 0,4 / 6,6 ± 0,3	7,8 ± 1,2 / 7,7 ± 2,3	61,1 ± 3,6 / 59,2 ± 3,6	Três amostragens no Canal (Alto Rio Paraná, Brasil) / 22° 47 '30 "S, 53° 24' 37" W	6 e 7/ago./2009	Carniatto et al. (2014)
17 - 32	7	> 5,0	*	Lagoas marginais do rio Cuiabá (Alto Pantanal, MT – Brasil) / entre as coordenadas 16 ° e 17 ° S e 56 ° e 57 ° W	*/*/2005 a */*/2008	Penha et al. (2014)
23 - 25	*	*	*	Rio Olho d'Água, afluente do rio Miranda (Bacia do Alto Rio Paraguai, MS – Brasil) / *	*/Maio/2011	Nunes et al. (2020)

Temperatura (Temp.); Oxigênio Dissolvido (OD); Condutividade (Cond.).

* Valores não informados.

Já em condições experimentais, diversas pesquisas apresentaram os parâmetros de qualidade da água (Tabela 3). No entanto, ainda não há estudos que tenham realizado experimentos específicos comparando diferentes níveis desses parâmetros para a espécie *H. eques*, o que possibilitaria a identificação das condições de cultivo ideais para a espécie.

Tabela 3 Principais parâmetros de qualidade da água em condições experimentais com *H. eques*

Temperatura (°C)	Pesquisa
21,0 ± 1,5 / 22,4± 2,6 / 23,6± 3,7	Santos et al. (2017)
22,0	Nijman e Heuts (2000)
22,8	Aguinaga et al. (2014)
23,4 ± 1,68	Russo et al. (2007)
24,5 - 27,0	Carvalho e Del-Claro (2004)
25,0	Sotero-Santos et al. (2007)
25,0 ± 1,0	Miraldo e Pecora (2018); Marcon et al. (2016)
25,0 ± 2,0	Silva et al. (2014); Carraschi et al. (2015); Silva et al. (2015); Silva et al. (2016); Mansano et al. (2018)
25,0 - 26,0	Carraschi et al. (2011)
25,0 - 27,0	Gonzalez et al. (2018)
26,0 ± 0,5	Çelik e Cirik (2019)
26,0 – 28,0	Wang et al. (2006); Pan et al. (2010); Pan et al. (2011)
27,07 ± 0,04	Berchielli-Morais et al. (2015)
27,5 - 28,5	Park et al. (2014)
pH	Pesquisa
6,5 ± 1,2 / 6,0 ± 3,2 / 7,2 ± 0,9	Santos et al. (2017)
6,25 ± 0,25	Park et al. (2014); Çelik e Cirik (2019)
6,5 - 7,0	Carvalho e Del-Claro (2004)
6,5 - 7,5	Silva et al. (2014); Silva et al. (2015); Silva et al. (2016)
6,8 ± 0,3	Miraldo e Pecora (2018)
6,8 ± 0,9	Marcon et al. (2016)
7,0 ± 1,0	Mansano et al. (2018)
7,04 ± 0,01	Berchielli-Morais et al. (2015)
7,0 - 8,0	Carraschi et al. (2011); Gonzalez et al. (2018)
7,1 - 7,8	Sotero-Santos et al. (2007)

7,3 - 8,3	Aguinaga et al. (2014)
7,5 - 8,0	Wang et al. (2006); Pan et al. (2010); Pan et al. (2011)
8,0	Russo et al. (2007)
Oxigênio Dissolvido (mg / L)	Pesquisa
> 4,0	Silva et al. (2016)
> 5,0	Silva et al. (2014); Silva et al. (2015); Miraldo e Pecora (2018)
5,0 - 6,0	Carraschi et al. (2011)
6,3	Aguinaga et al. (2014)
5,3 ± 1,6 / 6,0 ± 3,4 / 6,8 ± 2,0	Santos et al. (2017)
6,0 - 7,0	Wang et al. (2006); Pan et al. (2010); Pan et al. (2011)
6,73 ± 0,29	Park et al. (2014)
6,9 ± 0,35	Marcon et al. (2016)
6,8 - 7,5	Sotero-Santos et al. (2007)
7,94 ± 0,02	Berchielli-Morais et al. (2015)

Aspectos reprodutivos e do desenvolvimento embrionário, larval e juvenil de *H. eques*

Em cinco das 25 pesquisas selecionadas foram abordadas informações referentes às características reprodutivas e/ou relacionadas ao desenvolvimento embrionário, larval e juvenil de *H. eques* (Andrade et al. 2008; Gonçalves et al. 2013; Park et al. 2014; Çelik & Cirik 2019; Santana et al. 2019). Porém, apenas duas pesquisas desenvolveram estudos experimentais com informações pertinentes à criação em cativeiro da espécie (Tabela 4). Não há estudos que tenham definido as condições mais adequadas para o manejo nessas fases ou quais deveriam ser os principais cuidados para a criação em cativeiro de *H. eques*.

Tabela 4 Aspectos relacionados ao desenvolvimento embrionário, larval e juvenil de *H. eques* em condições experimentais

Pesquisa	Çelik e Cirik (2019)	Park et al. (2014)
Aquário Desova	15 L	500 mL (copo)
Aquário (larval e juvenil)	15 L	75 L
Temperatura	26 ± 0,5 °C	28 ± 0,05 °C
Diâmetro dos ovos (mm)	0,94 ± 0,04	0,92 ± 0,01
Eclosão (horas)	20 – 21	12 – 16
Comprimento larval - 1° dia (mm)	2,64 ± 0,21	2,89 ± 0,16
Desenvolvimento (olhos/boca/ânus)	3° – 4° dia após eclosão	3° dia após eclosão
Absorção saco vitelino/Início alimentação exógena	4° / 3° – 4° dia após eclosão	3° dia após eclosão
Bexiga natatória / Natação livre	4° – 5° dia após eclosão	3° dia após eclosão
Início do estágio juvenil	28° dia após eclosão	45° dia após eclosão
Comprimento juvenil – 1° dia (mm)	10,7 ± 0,27 (28° a 30° dia)	12,5 ± 1,60 (45° dia)

Aspectos sanitários pertinentes à espécie *H. eques*

A identificação da fauna parasitária em peixes da espécie *H. eques* ocorreu por meio de quatro pesquisas, as quais relataram a presença de determinados parasitas pela primeira vez, entre eles *Quadrigyryrus nickoli* (Acanthocephala) (Fugimoto et al. 2013), *Hysterothylacium* sp. (Nematoda: Anisakidae) (Acosta & Silva 2015) e *Braga nasuta* (Isopoda: Cymothoidae) (Narciso et al. 2019), a partir de animais coletados nos seus respectivos habitats naturais. Apenas um estudo verificou a presença de parasitas em *H. eques* coletados diretamente de pisciculturas, sendo eles *Ichthyophthirius multifiliis*; *Tricodinídeos*; *Digeneans* (Santos et al. 2017).

Alguns estudos desenvolveram pesquisas utilizando potenciais agentes profiláticos na aquicultura com *H. eques* (Tabela 5). Entre eles estão o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Russo et al. 2007), o extrato da casca da planta *Uncaria tomentosa* (Aguinaga et al. 2014), o sulfato de cobre (CuSO₄) (Silva et al. 2014), Florfenicol (FLO), Enrofloxacina (ENR), Tiametoxano (TH) e Toltrazuril (TOL) (Carraschi et al. 2015) e Diflubenzuron (Dimilin) (Marcon et al. 2016). Entretanto, esses estudos utilizaram a espécie *H. eques* apenas para medir sua resistência em relação aos compostos, e assim determinar quais as concentrações letais ou alterações

patológicas e comportamentais causadas nos animais, sem qualquer relação com o controle de patógenos presentes na espécie.

Tabela 5 Potenciais agentes profiláticos utilizados em pesquisas com a espécie *H. eques* para determinação das concentrações patológicas e letais na espécie.

Agente	Recomendação Máxima (mg/L)	Concentração Patológica (mg/L)	Concentração Letal (CL50) (mg/L)	Pesquisa
Peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	5,6 (24 horas)	6,6 ± 0,9 (1 hora)	26,9 ± 6,1 (1 hora)	Russo et al. (2007)
Casca da planta <i>Uncaria tomentosa</i>	*	20,0 ml/L (24 horas)	18,16 ml/L (48 horas)	Aguinaga et al. (2014)
Sulfato de cobre (CuSO ₄)	*	*	0,16 ± 0,03 (96 hoas)	Silva et al. (2014)
Florfenicol (FLO) / Enrofloxacin (ENR) / Tiametoxano (TH) / Toltrazuril (TOL)	*	*	> 100 / > 100 / 49,78 / 6,22 (48 horas)	Carraschi et al. (2015)
Diflubenzuron (Dimilin)	*	0,01 (96 horas e 17 dias)	*	Marcon et al. (2016)

* Valores não informados.

Aspectos alimentares relacionados à espécie *H. eques*

As preferências alimentares de *H. eques* foram apontadas em nove estudos (Tabela 6), entre os quais foi possível destacar predominância do consumo de microcrustáceos e/ou larvas de insetos. Com relação ao comportamento alimentar da espécie, pode-se dizer que os animais possuem hábitos alimentares diurnos, e são caracterizados como espécie forrageira oportunista, por revirar constantemente os substratos (Carvalho & Del-Claro 2004; Pelicice & Agostinho 2006).

Tabela 6 Preferências alimentares de *H. eques* em condições naturais e experimentais

Composição da dieta de <i>H. eques</i>	Pesquisa
- Larvas de insetos (quironomídeos e tipulidae); Microcrustáceos (Copepoda, Cladocera e Ostracoda); Parasitas (nematódeos)	Casatti et al. (2003)
- Microcrustáceos (Copepoda e Ostracoda); Algas e Briófitas	Pelicice e Agostinho (2006)
- Microcrustáceos (Cladocera e Copepoda)	Crippa et al. (2009)
- Microcrustáceos (Cladocera)	Santana-Porto e Andrian (2009)
- Larvas de insetos (efemerópteros e dípteras)	Carniatto et al. (2014)
- Microcrustáceos (Cladocera e Copepoda)	Berchielli-Morais et al. (2015)
- Larvas de insetos (quironomídeos); Detritos; Escamas de peixes	Fiori et al. (2016)
- Larvas de insetos (<i>Aedes aegypti</i>)	Miraldo e Pecora (2017)
- Microcrustáceos (Copepoda e Cladocera); Larvas de insetos (efemerópteros e quironomídeos)	Carniatto et al. (2020)

Quatro estudos avaliaram os efeitos de aditivos que foram adicionados na dieta de *H. eques*. Em três estudos a inclusão utilizada foi avaliada com os mesmos tipos de aditivos (Carotenóides: Astaxantina e β -caroteno), para verificar diferentes efeitos, tais como sobrevivência, crescimento, pigmentação e capacidade antioxidante (Wang et al. 2006), a resistência dos animais sob condições estressoras causadas por amônia (Pan et al. 2011), ou causadas por hipóxia durante o transporte (Pan et al. 2010). Já na pesquisa de Berchielli-Morais et al. (2015) foi avaliado o consumo de dietas com microalgas (*Ankistrodesmus gracilis* e/ou *Haematococcus pluvialis*), comparadas entre si, ou com o consumo de zooplânctons, para verificar os efeitos na sobrevivência, crescimento e pigmentação dos animais. Além disso, não foram encontrados estudos com pesquisas relacionadas às exigências nutricionais específicas para o peixe *H. eques*, ou para a determinação dos manejos mais adequados, como frequências, períodos e níveis de alimentação específicos para a espécie.

Discussão

Condições relacionadas aos parâmetros de qualidade da água para *H. eques*

Em ambientes naturais, as condições são diversificadas, principalmente em relação à temperatura, com variação desde 12,2 °C no inverno (Esguícero & Arcifa 2010) até mais de 30°C (Pelicice et al. 2005; Penha et al. 2014). A respeito do pH, geralmente foram encontrados valores levemente ácidos (Gonçalves & Braga 2008; Carniatto et al. 2014) e o oxigênio dissolvido normalmente acima de 5,0 mg/L (Casatti et al. 2003; Pelicice et al. 2005; Gonçalves & Braga 2008; Esguícero & Arcifa 2010; Carniatto et al. 2014; Penha et al. 2014).

Com relação aos parâmetros de qualidade da água em condições experimentais ou na produção, há relatos de temperatura desde 20 °C (Santos et al. 2017) até 28,5 (Park et al. 2014), pH levemente ácido ou até mesmo neutro (Carvalho & Del-Claro 2004; Park et al. 2014; Silva et al. 2014; Berchielli-Morais et al. 2015; Silva et al. 2015; Marcon et al. 2016; Silva et al. 2016; Santos et al. 2017; Mansano et al. 2018; Miraldo & Pecora 2018; Çelik & Cirik 2019) e oxigênio dissolvido acima de 5,0 mg/L (Wang et al. 2006; Sotero-Santos et al. 2007; Pan et al. 2010; Carraschi et al. 2011; Pan et al. 2011; Aguinaga et al. 2014; Park et al. 2014; Silva et al. 2014; Berchielli-Morais et al. 2015; Silva et al. 2015; Marcon et al. 2016; Santos et al. 2017; Miraldo & Pecora 2018). Nota-se que as condições mantidas em experimentos ou no cultivo da espécie são semelhantes às verificadas em ambientes naturais, no entanto, ainda não há pesquisas científicas diretamente relacionadas ao estudo das condições de cultivo ideais para o melhor crescimento e bem-estar de *H. eques*, otimizando sua criação. De acordo com Pérez et al. (2003), o conhecimento das preferências e tolerâncias de uma espécie, como a variação da temperatura, é fundamental para definir quais os valores dos parâmetros mais adequados de cultivo, como também saber qual poderá ser o nível de sobrevivência dos peixes em um determinado espaço climático.

Reprodução e desenvolvimento da espécie *H. eques*

A reprodução e o desenvolvimento da espécie *H. eques* foi verificado experimentalmente em apenas duas pesquisas até o momento, por meio das quais foi descrito os estágios de desenvolvimento embrionário e larval, desde a fertilização até o início do período juvenil, fornecendo importantes informações para a criação em cativeiro da espécie. De acordo com as características físicas da espécie, não há dimorfismo sexual relacionado à coloração, porém as fêmeas normalmente são maiores do que os machos (Santana et al. 2019) e possuem o abdômen maior, já os machos podem apresentar as nadadeiras anais mais curtas e afiadas no

final (Park et al. 2014). Assim, o mais adequado durante o momento reprodutivo no cultivo da espécie, seria manter os reprodutores em grupos, já que há dificuldades na identificação dos peixes para formação dos casais (Cole & Haring 1999).

Na desova é fundamental proporcionar as melhores condições ambientais, preparar os animais e observar seus comportamentos. De acordo com Cole e Haring (1999), para garantir que a desova inicie em menor tempo possível, os peixes *H. eques* precisam receber uma grande variedade de alimentos vivos e dietas de boa qualidade. Park et al. (2014) ao observarem o comportamento da espécie na desova, relataram que a etapa teve início somente em temperaturas a partir de 27 °C, ocorrendo geralmente no período da manhã, com dois ou três machos perseguindo cada fêmea, estimulando seu abdômen inferior repetidas vezes. Após alteração das colorações para verde escuro, as fêmeas desovavam e os machos liberavam os espermatozoides, esse momento tinha poucos segundos de duração, porém era repetido de cinco a seis vezes. No estudo de Çelik e Cirik (2019), os autores relataram apenas o momento e a duração da desova desses peixes, a qual ocorreu ao amanhecer, com duração de 1 a 3 horas, semelhante ao relato de Cole e Haring (1999). Por meio dos conhecimentos repassados, será possível manter uma adequada formação do plantel, com proporção correta entre machos e fêmeas para que a fertilização ocorra de forma mais efetiva, visto que com menos machos poderia haver ovos não fertilizados.

A qualidade dos ovos e o crescimento e sobrevivência larval estão diretamente relacionados ao tamanho dos ovos, fatores cruciais para a criação em cativeiro das espécies de peixes ornamentais (Çelik & Cirik (2019). Park et al. (2014), relataram que os ovos de *H. eques* apresentaram 0,91 a 0,93 mm (média $0,92 \pm 0,01$ mm), considerado maior dentre outras espécies da mesma família, eles também tinham aspecto demersal, pegajoso, com formato redondo e gema de cor vermelha. Semelhantemente, Çelik e Cirik (2019), verificaram que os ovos fertilizados da espécie possuem aspectos esféricos, são transparentes, demersais e adesivos, com diâmetro médio de $0,94 \pm 0,04$ mm. De acordo com as características dos ovos, como os aspectos pegajosos ou adesivos, uma interessante alternativa para o manejo no momento da desova estaria relacionada ao uso de substratos, auxiliando assim na coleta dos ovos. Além de evitar o canibalismo, já que os peixes adultos costumam consumi-los após a conclusão da desova (Cole & Haring 1999). Outro importante apontamento se refere às pesquisas avaliando quais são os fatores determinantes e que poderiam otimizar o tamanho dos ovos da espécie, visto a ausência de conhecimentos científicos neste aspecto.

A eclosão das larvas poderá ocorrer cerca de 24 horas após a fertilização, com temperatura de 20 a 24°C (Cole & Haring 1999), ou 20 a 21 horas após a fertilização, quando

mantido em temperatura de $26 \pm 0,5$ °C, com comprimento total das larvas recém-eclodidas de $2,64 \pm 0,21$ mm (Çelik & Cirik 2019). Já na pesquisa de Park et al. (2014) as larvas eclodiram geralmente 16 horas após a fertilização, com temperatura mantida a $28,0 \pm 0,05$ °C, e comprimento total das larvas de 2,76 a 3,05 mm (média $2,89 \pm 0,16$ mm). A partir desses dados, entende-se a grande interferência da temperatura sobre o tempo de eclosão da espécie *H. eques*.

No desenvolvimento larval a temperatura da água e o tipo de alimento oferecido estão intimamente ligados ao crescimento e período das transformações (Anjos & Anjos 2006). Çelik e Cirik (2019) relataram que ao terceiro dia após a eclosão ocorreu a abertura da boca e no quarto dia o saco vitelino foi completamente consumido, iniciando o consumo por alimentos exógenos antes mesmo da absorção completa do saco vitelino (5-10 náuplios/mL de *Artemia salina* recém eclodidas). Os autores notaram ainda que as larvas começaram a nadar livremente somente no quarto ou quinto dia, mesmo período que iniciou o funcionamento da bexiga natatória, semelhante ao período encontrado para a maioria das larvas de peixes ornamentais de água doce (três a seis dias). Na pesquisa de Park et al (2014) e ao terceiro dia ocorreu a reabsorção completa do saco vitelino, abertura da boca e finalização do desenvolvimento da bexiga natatória, dando início a dieta exógena (5-10 Rotíferos/mL *Branchionus rotundiformis* durante 15 dias, 10-15 náuplios/mL de *Artemia* Sp. de 15 à 35 dias e 200-310 µm larvas do amor/mL a partir do 30° dia).

A transição do estágio larval para juvenil é caracterizada pela finalização do desenvolvimento morfológico, e assim como na fase larval, ela está relacionada a diversos fatores, principalmente temperatura e nutrição (Çelik & Cirik 2019). Ainda de acordo com esses autores, para a espécie *H. eques* o início dessa fase ocorreu com 28 a 30 dias em temperatura de $26 \pm 0,5$ °C, e com comprimento total dos peixes de $10,7 \pm 0,27$ mm. Por outro lado, Park et al. (2014) observaram que os peixes possuíam $10,2 \pm 1,20$ mm com 40 dias, entretanto, somente aos 45 dias foi considerado o início do estágio juvenil de *H. eques* em temperatura mantida a $28,0 \pm 0,05$ °C, com os peixes medindo $12,5 \pm 1,60$ mm de comprimento total. A partir dessas pesquisas, pode-se dizer que a espécie *H. eques* inicia o estágio juvenil com 28 a 45 dias, e que o comprimento total dos peixes pode variar entre 10 a 15 mm, provavelmente essas diferenças ocorreram em virtude das variações nas condições experimentais, como a temperatura da água e o tipo de alimento fornecido. Assim, há carências de estudos que tenham avaliado diferentes condições de cultivo para cada fase do desenvolvimento de *H. eques*, como os parâmetros de qualidade da água ou relacionados aos aspectos nutricionais.

É notável que ainda há poucos conhecimentos científicos sobre a reprodução e o período de desenvolvimento inicial dessa espécie. Informações mais detalhadas sobre a

dinâmica reprodutiva de espécies nativas da América do sul, como *H. eques*, podem garantir a sustentabilidade na comercialização (Andrade et al. 2008), assim como uma melhor compreensão dos fatores determinantes no desenvolvimento embrionário e larval, que além de potencializar e otimizar a produção comercial, irá ajudar no desenvolvimento de metodologias mais assertivas para a criação em cativeiro das espécies (Çelik & Cirik 2019). Portanto, novas publicações e informações técnicas que possam abordar estas áreas serão enriquecedoras para a produção da espécie *H. eques*.

Fauna parasitária e controle sanitário de *H. eques*

Quanto aos estudos encontrados sobre a fauna parasitária de *H. eques*, três estudos encontraram os animais infectados em seus respectivos habitats naturais. Assim, Acosta e Silva (2015) reportaram sobre a infecção por larva de nematódeos do gênero *Hysterothylacium* sp. em peixes coletados no reservatório Jurumirim, rio Paranapanema. Fugimoto et al. (2013) verificaram a ocorrência de *Quadrigyus nickoli* na espécie após a coleta no rio Chumucuí, Pará, Brasil. Narciso et al. (2019) observaram que o ectoparasita *Braga nasuta* parasitava essa espécie na reserva do Patrimônio Natural, Mato Grosso do Sul, Brasil. Já Santos et al. (2017) ao analisarem a fauna parasitária de peixes ornamentais em pisciculturas localizadas no estado de Santa Catarina, Brasil, relataram a presença de ectoparasitas protozoários (*Ichthyophthirius multifiliis*) e (*Tricodinídeos*), presentes nas brânquias e no muco da superfície do corpo de *H. eques*, além de *Digeneans*, (parasitas mais abundantes do filo *Platyhelminthes*), presentes no músculo dos animais. Ainda de acordo com o estudo, a prevalência de parasitas encontrados pode ter sido influenciada pela falta de controle da população de peixes e monitoramento rotineiro da qualidade da água.

Estudos sobre a fauna parasitária de peixes ornamentais ganharam importância nos últimos anos, em grande parte devido às perdas econômicas no cultivo e comercialização dos animais (Narciso et al. 2019). Com a intensificação da piscicultura, esse panorama está se tornando cada vez mais presente (Aguinaga et al. 2014), portanto, é imprescindível o monitoramento constante na criação, garantindo assim o diagnóstico precoce dos patógenos (Santos et al. 2017). Além disso, o melhor conhecimento sobre os patógenos das espécies ornamentais poderá também colaborar para a prevenção e tratamento ideal de cada espécie (Acosta & Silva 2015).

Algumas pesquisas utilizaram a espécie *H. eques* para avaliar as concentrações letais de potenciais agentes profiláticos que poderiam ser aplicados na aquicultura, entre eles estão o

extrato aquoso da casca da planta medicinal *U. tomentosa*, que possui propriedades imunostimulantes, antivirais e atividades anti-inflamatórias (Aguinaga et al. 2014), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), produto químico eficaz no controle de doenças virais e bacterianas, fungos e ectoparasitas, como ectoparasita flagelado *Ichthyobodo* spp (Russo et al. 2007), o sulfato de cobre ($CuSO_4$), que é conhecido como herbicida agrícola, mas também é eficaz no controle do crescimento de algas e macrófitas em viveiros e como agente no controle de doenças bacterianas e de ectoparasitas na piscicultura (Silva et al. 2014). Da mesma forma, o inseticida diflubenzuron, que também é usado no controle de ectoparasitas, foi verificado para *H. eques* (Marcon et al. 2016), assim como outras drogas que já provaram serem eficazes no tratamento de diversas doenças presentes em pisciculturas, como florfenicol (FLO), enrofloxacin (ENR), tiametoxano (TH), e toltrazuril (TOL) (Carraschi et al. 2015).

De acordo com essas pesquisas, o peróxido de hidrogênio em concentrações superiores a 3,1 mg/L provou ser eficaz no tratamento de bactérias externas, e em níveis maiores de 6,5 mg/L foi capaz de combater *Ichthyobodo* spp, porém, para *H. eques* em concentrações a partir de $6,6 \pm 0,9$ mg/L após 1 hora esse agente provocou alterações comportamentais anormais, e em concentrações de $26,9 \pm 6,1$ mg/L foram verificadas mortalidades de 25% dos animais, assim, a concentração máxima recomendada para a espécie é de 5,6 mg/L por 24 horas e 17,0 mg/L por 1 hora (Russo et al. 2007). Com relação ao uso do extrato da casca de *U. tomentosa*, foram verificadas alterações clínicas e comportamentais somente em concentrações acima de 20,0 mg/L após 24h, e após 48 horas a CL50 foi verificada com 18,16 mg/L, dessa forma, o seu uso foi considerado seguro para fins profiláticos com a espécie *H. eques*, quando em baixas concentrações (Aguinaga et al. 2014). Na pesquisa de Carraschi et al. (2015), os autores verificaram que após 48 horas a CL50 foi > 100 mg/L para FLO e ENR, por esse motivo eles podem ser utilizados para *H. eques*. Porém, para TH a CL50 foi com 49,78 mg/L e 6,22 mg/L para TOL em *H. eques*, fato que demonstra a sensibilidade da espécie para os dois últimos medicamentos, sendo necessário um maior cuidado em tratamentos de patógenos com o uso desses compostos. Já em relação ao sulfato de cobre e ao Diflubenzuron, devido aos graves prejuízos e à alta mortalidade dos animais após utilização de pequenas concentrações desses compostos, eles não são indicados para *H. eques*, sendo considerados altamente tóxicos para a espécie (Silva et al. 2014; Marcon et al. 2016).

Considerando os aspectos abordados nessas pesquisas, em todos estudos citados a espécie *H. eques* foi utilizada apenas para determinar as concentrações letais ou que provocariam alterações patológicas e comportamentais nos peixes. Sendo assim, há carências

de estudos com a espécie e relacionados ao uso de potenciais agentes profiláticos para tratamentos de patógenos presentes em *H. eques*.

Nutrição e comportamento alimentar da espécie *H. eques*

Ao verificar as preferências alimentares de *H. eques* em condições naturais e experimentais, é possível apontar semelhanças na dieta da espécie, apesar dos relatos em condições naturais estarem localizados em diferentes regiões. Berchielli-Morais et al. (2015) ao suplementarem zooplâncton para a espécie, verificaram uma maior predominância no consumo de *D. birgei*, Cladocera (59,5%) e *A. furcatus*, Copepoda (34,4%). Miraldo e Pecora (2018) utilizaram diversas espécies de peixes ornamentais para avaliar a eficiência no controle de larvas do mosquito *Aedes aegypti* e consideraram a espécie *H. eques* adequada para o controle, devido ao bom consumo de larvas.

Em condições naturais, de acordo com Pelicice e Agostinho (2006), a espécie consumiu quase que exclusivamente zooplâncton (Ostracoda e principalmente Copepoda), e em menores quantidades algas e briófitas. Carniatto et al. (2020) observaram que o hábito alimentar de *H. eques* alterou de acordo com as macrófitas habitadas, com maior consumo de microcrustáceos (82% da dieta, como Chydoridae, Calanoida e Cyclopoida) em macrófitas nativas e consumo de insetos (50% da dieta, entre eles Ephemeroptera e Chironomidae) e microcrustáceos (45,3% da dieta; principalmente Daphniidae e Bosminidae) nas macrófitas invasoras. Da mesma forma, Crippa et al. (2009) e Santana-Porto e Andrian (2009) classificaram a espécie na categoria zooplânctívoros, devido o predomínio de microcrustáceos em sua dieta, como Cladocera e Copepoda.

Por outro lado, Casatti et al. (2003) verificaram uma predominância no consumo de larvas de dípteros (Tipulidae e Chironomidae), Copepoda e Cladocera (Chydoridae e Daphniidae) em *H. eques* coletados na estação seca no reservatório Rosana do rio Paranapanema, e maior consumo de Copepoda, Cladocera e Ostracoda na estação das chuvas, além da presença de parasitas nematódeos em alguns animais. Fiori et al. (2016) também observaram prevalência no consumo de invertebrados aquáticos (Chironomidae) em uma lagoa e detritos e escamas de peixes em outra lagoa, ambas localizadas no rio Miranda (Pantanal do Mato Grosso do Sul). Carniatto et al. (2014) após avaliarem a composição da dieta de espécies de peixes que habitavam dois tipos diferentes de macrófitas no Alto rio Paraná, concluíram que a dieta de *H. eques* consistia predominantemente de invertebrados aquáticos, como insetos Ephemeroptera, na macrófita *Hydrophy verticillata* e larvas de dípteros e Ephemeroptera, na

macrófita *Egeria najas*. Sendo assim, devido à grande preferência de *H. eques* por zooplânctons, principalmente microcrustáceos e/ou larvas de insetos, esses alimentos poderiam ser incorporados na dieta desses animais durante a criação em cativeiro.

Com relação ao comportamento alimentar de *H. eques*, a espécie tem atividade diurna, além de ser conhecida como forrageira oportunista, por permanecer ao fundo dos habitats empurrando constantemente os substratos contra as raízes de macrófitas para capturar pequenas presas (Casatti et al. 2003; Carvalho & Del-Claro 2004; Pelicice & Agostinho 2006). Diante das observações, considerar as características naturais da espécie para adequação do manejo em cativeiro será certamente muito importante. Assim, o oferecimento do alimento sempre em períodos diurnos parece ser o mais adequado e colaborariam para o melhor aproveitamento por parte dos animais. Com relação ao melhor bem-estar dos animais, a presença de macrófitas ou plantas artificiais no cultivo representariam uma boa alternativa. Para tanto, há a necessidade da confirmação dessas hipóteses por meio de experimentos científicos, os quais poderiam comprovar a viabilidade delas para a produção.

Sob condições de criação em cativeiro os peixes ornamentais normalmente são alimentados apenas com ração, necessitando do complementado com carotenóide, pois são incapazes de sintetizá-los (Wang et al. 2006). Em três estudos foram avaliados a suplementação dos carotenóides sintéticos Astaxantina e β -caroteno para *H. eques* (Wang et al. 2006; Pan et al. 2010; Pan et al. 2011). Já na pesquisa de Berchielli-Morais et al. (2015) os autores se basearam na ausência de informações disponíveis sobre o uso de dieta mista e comida viva para peixes ornamentais nativas do Brasil, e avaliaram o consumo de dieta, ou dieta com microalgas (*Ankistrodesmus gracilis* e/ou *Haematococcus pluvialis*), além de zooplâncton e zooplâncton com microalgas para *H. eques*, por fornecerem energia e nutrientes essenciais, como os carotenóides naturais para os peixes.

A principal função dos carotenóides sintéticos ou naturais está relacionada a pigmentação dos animais (Pan et al. 2011), porém infelizmente no cultivo de diversas espécies os piscicultores ainda não foram capazes de criar uma dieta ideal para melhorar a coloração dos peixes (Berchielli-Morais et al. 2015), comprometendo assim a comercialização, pois um dos principais critérios de qualidade que determinam o valor dos peixes ornamentais no mercado é a beleza, determinada em grande parte pela coloração (Wang et al. 2006; Pan et al. 2010; Berchielli-Morais et al. 2015). Entretanto, estes compostos também já provaram colaborar para uma proteção mais eficaz da espécie *H. eques* com aumento da capacidade antioxidante (Wang et al. 2006) e resistência dos animais sob condições estressoras causadas por amônia (Pan et al. 2011) ou por hipóxia durante o transporte, com redução do oxigênio dissolvido de 6,5 para 1,0

mg/L (Pan et al. 2010). Além disso, tanto na pesquisa de Wang et al. (2006) quanto na de Pan et al. (2011), os autores constataram que após a suplementação os animais converteram β -caroteno da dieta em Astaxantina corporal para armazenamento, fato que poderá tornar as dietas para esta espécie mais econômica, pois o Astaxantina sintética tem maior valor comercial do que o β -caroteno, sem exercerem efeitos negativos sobre a sobrevivência ou crescimento dos animais.

Por outro lado, de acordo com Berchielli-Morais et al. (2015) *H. eques* que receberam dieta, dieta com microalgas (*Ankistrodesmus gracilis* e/ou *Haematococcus pluvialis*) ou zooplâncton e zooplâncton com microalgas obtiveram resultados satisfatórios sobre a pigmentação em todos os grupos, sem ocorrência de mortalidades. Em relação ao dos crescimento dos animais, os grupos que receberam apenas a dieta artificial, ou com adição de microalgas resultaram em maior ganho de peso e comprimento total, provavelmente devido menor tempo e energia necessários para que os peixes possam ingerir as dietas prontamente disponíveis, quando comparado a ingestão do mesmo volume de zooplâncton, pois o teor de proteína bruta da dieta (com ou sem microalgas) foi semelhante ao do zooplâncton, o qual variou de 30% a 54% (Microcrustáceos - Copepoda). Demonstrando que a espécie responde positivamente a suplementação com microalgas associadas à ração, representando uma boa ferramenta a ser executada com sucesso na criação em cativeiro de *H. eques*.

Assim, é possível observar que o principal foco dos estudos acima citados foi para a avaliação dos efeitos dos aditivos sobre a coloração. Nesse aspecto, nota-se a ausência de estudos avaliando as exigências nutricionais e manejos alimentares, além de alternativas alimentares que possam colaborar para uma melhor produtividade e saúde para a espécie *H. eques*, em vista dos desafios atribuídos por meio da criação em cativeiro. Frente a essa questão, determinadas estratégias já ganharam destaque na aquicultura, como a suplementação com as β -glucanas, por serem consideradas atualmente como um dos aditivos mais promissores na produção aquícola (Kühlwein et al. 2014; Salah et al. 2017), em virtude do benefício sobre a saúde e bem-estar dos animais (Del Rio-Zaragoza et al. 2011, Chagas et al. 2013, Liranço et al. 2013; Kühlwein et al. 2014; Huu et al. 2016; Kiron et al., 2016; Dawood et al. 2017a; Dawood et al. 2017b; Pilarski et al. 2017; Jung-Schroers et al. 2018). No entanto, são escassas as pesquisas com a suplementação deste aditivo em peixes nativos da América do Sul (Chagas et al. 2013), principalmente em peixes ornamentais (Abreu et al. 2014).

Aspectos relacionados ao cultivo de *H. eques* não contemplados na literatura

Com relação as lacunas de informações sobre aspectos relacionados ao cultivo que poderiam potencializar a produção de *H. eques*, há ausências de estudos na nutrição, tanto na determinação da exigência nutricional específica da espécie, quanto adequação dos manejos, como frequências, períodos e níveis de alimentação. Sobre o desenvolvimento da espécie, ainda não há consenso em relação a duração de cada fase, como também quais as condições de manejo mais adequadas para cada uma delas. No aspecto sanitário, ainda não foram realizadas pesquisas experimentais que tenham comparado e determinado qual melhor agente profilático, principalmente no combate dos patógenos já identificados na espécie. Portanto, existem diversas oportunidades para o enriquecimento de estudos científicos e que poderão colaborar para a criação em cativeiro da espécie *H. eques*.

Conclusão

Mais de 20 anos de pesquisas publicadas sobre o peixe ornamental *Hyphessobrycon eques* foram verificadas e compiladas pela primeira vez na presente revisão sistemática de literatura. Entretanto, há também apontamentos importantes relacionados às carências de conhecimentos sobre este peixe promissor, principalmente em estudos relacionados ao desenvolvimento, sanidade, nutrição e manejo no cultivo da espécie. Dessa forma, foi possível interligar informações fundamentais para auxiliar na criação em cativeiro da espécie, possibilitando também um melhor direcionamento para que futuras pesquisas possam enriquecer e colaborar com novos conhecimentos sobre o peixe *H. eques*.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

Abe FR, Machado AA, Coleone AC, Cruz C, Machado-Neto JG (2019) Toxicity of Diflubenzuron and Temephos on Freshwater Fishes: Ecotoxicological Assays with

Oreochromis niloticus and *Hyphessobrycon eques*. *Water, Air, & Soil Pollution* **230**: 1-10.

Acosta A, Silva R (2015) First record of *Hysterothylacium* sp. Moravec, Kohn et Fernandes, 1993 larvae (Nematoda: Anisakidae) infecting the ornamental fish *Hyphessobrycon eques* Steindachner, 1882 (Characiformes, Characidae). *Brazilian Journal of Biology* **75**: 638-642.

Aguinaga JY, Claudiano GS, Marcusso PF, Ikefuti C, Ortega GG, Eto SF et al. (2014) Acute Toxicity and Determination of the Active Constituents of Aqueous Extract of *Uncaria tomentosa* Bark in *Hyphessobrycon eques*. *Journal of Toxicology* 1-5. doi: 10.1155/2014/412437

Anjos HDB, Anjos CR (2006) Biologia reprodutiva e desenvolvimento embrionário e larval do cardinal tetra, *Paracheirodon axelrodi* schultz, 1956 (Characiformes: Characidae), em laboratório. *B. Inst. Pesca* **32**: 151-160.

Andrade VXL, Campos FFS, Langeani F, Romagosa E (2008) Reproductive dynamics of the main species of fish in the municipal reservoir of São José do Rio Preto. *Boletim do Instituto de Pesca* **34**: 365-373.

Berchielli-Morais FA, Fernandes JBK, Sipaúba-Tavares LH (2015) Diets supplemented with microalgal biomass: effects on growth, survival and colouration of ornamental fish *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882). *Aquaculture Research* **47**: 3061-3069.

Carniatio N, Fugli R, Thomaz SM, Cunha ER (2014) The invasive submerged macrophyte *Hydrilla verticillata* as a foraging habitat for small-sized fish. *Natureza & Conservação* **12**: 30-35.

Carniatio N, Cunha ER, Thomaz SM, Quirino BA, Fugli R, (2020) Feeding of fish inhabiting native and non-native macrophyte stands in a Neotropical reservoir. *Hydrobiologia* doi:10.1007/s10750-020-04212-2

Carraschi SP, Cubo P, Schiavetti BL, Shiogiri NS, Cruz CD, Pitelli RA (2011) Efeitos tóxicos de surfactantes fitossanitários para o peixe mato grosso (*Hyphessobrycon eques*). *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **33**: 191-196.

Carraschi SP, Florêncio T, Garlich N, Silva AF, Marques AM, Cruz C et al. (2015) Ecotoxicology of drugs used in fish disease treatment. *Journal of Environmental Chemistry*

and *Ecotoxicology* **7**: 31-36.

Carvalho LN, Del-Claro K (2004) Effects of predation pressure on the feeding behaviour of the serpa tetra *Hyphessobrycon eques* (Ostariophysi, Characidae). *Acta Ethologica* **7**: p. 89-93.

Casatti L, Mendes HF, Ferreira KM (2003) Aquatic macrophytes as feeding site for small fishes in the Rosana Reservoir, Paranapanema River, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology* **63**: 213-222.

Çelik P, Cirik Ş (2019) Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). *Aquaculture Research* **51**: 1-15.

Cohen J (1960) A coefficient of agreement of nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* **20** : 37-46.

Cole B, Haring M (1999) Spawning and Production of the Serpae Tetra, *Hyphessobrycon serpae*. Sea Grand Extension service, School of ocean and Earth Science and Technology. Center for Tropical and Subtropical. *Aquaculture Publication* **138**: 1-7.

Costa-Silva GJ, Ashikaga FY, Dias CKS, Pereira LHG, Foresti F, Oliveira C (2018) DNA barcoding techniques used to identify the shared ichthyofauna between the Pantanal floodplain and Upper Parana River. *Mitochondrial DNA Part A* **29**: 1063-1072.

Crippa VEL, Hahn NS, Fugii R (2009) Food resource used by small-sized fish in macrophyte patches in ponds of the upper Paraná river floodplain. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **31**: 119-125.

Dagosta FCP, Marinho MMF, Camelier P, Lima FCT (2016) A New Species of *Hyphessobrycon* (Characiformes: Characidae) from the Upper Rio Juruena Basin, Central Brazil, with a Redescription of *H. cyanotaenia*. *Copeia* **104**: 250-259.

Datovo A, Castro RMC (2012) Anatomy and evolution of the mandibular, hyopalatine, and opercular muscles in characiform fishes (Teleostei: Ostariophysi). *Zoology* **115**: 84-116.

Esguícero ALH, Arcifa MS (2010) Which is the best environment for the development of the early life stages of fish during the dry season?. *Acta Limnologica Brasiliensia* **22**: 267-275.

- Fiori LF, Alves GHZ, Hahn NS, Benedito E (2016) Influence of feeding plasticity on the fitness of small Neotropical characids. *Iheringia Série Zoologia* **106**: 1-6.
- Fugimoto RY, Almeida ES, Diniz DG, Eiras JC, Martins ML (2013) First occurrence of *Quadrigyrus nickoli* (Acanthocephala) in the ornamental fish *Hyphessobrycon eques*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* **22**: 110-113.
- Galvão TF, Pansani TSA, Harrad D (2015) Principais itens para relatar Revisões sistemáticas e Meta-análises: A recomendação PRISMA. *Epidemiol. Serv. Saúde* **24**: 335-342.
- Gonçalves CS, Braga FMS (2008) Fish diversity and occurrence in the influence area of the Mogi Guaçu reservoir and oxbow lakes, high Paraná river basin, São Paulo, Brazil. *Biota Neotrop* **8**: 103-114.
- Gonçalves CS, Souza UP, Ferreira FC, Peressin A, Braga FMS (2013) Life-history strategies associated to reproduction of three *Hyphessobrycon* species (Characidae) in lentic environments of upper Paraná River basin. *Acta Limnologica Brasiliensia* **25**: 398-405.
- Gonzalez RJ, Cradeur A, Guinnip M, Mitchell A, Reduta V (2018) South American characids share very similar ionoregulatory characteristics. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **226**: 17-21.
- Javonillo R, Malabarba LR, Weitzman SH, Burns JR (2010) Relationships among major lineages of characid fishes (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes), based on molecular sequence data. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **54**: 498-511.
- Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33**: 159-174.
- Mansano AS, Souza JP, Cancino-Bernardi J, Venturini FP, Marangoni VS, Zucolotto V (2018) Toxicity of copper oxide nanoparticles to Neotropical species *Ceriodaphnia silvestrii* and *Hyphessobrycon eques*. *Environmental Pollution* **243**: 723-733.
- Marcon L, Lopes DS, Mounteer AH, Goulart AMA, Leandro MV, Benjamin LA (2016) Pathological and histometric analysis of the gills of female *Hyphessobrycon eques* (Teleostei:Characidae) exposed to different concentrations of the insecticide Dimilin ®. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **131**: 135-142.

Martinez ERM, Alves AL, Silveira SM, Foresti F, Oliveira C (2012) Cytogenetic analysis in the incertae sedis species *Astyanax altiparanae* Garutti and Britzki, 2000 and *Hyphessobrycon eques* Steindachner, 1882 (Characiformes, Characidae) from the upper Paraná river basin. *CompCytogen* **6**: 41-51.

Miraldo MC, Pecora IL (2018) Efficiency of Brazilian native ornamental fishes as mosquito larvae predators. *Boletim do Instituto de Pesca* **43**: 93-98.

Narciso RB, Oliveira GP, Acosta AA, Silva RJ (2019) Occurrence of *Braga nasuta* Schioedte & Meinert (1881) (Isopoda, Cymoyhoidae) parasitizing the ornamental fish *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882) (Characidae) from a Brazilian river. *Neotropical Helminthology* **13**: 17-23.

Nijman V, Heuts B (2000) Effect of environmental enrichment upon resource holding power in fish in prior residence situations. *Behavioural Processes* **49**: 77-83.

Nunes LT, Morais RA, Longo GO, Sabino J, Floeter SR (2020) Habitat and community structure modulate fish interactions in a neotropical clearwater river. *Neotropical Ichthyology* **18**: 1-19.

Pan CH, Chien YH, Wang YJ (2010) The antioxidant capacity response to hypoxia stress during transportation of characins (*Hyphessobrycon callistus* Boulenger) fed diets supplemented with carotenoids. *Aquaculture Research* **41**: 973-981.

Pan CH, Chien YH, Wang YJ (2011) Antioxidant defence to ammonia stress of characins (*Hyphessobrycon eques* Steindachner) fed diets supplemented with carotenoids. *Aquaculture Nutrition* **17**: 258-266.

Park JM, Kim NR, Han KH, Han JH, Son MH, Cho JK (2014) Spawning Behavior, Egg Development, Larvae and Juvenile Morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) Characidae Fishes. *Dev Reprod* **18**: 241-249.

Paz FPC, Batista JS, Porto JIR (2014) DNA Barcodes of Rosy Tetras and Allied Species (Characiformes: Characidae: *Hyphessobrycon*) from the Brazilian Amazon Basin. *PLoS ONE* **9**: 1-8.

- Pelicice FM, Agostinho AA (2005) Perspectives on ornamental fisheries in the upper Paraná River floodplain, Brazil. *Fisheries Research* **72**: 109-119.
- Pelicice FM, Agostinho AA, Thomaz SM (2005) Fish assemblages associated with *Egeria* in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica* **27**: 9-16.
- Pelicice FM, Agostinho AA (2006) Feeding ecology of fishes associated with *Egeria* spp. patches in a tropical reservoir, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish* **15**: 10-19.
- Penha J, Mateus L, Lobón-Cerviá J, Penha J, Mateus L, Lobón-Cerviá J (2014) Population regulation in a Neotropical seasonal wetland fish. *Environmental Biology of Fishes* **98**: 1023-1034.
- Pereira RS, Silva RGA, Morales BF, Souza SS, Hinnah R, Takahashi ELH et al. (2020) Ichthyofauna from tributaries of Urubu and Amazonas rivers, Amazonas State, Brazil. *Biota Neotropica* doi: 10.1590/1676-0611-bn-2019-0839
- Pérez E, Díaz F, Espina S (2003) Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) (Pisces: Cichlidae). *Journal of Thermal Biology* **28**: 531-537.
- Piscor D, Parise-Maltempi PP (2015) First description of B chromosomes in the *Hyphessobrycon* (Characiformes, Characidae) genus: a hypothesis for the extra element of *Hyphessobrycon eques* Steindachner, 1882. *CompCytogen* **9**: 325-333.
- Piscor D, Paiz LM, Baumgärtner L, Cerqueira FJ, Fernandes CA, Lui RL et al. (2020) Chromosomal mapping of repetitive sequences in *Hyphessobrycon eques* (Characiformes, Characidae): a special case of the spreading of 5S rDNA clusters in a genome. *Genetica* doi: 10.1007/s10709-020-00086-3
- Russo R, Curtis EW, Yanong RPE (2007) Preliminary Investigations of Hydrogen Peroxide Treatment of Selected Ornamental Fishes and Efficacy against External Bacteria and Parasites in Green Swordtails. *Journal of Aquatic Animal Health* **19**: 121-127.
- Santana-Porto EA, Andrian IF (2009) Trophic organization the ichthyofauna of two semi-lentic environments in a flood plain on the upper Paraná River, Brazil. *Acta Limnologica*

Brasiliensia **21**: 359-366.

Santana CA, Tondato KK, Suárez YR (2019) Reproductive biology of *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) in Southern Pantanal, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* **79**: 70-79.

Santos MA, Jerônimo GT, Cardoso L, Tancredo KR, Medeiros PB, Ferrarezi JV et al. (2017) Parasitic fauna and histopathology of farmed freshwater ornamental fish in Brazil. *Aquaculture* **470**: 103-109.

Severo-Neto F, Lopes DA, Ferreira A, Martínez BT, Roque FO (2018) Length–weight relations of fishes (Actinopterygii) from karst streams in the Bodoquena Plateau, western Brazil. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* **48**: 419-422.

Shimabukuro-Dias CK, Costa Silva GJ, Ashikaga FY, Foresti F, Oliveira C (2016) Molecular identification of the fish fauna from the pantanal flood plain area in Brazil. *Mitochondrial DNA Part A* **28**: 588-592.

Silva AF, Cruz CD, Rezende FRL, Yamauchi AKF, Pitelli RA (2014) Copper sulfate acute ecotoxicity and environmental risk for tropical fish. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **36**: 377-381.

Silva AF, Carraschi SP, Gírio ACF, Neto AN, Cruz C, Pitelli RA (2015) Ecotoxicity of vinasse for fish tetra-serpae (*Hyphessobrycon eques*) and macrophyte duckweed (*Lemna minor*). *Boletim do Instituto de Pesca* **4**: 557 - 565.

Silva AF, Cruz CD, Garlich N, Cerveira Junior WR, Pitelli RA (2016) Sensitivity of aquatic organisms to ethanol and its potential use as bioindicators. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* **38**: 377-385.

Sotero-Santos RB, Rocha O, Povinelli J (2007) Toxicity of ferric chloride sludge to aquatic organisms. *Chemosphere* **68**: 628-636.

Tavares, I (1997) *Serpae Tetras*, Aquarist and Pondkeeper. *New York* **61**: 38-40.

Teresa FB, Romero RM, Casatti L, Sabino J, Teresa FB, Romero RM et al. (2011) Fish as Indicators of Disturbance in Streams Used for Snorkeling Activities in a Tourist Region. *Environmental Management* **47**: 960-968.

Tondato KK, Suárez YR, Mateus LAF, Vicentin W, Fialho CB (2018) Life history characteristics and recruitment of fish under the effect of different hydrological regimes in a tropical floodplain. *Environmental Biology of Fishes* **101**: 1369-1384.

Weitzman SH, Palmer L (1997) A new species of *Hyphessobrycon* (Teleostei: Characidae) from the Neblina region of Venezuela and Brazil, with comments on the putative 'rosy tetra clade'. *Ichthyological Exploration of Freshwaters* **7**: 209-242.

Weitzman SH, Palmer L (1998) Phantom Tetras, a Brief Account of their Ichthyological and Aquarium History. *Tropical Fish Hobbyist* **43**: 124-132.

5. ARTIGO B (*Aquaculture International*)

Inclusion of β -1,3/1,6-glucan in the diet of *Hyphessobrycon eques* and its effects on growth, blood glucose and intestinal histology

Inclusão de β -1,3/1,6-glucana na dieta de *Hyphessobrycon eques* e seus efeitos sobre o crescimento, glicose sanguínea e histologia intestinal

Resumo

A busca por alternativas que favoreçam a melhor produtividade, saúde e bem-estar animal fez com que determinadas estratégias alimentares ganhassem destaque na aquicultura. Neste estudo foram avaliados os efeitos da β -1,3/1,6-glucana em diferentes níveis (0,0, 0,5, 1,0 e 2,0 g/kg) na dieta de *Hyphessobrycon eques*, após 42 dias de alimentação. Foram avaliados os parâmetros de desempenho (peso final, ganho de peso, consumo médio de ração, conversão alimentar, comprimento total, comprimento padrão, taxa de crescimento específico, fator de condição e taxa de sobrevivência), além da concentração da glicose plasmática e da análise histológica da porção proximal do intestino dos animais (contagem do número de células caliciformes, mensuração da largura e altura das vilosidades, da profundidade das criptas, da altura dos enterócitos e da espessura da camada muscular). Os diferentes níveis do aditivo não influenciaram o desempenho dos peixes. Da mesma forma, não houve influência sobre a concentração da glicose plasmática e na morfometria intestinal dos animais. Por outro lado, os resultados demonstraram que 2,0 g/kg da β -1,3/1,6-glucana proporcionou maior abundância das células caliciformes secretoras de mucos ácidos e neutros, presentes no epitélio, apresentando diferenças significativas ($P < 0.05$) quando comparado aos animais do grupo controle, o que pode representar uma melhor proteção do epitélio intestinal de *Hyphessobrycon eques*.

Palavras-chave: Aditivos aquícolas. Células Caliciformes. Peixe ornamental. Histologia intestinal. Mato Grosso.

Abstract

The search for alternatives that favor better productivity, health and animal welfare has made certain feeding strategies gain prominence in aquaculture. In this study, the effects of β -1,3/1,6-glucan at different levels (0.0, 0.5, 1.0 and 2.0 g/kg) on the *Hyphessobrycon eques* diet were evaluated after 42 days of feeding. Performance parameters (final weight, weight gain, average feed intake, feed conversion, total length, standard length, specific growth rate, condition factor and survival rate), in addition to plasma glucose concentration and histological analysis of the proximal portion of the intestine of the animals (counting the number of goblet cells, measuring the width and height of the villi, depth of the crypts, height of the enterocytes and the thickness of the muscle layer). The different levels of the additive did not influence the performance of the fish. Likewise, there was no influence on the plasma glucose concentration and

intestinal morphometric of the animals. On the other hand, the results showed that 2.0 g/kg of β -1,3/1,6-glucan provided a greater abundance of goblet cells secreting acidic and neutral mucus, present in the epithelium, showing significant differences ($P < 0.05$) when compared to animals in the control group, which may represent better protection of the intestinal epithelium of *Hyphessobrycon eques*.

Keywords: Aquaculture additives. Goblet cells. Intestinal histology. Jewel Tetra. Ornamental fish.

Introdução

Atualmente, a criação de peixes ornamentais já é considerada o segundo *hobby* mais popular do mundo (OFI 2020) e a população destes animais é a mais representativa do mercado pet mundial (Abinpet 2017). Devido as boas características continentais, climas favoráveis e diversos *habitats*, o Brasil detém uma das maiores biodiversidades de peixes ornamentais do mundo (Mesquita and Isaac-nahum 2015), com importantes espécies dulcícolas, como *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882).

Nativo das bacias hidrográficas Amazônica, Guaporé e Paraguai (Weitzman and Palmer 1998), *H. eques* pertence à ordem Characiformes, família Characidae (Tavares 1997) e é conhecido mundialmente como “Serpae tetra” (Çelik and Cirik 2019), “Jewel tetra” (Aguinaga et al. 2014; Fugimoto et al. 2013) e “Mato grosso” no Brasil (Santana al. 2019). Além disso, a espécie tem grande destaque no mercado aquícola ornamental mundial, devido à sua beleza, tamanho pequeno, fácil manejo e valor econômico (Park et al. 2014; Berchiellimorais et al. 2015; Çelik and Cirik 2019; Santana et al. 2019).

Diante desse cenário, a busca por alternativas que favoreçam uma melhor produtividade e saúde animal fez com que determinadas estratégias alimentares ganhassem destaque na aquicultura (Vetvicka et al. 2013; Stevens et al. 2017), como a suplementação com β -glucanas, consideradas atualmente entre os aditivos mais promissores na aquicultura (Meena et al. 2013; Kühlwein et al. 2014; Salah et al. 2017). Essas moléculas de polissacarídeos naturais (Zekovic et al. 2005) são conhecidas como "modificadoras da resposta biológica" (Vetvicka et al. 2013), por potencializarem a resposta imune dos animais após serem reconhecidas por receptores celulares específicos (Marel et al. 2012; Kiron et al. 2016; Pilarski et al. 2017).

Em peixes, a β -glucana já provou favorecer a saúde e bem-estar dos animais, exercendo efeitos positivos sobre mecanismos específicos de defesa imunológica, melhorando a capacidade de defesa contra patógenos (Del Rio-Zaragoza et al. 2011; Chagas et al. 2013;

Kiron et al., 2016), contribuindo também para o melhor desempenho no crescimento (Dawood et al. 2017b; Huu et al. 2016) e na concentração plasmática da glicose, considerada um bom indicador de estresse em peixes (Dawood et al. 2017a; Pilarski et al. 2017). Além disso, pesquisas já demonstraram que a β -glucana é capaz de modular a saúde intestinal desses animais, atuando de forma específica na expressão de genes que atuam diretamente na histologia intestinal (Kiron et al. 2016), colaborando para uma maior superfície de absorção intestinal, e assim maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes (Lirango et al. 2013) e influenciando também a expressão de genes de componentes do muco presente na pele, brânquias e intestinos dos peixes (Marel et al. 2012), proporcionando maior proteção contra infecções (Jung-Schroers et al. 2018), sem causar efeitos prejudiciais nos indicadores de saúde e morfologia intestinal dos peixes (Kühlwein et al. 2014).

Apesar dos diversos benefícios já identificados com a utilização da β -glucana, seus efeitos ainda são variáveis, dependentes não somente da espécie, como também do tipo e fonte do aditivo (Pilarski et al. 2017), concentração utilizada e período de suplementação (Salah et al. 2017). Além do mais, são escassas as pesquisas com a suplementação deste aditivo em peixes sul americanos (Chagas et al. 2013), e mais raros considerando peixes ornamentais (Abreu et al. 2014). Não há relatos de pesquisas avaliando os efeitos da β -glucana em *H. eques*. Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito da inclusão dietética de diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana para o peixe ornamental *H. eques* sobre parâmetros de desempenho, glicose plasmática, composição histológica e morfometria da porção proximal do intestino dessa espécie.

Materiais e métodos

Material biológico

O presente estudo foi aprovado pela comissão de ética no uso de animais da Universidade Estadual de Londrina sob o n° de protocolo CEUA n° 7922.2018.18. Foram utilizados 180 peixes ornamentais Mato Grosso (*Hyphessobrycon eques*, Steindachner 1882), com peso inicial de $0,43 \pm 0,03$ g.

Os peixes foram adquiridos de um fornecedor local e levados para o laboratório do Núcleo de Estudo e Pesquisa em Aquicultura e Genética (NEPAG) da Universidade Estadual de Londrina (UEL). O transporte foi realizado em sacos plásticos (2/3 do volume preenchidos com água e 1/3 preenchidos com oxigênio), os quais foram mantidos por 30 minutos imersos nos aquários experimentais, para evitar choque térmico nos animais.

Condições experimentais

Os animais foram mantidos por um período de aclimação de duas semanas. Posteriormente, eles foram distribuídos aleatoriamente em 12 aquários, por meio de um delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro grupos com diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana, três aquários para cada nível, sendo 15 peixes por aquário, totalizando 45 peixes por nível do aditivo testado. Os aquários possuíam capacidade total de 42 L, mas foram preenchidos com 40L de água. A temperatura permaneceu constante, por meio de um aquecedor de ambiente ($27\sim 28^\circ$), o fotoperíodo foi mantido controlado (12h claro/12h escuro) e aeração foi colocada individualmente para cada aquário.

Para manutenção da qualidade da água, os aquários foram filtrados individualmente, por meio da sifonagem diária (30% do volume total de água) retirando as fezes e restos de alimentos acumulados no fundo dos aquários. Os parâmetros da qualidade da água foram mensurados diariamente, assim foi verificada a temperatura ($27,73 \pm 0,07^\circ\text{C}$), o oxigênio dissolvido ($7,87 \pm 0,05\text{ mg/L}$) (Hanna Instruments, Barueri, SP, Brazil) e o pH ($6,86 \pm 0,01$) (Akso, São Leopoldo, RS, Brasil). Os índices de amônia foram monitorados duas vezes por semana ($0,01 \pm 0,01\text{ ppm}$) (teste colorimétrico Labcon - Alcon, Camboriú, SC, Brasil).

Foi fornecida uma ração comercial da Nutricon (Araçoiaba da Serra, São Paulo – Brasil), específica para peixes ornamentais em crescimento e livre de aditivos que pudessem influenciar os efeitos da β -1,3/1,6-glucana (Tabela 1). Posteriormente, foi realizada a inclusão da β -1,3/1,6-glucana na ração, por meio da sua diluição em água destilada e homogeneizada, sendo distribuída uniformemente sobre a ração. A fixação do aditivo foi garantida com a adição de 40 ml de aditivo aglutinante (Vansil Saúde Animal, Descalvado, São Paulo, Brasil), o qual foi igualmente distribuído de forma uniforme a cada quilo de ração. Desta forma, a incorporação da β -1,3/1,6-glucana (MacroGard, Biorigin – Lençóis Paulista/Brasil) foi realizada nas seguintes dosagens: 0,5g, 1,0g e 2,0g por quilo de ração para compor as dietas, além da dieta controle (0,0g do aditivo). Após a adição da β -1,3/1,6-glucana e do aglutinante, as rações foram mantidas em temperatura ambiente sob ventilação por 24 horas. O mesmo procedimento foi realizado com a ração controle, porém, sem β -1,3/1,6-glucana. Os peixes foram alimentados até a aparente saciedade duas vezes ao dia (às 09:00 e às 16:00), tanto no período de aclimação quanto no período experimental de 42 dias.

Tabela 1 – Níveis de garantia da ração comercial utilizada

Item	(%)	Ração Comercial (g/kg)
Umidade	(Máx.)	120
Proteína Bruta	(Mín.)	380
Extrato Etéreo	(Mín.)	35
Matéria Mineral	(Máx.)	120
Matéria Fibrosa	(Máx.)	25
Cálcio	(Máx.)	25
Cálcio	(Mín.)	7
Fósforo (mg/kg)	(Mín.)	6.300

Composição: Farinha de salmão, farelo de soja, fubá de milho, isolado proteico de soja, farelo de trigo, quireira de arroz, proteína hidrolisada de aves, glúten de milho 60%, glúten de trigo, flavorizante, suplemento vitamínico e mineral, óleo de peixe, óleo de soja, L-lisina, L-treonina, DL-metionina, fungistático (ácido propiônico), adsorvente de micotoxina e antioxidantes (BHA, BHT, etoxiquin, ácido cítrico).

Fonte: Nutricon.

Análise dos parâmetros de desempenho de *H. eques*

Ao final do experimento, os peixes permaneceram em jejum por 36 horas, e posteriormente foram anestesiados com Benzocaína (0,1 g/mL de álcool 96°C em 10 L de água) para avaliação do desempenho por meio da mensuração dos parâmetros zootécnicos. As variáveis medidas foram: peso final (PF); comprimento total (CT); comprimento padrão (CP); consumo médio da ração (CMR) e taxa de sobrevivência (SOBREV = $[\text{n}^\circ \text{ final de peixes vivos} / \text{n}^\circ \text{ inicial de peixes}] \times 100$). A partir delas foram calculados: ganho de peso (GP= peso final-peso inicial); conversão alimentar (CA= CR/GP total); taxa de crescimento específico (TCE= $[(\text{Ln PF} - \text{Ln PI}) / \text{período experimental}] \times 100$) e fator de condição (K= PF (g) / CP (cm)³ X 100), conforme metodologia descrita por Dawood et al. (2017a).

Análise da concentração da glicose plasmática de *H. eques*

Para a avaliação da concentração da glicose plasmática foram utilizados 12 animais por dieta (quatro por aquário). Primeiramente, os peixes previamente anestesiados foram submetidos a eutanásia através de exsanguinação, e com esse fim, o pedúnculo caudal de cada

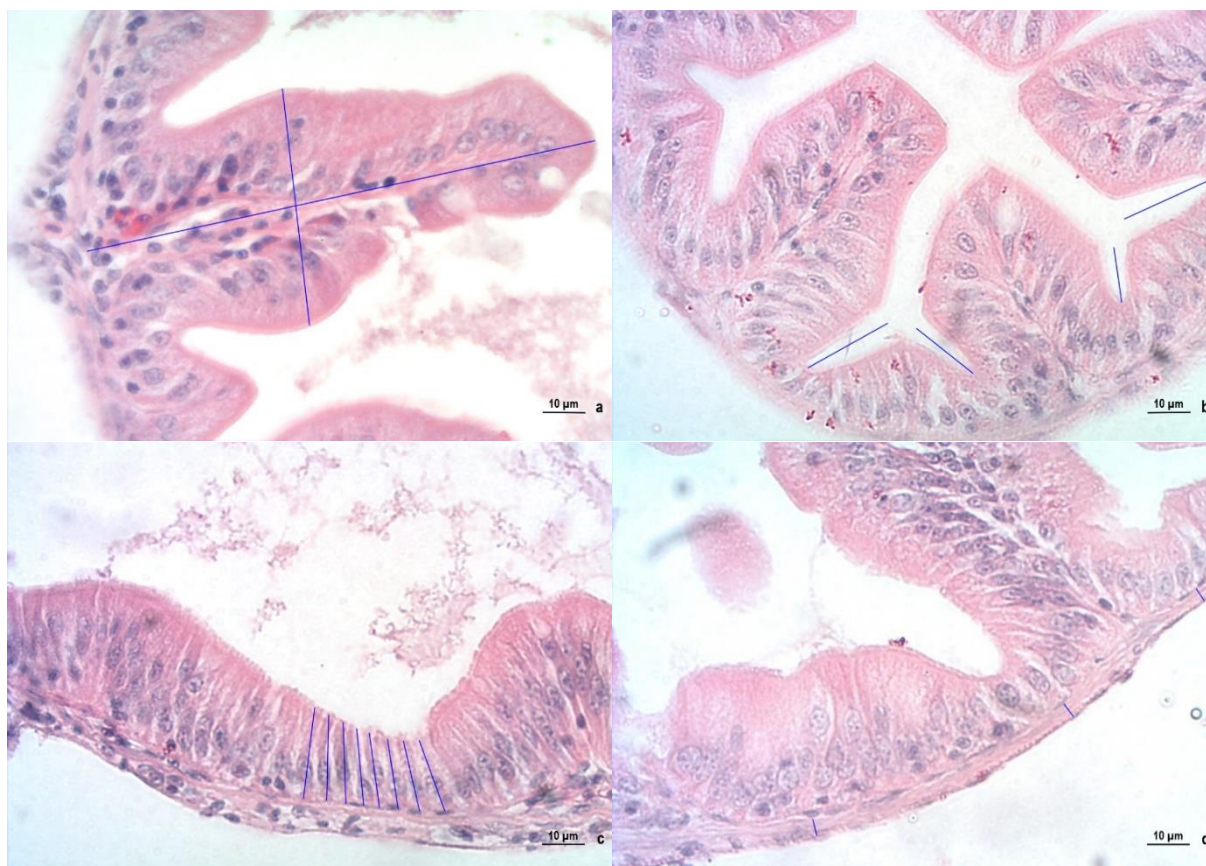
peixe foi cortado com bisturi. Então, o sangue resultante foi colocado na tira de teste, aderida ao aparelho glicosímetro (FreeStyle Optium Neo), para leitura da glicemia de cada animal.

Morfometria e contagem de células caliciformes do intestino proximal de *H. eques*

A análise histológica do intestino proximal foi realizada em nove animais por dieta (três por aquário). Após a abertura da cavidade celomática dos peixes eutanasiados, o intestino proximal foi identificado, seccionado com tesoura oftálmica, colocado sob uma placa de petri, lavado com solução fisiológica e fixado em Solução de Bouin (Cullin et al. 1985), por seis horas. Posteriormente, eles passaram por lavagem em álcool 70% (três vezes cada), para retirada do excesso de fixador, permanecendo no álcool até o momento da inclusão, para conservação do material. As amostras foram submetidas a desidratação seriada de etanol, diafanizadas e impregnadas em estufa a 60°C, com posterior inclusão em parafina (três amostras intestinais por dieta, totalizando três blocos cada). Os blocos obtidos foram seccionados (micrótomo Leica RM2265) em cortes de 6 µm de espessura e dispostos em lâminas histológicas contendo, cada qual, cortes da região anterior intestinal dos animais.

Os cortes foram corados com Hematoxilina- Eosina (HE), *Periodic Acid-Schiff* (PAS), *Alcian Blue* pH 1,0 (AB1,0) e *Alcian Blue* pH 2,5 (AB2,5). Nas técnicas de PAS, AB1,0 e AB2,5, realizou-se contra-coloração com hematoxilina. Os materiais corados com a técnica HE foram utilizados para as análises morfométricas da porção proximal do intestino de *H. eques* (Figura 1), por meio das quais foram mensuradas a largura (VL) e altura (VA) das vilosidades (15 medidas por lâmina) (Figura 1a), a profundidade das criptas (CP) (15 medidas por lâminas) (Figura 1b), a altura dos enterócitos (EA) (100 medidas por lâmina) (Figura 2c) e a espessura da camada muscular (CME) (30 medidas por lâmina) (Figura 1d), todos padronizados com objetiva de 40x.

Figura 1 Corte longitudinal do Intestino proximal de *Hyphessobrycon eques* com as morfometrias. HE. obj.40x



a) Largura e altura das vilosidades; b) Profundidade das criptas; c) Altura dos enterócitos; d) Espessura da camada muscular.

Nos materiais corados com as técnicas histoquímicas para detecção de mucinas secretadas por células caliciformes, foi quantificado o número de células caliciformes marcadas por PAS (mucinas neutras), AB pH 1,0 (mucinas ácidas sulfatadas: sulfomucinas) e AB pH 2,5 (mucinas ácidas não sulfatadas: sialomucinas), presentes num intervalo de 500 enterócitos por lâmina e visualizadas com a objetiva de 100x. A captura das imagens foi com câmera digital (Moticam 2500. 5.0 Megapixel / USB 2.0), acoplada ao microscópio óptico (Axiophot Zeiss Axiophot). Posteriormente, as imagens foram analisadas no programa Motic Images Plus 3.0.

Análise dos Dados

Para as análises estatísticas utilizou-se o software estatístico R (versão 3.1.1, 2016). Após a confirmação da homogeneidade da variância e normalidade dos resíduos, os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando significativos à análise de regressão, estabelecendo-se um nível de significância de 5%.

Resultados

A inclusão dos diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana na dieta de *H. eques* não exerceram efeitos significativos ($P > 0,05$) sobre os parâmetros de desempenho e concentração da glicose plasmática (Tabela 2). Além disso, também não foram observadas mortalidades dos peixes durante o período experimental.

Tabela 2 – Valores médios (\pm DP) dos parâmetros de desempenho e da concentração da glicose plasmática de *Hyphessobrycon eques*, alimentados com dietas contendo diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana

Parâmetros	Níveis de β -1,3/1,6-glucana				P-value	
	0,0 g/kg	0,5 g/kg	1,0 g/kg	2,0 g/kg	Linear	Quadrática
PI (g)	0,43 \pm 0,010	0,43 \pm 0,060	0,42 \pm 0,012	0,42 \pm 0,044	0,743	1,000
PF (g)	0,63 \pm 0,046	0,60 \pm 0,036	0,58 \pm 0,025	0,61 \pm 0,015	0,301	0,150
GP (g)	0,20 \pm 0,036	0,18 \pm 0,038	0,15 \pm 0,040	0,19 \pm 0,050	0,532	0,223
CMR (g)	0,44 \pm 0,036	0,41 \pm 0,023	0,38 \pm 0,038	0,39 \pm 0,025	0,068	0,339
CA (g)	2,21 \pm 0,203	2,46 \pm 0,542	2,66 \pm 0,437	2,16 \pm 0,410	0,962	0,159
CT (cm)	3,40 \pm 0,051	3,37 \pm 0,122	3,33 \pm 0,035	3,37 \pm 0,021	0,487	0,364
CP (cm)	2,89 \pm 0,040	2,85 \pm 0,087	2,82 \pm 0,036	2,84 \pm 0,031	0,272	0,387
TCE	0,92 \pm 0,119	0,82 \pm 0,241	0,71 \pm 0,171	0,89 \pm 0,266	0,714	0,293
FC	2,66 \pm 0,142	2,59 \pm 0,057	2,62 \pm 0,021	2,68 \pm 0,049	0,712	0,235
SOBREV (%)	100	100	100	100	-	-
CGP (mg/dL)	81,80 \pm 30,847	75,33 \pm 23,994	85,00 \pm 23,580	81,00 \pm 20,955	0,801	0,883

Peso inicial (PI), peso final (PF), ganho de peso (GP), consumo médio de ração (CMR), conversão alimentar (CA), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), taxa de crescimento específica (TCE); fator de condição (FC), sobrevivência (SOBREV) e concentração da glicose plasmática (CGP). Médias não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$).

As mensurações histológicas da porção proximal do intestino de *H. eques* como largura (VL) e altura (VA) das vilosidades, profundidade das criptas (CP), altura dos enterócitos (EA) e espessura da camada muscular (CME) (Tabela 3) não foram influenciadas pela adição dos diferentes níveis da β -1,3/1,6-glucana na dieta de *H. eques* ($P > 0,05$).

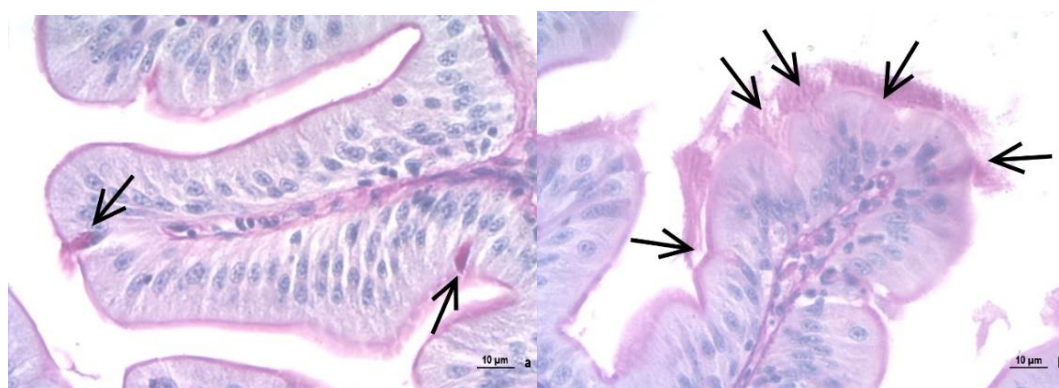
Tabela 3 – Valores médios (\pm DP) mensurados das vilosidades, profundidade das criptas, enterócitos e camadas musculares, obtidos em cortes longitudinais do intestino proximal de *Hyphessobrycon eques* suplementados com diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana

Técnica	Níveis de β -1,3/1,6-glucana				P-value	
	0,0 g/kg	0,5 g/kg	1,0 g/kg	2,0 g/kg	Linear	Quadrática
VL (μm)	66,75 \pm 12,810	69,69 \pm 0,203	70,24 \pm 5,047	74,67 \pm 6,361	0,250	0,869
VA (μm)	110,77 \pm 16,826	119,21 \pm 9,187	121,68 \pm 14,709	132,25 \pm 24,615	0,171	0,918
CP (μm)	24,85 \pm 4,996	25,01 \pm 2,488	25,80 \pm 7,774	27,14 \pm 1,154	0,554	0,837
EA (μm)	19,65 \pm 1,804	18,97 \pm 0,540	20,71 \pm 3,110	17,30 \pm 0,946	0,304	0,243
CME (μm)	5,28 \pm 0,182	5,12 \pm 0,891	5,07 \pm 1,710	5,09 \pm 0,776	0,820	0,878

Largura (VL) e altura (VA) das vilosidades; profundidade da cripta (CP); altura dos enterócitos (EA) e espessura da camada muscular (CME). Médias não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$).

Observou-se um número diversificado de células caliciformes de acordo com diferentes concentrações de β -1,3/1,6-glucana na dieta (Figura 2). Para a técnica de PAS, o número de células caliciformes no epitélio intestinal dos animais apresentou efeito linear crescente ($P < 0,05$) conforme aumentou o nível de inclusão de β -1,3/1,6-glucana (Tabela 4). Da mesma maneira utilizando as técnicas AB pH 1,0 e pH 2,5 foi observado um efeito linear crescente ($P < 0,05$) conforme aumentavam os níveis de inclusão de β -1,3/1,6-glucana (Tabela 4).

Figura 2 Corte longitudinal do intestino proximal de *H. eques* com presença de células caliciformes (seta) nas vilosidades, posicionadas entre os enterócitos. PAS, obj.40x



a) Sem o aditivo na dieta (controle); b) 2,0g/kg de β -1,3/1,6-glucana na dieta. Nota-se, principalmente na foto b, liberação de muco no lúmen intestinal por células caliciformes presentes nas vilosidades intestinais.

Tabela 4 – Valores médios (\pm DP) do número de células caliciformes presentes nas vilosidades intestinais de *Hyphessobrycon eques* alimentados com diferentes níveis de β -1,3/1,6-glucana na dieta

Técnica	Níveis de β -1,3/1,6-glucana				P-value	
	0,0 g/kg	0,5 g/kg	1,0 g/kg	2,0 g/kg	Linear	Quadrática
PAS	22,00 \pm 13,115	40,00 \pm 14,526	37,67 \pm 5,132	66,67 \pm 21,939	0,009	0,541
AB1,0	40,67 \pm 5,508	49,33 \pm 8,083	49,33 \pm 11,372	72,67 \pm 9,504	0,003	0,190
AB2,5	50,33 \pm 4,933	62,00 \pm 16,462	61,00 \pm 6,245	95,00 \pm 16,523	0,003	0,155

Periodic Acid-Schiff (PAS), *Alcian Blue* em pH 1,0 (AB1,0), *Alcian Blue* em pH 2,5 (AB2,5).

Efeito Linear: PAS = 8,667+13,167x; AB1,0 = 29,0+9,6x; AB2,5 = 33,83+13,30x.

Discussão

A suplementação com β -1,3/1,6-glucana na dieta do peixe ornamental *H. eques* por 42 dias não exerceu influência sobre os parâmetros de desempenho do crescimento, como peso final, ganho de peso, consumo médio de ração, conversão alimentar, comprimento total, comprimento padrão, taxa de crescimento específico e fator de condição. Corroborando com o nosso estudo, Di Domenico et al. (2017) também não encontraram efeitos sobre o desempenho do crescimento em Jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com ou sem β -glucana em concentrações e período semelhantes ao estudo atual. No entanto, melhorias significativas para ganho de peso, taxa de crescimento específico e eficiência alimentar foram encontradas em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) que receberam 1,0 g/kg e 2,0 g/kg da β -glucana, com os menores valores no grupo controle e com 0,5g/kg do aditivo (JI et al., 2017).

A eficiência da β -glucana sobre o desempenho do crescimento foi demonstrada em outras espécies e com níveis de suplementação semelhantes ao da atual pesquisa, como em esturjão persa (*Acipenser persicus*), quando foram suplementados com 1,0 g/kg, 2,0 g/kg e 3,0 g/kg de β -glucana na dieta (Aramli et al. 2015), e em *Lutjanus peru* após receberem 1,0 g/kg, e 2,0 g/kg de β -1,3/1,6-glucana na dieta (Guzmán-Villanueva et al. 2013). Dessa forma, é possível observar a eficiência da inclusão da β -glucana sobre o crescimento de outras espécies de peixes em circunstâncias semelhantes às empregadas no presente estudo, como período de administração e níveis de inclusão do aditivo, o que não ocorreu para *H. eques*. Entretanto, os efeitos da β -glucana sobre o crescimento dos peixes ainda não estão totalmente compreendidos, como também não está claro porque o desempenho é intensificado em algumas espécies e em outras não.

Os efeitos no crescimento dos peixes também podem estar atrelados às mudanças em outros aspectos, como o período de suplementação (Welker et al. 2012; Liranço et al. 2013; Huu et al. 2016). Diversas pesquisas com níveis de concentração da β -glucana semelhantes ao atual estudo, porém com distintos períodos de administração, relataram melhores resultados sobre o desempenho do crescimento somente em peixes que receberam a dieta com a suplementação do aditivo (Del Rio-Zaragoza et al. 2011; Huu et al. 2016; Ji et al. 2017; Dawood et al. 2017b; Zhu and Wu 2018). De acordo com Huu et al. (2016), os melhores resultados para o crescimento de *Trachinotus ovatus* suplementados com β -glucana foram obtidos aos 14 dias, reduzindo conforme o decorrer do tempo (28, 42 e 56 dias). Por outro lado, Welker et al. (2012) relataram melhor desempenho em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas com β -glucana por 42 dias, quando comparado ao menor período (28 dias). Esses resultados demonstram que há uma grande variação do tempo de administração da β -glucana sobre o crescimento de peixes. Sendo assim, a ausência de efeitos sobre o crescimento de *H. eques* pode estar relacionada ao período de administração do aditivo, no entanto, não é possível desconsiderar que outros fatores também estejam relacionados aos resultados deste parâmetro (Welker et al. 2012; Liranço et al. 2013). Novas pesquisas com períodos de amostragem diversificados demonstrarão se a β -1,3/1,6-glucana é capaz de beneficiar o crescimento da espécie *H. eques* conforme período de administração.

Em relação a ação da β -1,3/1,6-glucana sobre a taxa de sobrevivência, diversos estudos que também não apresentaram diferenças significativas, independentemente da dieta recebida, como na pesquisa realizada com a espécie *Cyprinus carpio* (Kühlwein et al. 2014), *Pagrus major* (Dawood et al. 2017b) e com tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (Liranço et al. 2013). Outras pesquisas obtiveram maior sobrevivência em animais suplementados com β -glucana, sem sofrerem quaisquer desafios (Huu et al. 2018). No entanto, em etapas experimentais em que os peixes foram desafiados, geralmente ocorreu influência do aditivo sobre a redução dos efeitos negativos, resultando em menor mortalidade, seja em desafios com agentes patógenos (Ai et al. 2007; Li et al. 2009; Zhu and Wu 2018), por estresse físico, como diferença na salinidade da água (Huu et al. 2016), ou mesmo em desafios por hipóxia (Souza et al. 2020). Em virtude de maiores taxas da sobrevivência ocorrerem em animais alimentados com a β -glucana após condições desafiadoras, conforme os trabalhos mencionados anteriormente, possivelmente a sobrevivência dos peixes *H. eques* na atual pesquisa se manteve inalterada durante o período experimental devido às boas condições de qualidade de água e à ausência de estresse que seria ocasionado por algum desafio físico, químico ou biológico.

A ausência do estresse nos animais foi também confirmada com a análise da concentração plasmática da glicose, representando um importante indicador para avaliação da resposta ao estresse em peixes, além de ser facilmente detectável nos animais (Silva et al. 2012; Roriz et al. 2015). Em conformidade com a ausência de diferenças estatísticas relacionadas aos valores da concentração glicêmica nos animais da atual pesquisa, Kühlwein et al. (2014) não observaram alterações significativas na concentração da glicose plasmática após 8 semanas de experimento com Carpa espelhada (*Cyprinus carpio* L), alimentadas com ou sem β -glucana e nas mesmas concentrações do presente trabalho. Normalmente, elevadas concentrações de glicose no plasma são indicativos de maior condição de estresse, conforme já demonstrado por outras pesquisas em peixes (Okamura et al. 2007; Eslamloo et al. 2012; Silva et al. 2012; Suphoronski et al. 2019; Souza et al. 2020). Futuros estudos envolvendo condições adversas comuns em pisciculturas e capazes de modular a glicemia sanguínea, como desafios bacterianos (Suphoronski et al. 2019) ou condições de restrição de oxigênio (Souza et al. 2020), poderão elucidar se a β -1,3/1,6-glucana pode atenuar respostas fisiológicas relacionadas ao estresse.

Outro parâmetro analisado se refere às análises morfológicas do intestino proximal dos peixes *H. eques*, com mensurações da camada muscular, vilosidades, enterócitos e profundidade das criptas. Corroborando com a ausência de diferenças nas mensurações analisadas e ausência de alterações estruturais em todas as amostras analisadas dos grupos experimentais, Carpas espelhadas (*Cyprinus carpio* L.) que receberam 1,0 g/kg, 10 g/kg e 20 g/kg de β -1,3/1,6-glucana na dieta durante 56 dias, também não apresentaram alterações morfológicas ou lesões patológicas na área da superfície de absorção intestinal (Kühlwein et al. 2014). Contrariamente, Tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), submetidas a dieta com 1,0 g/kg de mananooligossacarídeo ou 0,3 g/kg de β -glucana por 90 dias, apresentaram aumento significativo nas mensurações da altura e largura das vilosidades quando comparados com a dieta controle, proporcionando uma maior área de absorção na parte anterior do intestino dos animais e uma maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes (Lirango et al. 2013). Por outro lado, em Pacus (*Piaractus mesopotamicus*), a suplementação com β -glucana por 59 dias não exerceu influência sobre as microvilosidades intestinais, (Cerozi et al. (2017). Futuros estudos, com período maior de administração do aditivo, poderão esclarecer se a β -1,3/1,6-glucana é capaz de exercer efeitos sobre a morfologia intestinal de *H. eques*.

Os efeitos da β -glucana sobre a morfologia intestinal em peixes ainda não está totalmente compreendido, como também não está claro quais os fatores determinantes para estes resultados. Sabe-se, no entanto, que o equilíbrio natural entre renovação e a perda das células do intestino é o que proporcionará a renovação celular constante, mantendo a espessura

das vilosidades, a boa integridade da mucosa intestinal e a adequada capacidade digestiva e de absorção intestinal (Ferreira et al. 2014). Desta forma, apesar do aditivo não ter proporcionado aumento nos parâmetros avaliados, ele manteve um adequado equilíbrio celular na morfologia intestinal dos animais, não proporcionando efeitos negativos em relação ao grupo controle. Aliás, a ausência de modificações nas mensurações intestinais também pode ter relação com o desempenho no crescimento da espécie *H. eques*, afinal, nesses parâmetros os resultados se apresentaram igualmente sem diferenças significativas entre os grupos suplementados e o grupo controle.

No atual estudo o aumento da concentração da β -1,3,1,6-glucana na dieta dos peixes *H. eques* proporcionou uma maior presença das células caliciformes no intestino proximal dos animais, as quais são responsáveis pela produção do principal componente do muco, as mucinas. Corroborando com nossa pesquisa, Kiron et al. (2016), após utilizarem a β -1,3/1,6-glucana (*Saccharomyces cerevisiae*) via oral (15 mg/kg de peixe) em Salmão do Atlântico por 7 dias, também observaram maior número de células caliciformes presentes na região distal do intestino dos peixes que receberam esse aditivo. Ainda, Marel et al. (2012) relataram que o uso de β -glucana na dieta por 14 dias exerceu influência na expressão de genes relacionados ao muco de carpas (*Cyprinus carpio* L.), como os genes que codificam a mucina. Por outro lado, Kühlwein et al. (2014), ao investigarem os efeitos da β -glucana em carpas espelhadas por 56 dias, não obtiveram diferenças significativas com relação ao número de células caliciformes nas regiões intestinais dos animais, porém os autores observaram que havia uma tendência para o aumento de células caliciformes no intestino anterior em animais com alta suplementação, o que proporcionaria maior liberação de muco no intestino e melhor defesa dos peixes suplementados.

É importante destacar que é na camada do epitélio intestinal que acontece a primeira barreira física de proteção contra patógenos presentes no lúmen do intestino (Jung-Schoers et al. 2018), principalmente devido ao muco, considerado de grande importância por formar um gel viscoso que protege o epitélio de agressores físicos, químicos e biológicos, impedindo o acesso e a adesão de microrganismos patógenos ao epitélio (Shiraishi et al. 2009). A β -glucana já provou ser um importante imunomodulador em peixes, atuando de forma específica na expressão de genes que podem afetar a estrutura e função de componentes do muco, presente tanto na pele e brânquias, quanto no intestino dos animais, potencializando a barreira física e a defesa contra doenças infecciosas (Marel et al. 2012). Portanto, supõem-se que o maior número de células caliciformes percebida nos peixes suplementados com a β -1,3/1,6-glucana nesta pesquisa, especialmente no grupo que recebeu 2g/Kg do aditivo na dieta, proporcionou uma

maior proteção do epitélio intestinal, potencializando a primeira barreira física de proteção contra patógenos, agressores físicos e químicos presentes no lúmen intestinal dos animais.

Além da variação na quantidade de células caliciformes, também foi observado diferenças relacionadas ao tipo de mucinas secretadas pelas células caliciformes, com maior proporção de células marcadas por AB pH 1,0 e pH 2,5 (mucinas ácidas sulfatadas e ácidas não sulfatadas, respectivamente), em vista da quantidade de células marcadas por PAS (mucinas neutras). Kühlwein et al. (2014) também notaram predominância ácida no muco das células caliciformes de carpas espelhadas que receberam a β -glucana. Ngamkala et al. (2010) após suplementarem por 2 semanas tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com glucana ou *Lactobacillus rhamnosus* e desafia-las com *Aeromonas sp*, não observaram diferenças significativas com relação ao número total de células caliciformes no intestino proximal dos animais, porém, houve diferença no tipo de células, com maior predominância das células caliciformes com secreção de mucinas ácidas antes do desafio, sendo que, após o desafio, foi observado aumento de células secretoras de mucinas de dupla coloração, diferindo dos demais grupos, com menor presença das células com mucinas neutras durante todo período experimental.

De acordo com Shiraishi et al. (2009), mucinas neutras constituem um muco mais denso, com maior capacidade de proteção e lubrificação contra agentes abrasivos e irritantes. Enquanto as mucinas ácidas têm maior eficiência contra agentes patológicos, porque são menos degradadas por bactérias (Deplanke and Gaskins 2001). Sendo assim, os resultados obtidos no presente estudo evidenciaram uma maior produção de mucinas ácidas em animais que receberam o aditivo na dieta, podendo indicar a característica imunomoduladora da β -1,3/1,6-glucana na espécie *H. eques*, o que poderia proporcionar uma maior proteção contra agentes patológicos.

Apesar das diversas pesquisas já realizadas com a β -glucana, ainda existem divergências quanto aos resultados obtidos em diferentes espécies de peixes. Os distintos efeitos sobre o crescimento desses animais não são totalmente compreendidos (Huu et al. 2016), como também são escassas as informações disponíveis sobre a morfofisiologia do sistema digestivo em peixes após a suplementação deste aditivo, especialmente em espécies sul americanas (Ferreira et al. 2014). Além disso, são necessários conhecimentos mais específicos sobre a modulação do sistema imune destas espécies (Chagas et al. 2013) e abordando o mecanismo de ação da β -glucana sobre a produção, secreção e diferenciação do muco intestinal (Ngamkala et al. 2010; Dawood et al. 2017b).

Possivelmente a maior eficácia da β -glucana é dependente dos diferentes métodos de administração, do nível suplementado, período da administração, desafio que o animal está sujeito, ou particularidades intra e interespecífica da espécie escolhida na pesquisa. Assim, é de grande importância a continuidade na realização de pesquisas utilizando β -glucana em espécies, períodos, concentrações e desafios diversificados, para melhor entendimento dos seus efeitos e aproveitamento dos benefícios para os animais. Este é o primeiro estudo na tentativa de determinar os efeitos da β -1,3/1,6-glucana para o peixe *H. eques*, sendo assim, recomenda-se futuras pesquisas para uma melhor compreensão da ação desse aditivo sobre diversos parâmetros desta espécie ornamental.

Conclusão

O presente estudo demonstrou que a inclusão de 2,0 g/kg da β -1,3/1,6-glucana na dieta do peixe ornamental *Hyphessobrycon eques* proporciona maior abundância de células caliciformes, com secreção de mucinas (neutras e ácidas) o que pode possibilitar melhor proteção sobre a superfície do epitélio intestinal. No entanto, a inclusão das concentrações até 2,0 g/kg desse aditivo na dieta da espécie não exerceu efeito sobre o desempenho, a concentração plasmática da glicose e as mensurações histológicas do intestino proximal dos animais nas condições experimentais utilizadas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e das empresas Biorigin (Lençóis Paulista, São Paulo/Brasil) e Nutricon (Araçoiaba da Serra, São Paulo/Brasil).

Referências

- ABINPET. (2019). Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. (2019). Mercado Pet Brasil 2019:1-8.
- Abreu JS, Brinn RP, Gomes LC, McComb DM, Baldisserotto B, Zaiden SF, Urbinati EC, Marcon JL (2014) Effect of beta 1,3 glucan in stress responses of the pencilfish (*Nannostomus*

trifasciatus) during transport within the Rio Negro basin. Neotrop Ichthyol 12(3):623-628. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20130121>

Ai Q, Mai K, Zhang L, Tan B, Zhang W, Xu W, Li H (2007) Effects of dietary β -1,3 glucan on innate immune response of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. Fish Shellfish Immun 22(4):394-402. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2006.06.011>

Aramli MS, Kamangar B, Nazari RM (2015) Effects of dietary β -glucan on the growth and innate immune response of juvenile Persian sturgeon, *Acipenser persicus*. Fish Shellfish Immun 47(1):606-610. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.10.004>

Berchielli-Morais FA, Fernandes JBK, Sipaúba-Tavares LH (2015) Diets supplemented with microalgal biomass: effects on growth, survival and colouration of ornamental fish *Hyphessobrycon eques* (Steindachner 1882). Aquac Res 47(10):1-9. <https://doi.org/10.1111/are.12756>

Çelik P, Cirik Ş (2019) Embryonic and larval development of serpae tetra *Hyphessobrycon eques* (Steindachner, 1882). Aquac Res 51(1): 1-15.

Cerozi BS, Zanon RB, Silva TSC, Cyrino JEP (2017) Combination of dietary β -glucan and *Bacillus subtilis* as a potential synbiotic for pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). J Appl Ichthyol 3(33):563-565. <https://doi.org/10.1111/jai.13340>.

Chagas EC, Pilarski F, Sakabe R, Moraes FR (2013) Desempenho produtivo e respostas fisiopatológicas de tambaquis alimentados com ração suplementada com β -glucano. Pesqui Agropecu Bras 48(8):899-905. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800013>.

Dawood MAO, Koshio S, El-Sabagh M, Billah MM, Aineldin AI, Zayed MM, Omar AAE (2017a) Changes in the growth, humoral and mucosal immune responses following β -glucan and vitamin C administration in red sea bream, *Pagrus major*. Aquaculture 470(1):214-222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.036>

Dawood MAO, Koshio S, Ishikawa M, Yokoyama S, Basuini EL, Hossain MS, Nhu TH, Moss AS, Dossou S, Wei H (2017b) Dietary supplementation of β -glucan improves growth performance, the innate response and stress resistance of red sea bream, *Pagrus major*. Aquacult Nutri 23(1):148-159. <https://doi.org/10.1111/anu.12376>

Del Rio-Zaragoza OB, Fajer-Ávila EJ, Almazán-Rueda P (2011) Influence of b-glucan on innate immunity and resistance of *Lutjanus guttatus* to an experimental infection of *Dactylogyrid monogeneans*. *Parasite Immunol* 33(1):483-494. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2011.01309.x>

Deplanke B, Gaskins HR (2001) Microbial modulation of innate defense: goblet cells and the intestinal mucus layer. *Am. J. Clin. Nutr.* 73(6):1131S-41S
<https://doi.org/10.1093/ajcn/73.6.1131S>

Di Domenico J, Canova R, Soveral LF, Nied CO, Costa MM, Frandoloso R, Kreutz LC (2017) Immunomodulatory effects of dietary β -glucan in silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Pesqui Vet Brasil* 37(1):73-78. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000100012>

Eslamloo K, Falahatkar B, Yokoyama S (2012) Effects of dietary bovine lactoferrin on growth, physiological performance, iron metabolism and non-specific immune responses of Siberian sturgeon *Acipenser baeri*. *Fish Shellfish Immun* 32(6):976-985.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.02.007>

Ferreira CM, Antoniassi NAB, Silva FG, Povh JA, Potença A, Moraes TCH, Silva TKST, Abreu JS (2014) Características histomorfométricas do intestino de juvenis de tambaqui após uso de probiótico na dieta e durante transporte. *Pesqui Vet Brasil* 34(12):1258-1264.
<https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014001200020>

Guzmán-Villanueva LT, Ascencio-Valle F, Macías-Rodríguez ME, Tovar-Ramírez D (2013) Effects of dietary b-1,3/1,6-glucan on the antioxidant and digestive enzyme activities of Pacific red snapper (*Lutjanus peru*) after exposure to lipopolysaccharides. *Fish Physiol Biochem* 40(3):827-837. <https://doi.org/10.1007/s10695-013-9889-0>

Huu HD, Sang HM, Thuy NTT (2016) Dietary b-glucan improved growth performance, *Vibrio* counts, haematological parameters and stress resistance of pompano fish, *Trachinotus ovatus* Linnaeus, 1758. *Fish Shellfish Immun* 54:402-410.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.161>

Ji L, Sun G, Li J, Wang Y, Du Y, Li X, Liu Y (2017) Effect of dietary b-glucan on growth, survival and regulation of immune processes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) infected by *Aeromonas salmonicida*. *Fish Shellfish Immun*, 64:56-67.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.03.015>

Jung-Schroers V, Adamek M, Harris S, Syakuri H, Jung A, Irnazarows I, Steinhagen D (2018) Response of the intestinal mucosal barrier of carp (*Cyprinus carpio*) to a bacterial challenge by *Aeromonas hydrophila* intubation after feeding with β -1,3/1,6-glucan. J Fish Dis 41(7):1077-1092. <https://doi.org/10.1111/jfd.12799>

Kiron V, Kulkarni A, Dahle D, Vasanth G, Lokesh J, Elvebo O (2016) Recognition of purified β 1,3/1,6 glucan and molecular signalling in the intestine of Atlantic salmon. Dev Comp Immunol 56:57-66. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2015.11.007>

Kühlwein H, Merrifield DL, Rawling MD, Foey AD, Davies SJ (2014) Effects of dietary β -(1,3) (1,6) -D-glucan supplementation on growth performance, intestinal morphology and haemato-immunological profile of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.). J Anim Physiol Anim Nutr 98(2):279-289. <https://doi.org/10.1111/jpn.12078>

Li P, Wen Q, Gatlin DM (2009) Dose-dependent influences of dietary β -1,3-glucan on innate immunity and disease resistance of hybrid striped bass *Morone chrysops* x *Morone saxatilis*. Aquac Res 40(14):1578-1584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02257.x>

Lirano ADS, Ciarlini PC, Moraes G, Camargo ALS, Ramagosa E (2013) Mannan oligosaccharide (β -mos) and β -glucan (β -glu) in dietary supplementation for Nile tilapia juveniles kept in cages. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 8(2):112-125.

Marel M, Adamek M, Gonzalez SF, Frost P, Rombout JHWM, Wiegertjes GF, Savelkoul HFJ, Steinhagen D (2012) Molecular cloning and expression of two β -defensin and two mucin genes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) and their up-regulation after β -glucan feeding. Fish Shellfish Immunol 32(3):494-501. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2011.12.008>

Meena DK, Das P, Kumar S, Kumar S, Mandal SC, Prusty AK, Singh SK, Akhtar MS, Behera BK, Kumar K, Pal AK, Mukherjee SC (2013). Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). Fish Physiol Biochem 39:431-457. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9710-5>

Mesquita Emc, Isaac-Nahum VJ (2015) Traditional knowledge and artisanal fishing technology on the Xingu River in Pará, Brazil. Braz J Bio 75(3):138-157. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.01314BM>

Muzitano IS, Neves CA, Radael MC, Rezende FP, Mendonça PP, Santos MVB, Andrade DR, Vidal Júnior MV (2014) Vitamin C supplementation in the structuring of connective tissue of red rainbowfish. *Pesqui Vet Brasil* 34(8):780-784. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2014000800013>.

Ngamkala S, Futami K, Endo M, Maita M, Katagiri T (2010) Immunological effects of glucan and *Lactobacillus rhamnosus* GG, a probiotic bacterium, on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* intestine with oral *Aeromonas* challenges. *Fisheries Sci* 76(5):833-840. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0280-0>

OFI. Ornamental Fish International. ORNAMENTAL FISH INDUSTRY DATA. Disponível em: <https://ofish.org/ornamental-fish-industry-data>. Acesso em 14 de janeiro de 2020.

Okamura D, Araújo FG, Logato PVR, Murgas LDS, Freitas RTF, Araújo RV (2007) Effect of vitamin C over the haematocrit and glycemia of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) alevins in simulated transport. *Arq Bras Med Vet Zoo* 59(4):883-888. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000400010>

Park JM, Kim NR, Han KH, Han JH, Son MH, Cho JK (2014) Spawning Behavior, Egg Development, Larvae and Juvenile Morphology of *Hyphessobrycon eques* (Pisces: Characidae) Characidae Fishes. *Development & Reproduction* 18(4):241-249. <https://doi.org/10.12717/DR.2014.18.4.241>

Pilarski F, Oliveira CAF, Souza FPBD, Zanuzzo FS (2017) Different β -glucans improve the growth performance and bacterial resistance in Nile tilapia. *Fish Shellfish Immun* 70:25-29. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.059>

Roriz BC, Mariano WS, Takako AK, Castro FJ, Garcia RG (2015) Efeitos do estresse de exposição ao ar sobre parâmetros sanguíneos de juvenis de caranha, *Piaractus brachypomus*. *Enciclopédia Biosfera* 11(21):2231-2242.

Salah AS, El Nahas AF, Mahmoud S (2017) Modulatory effect of different doses of β -1,3/1,6-glucan on the expression of antioxidant, inflammatory, stress and immune-related genes of *Oreochromis niloticus* challenged with *Streptococcus iniae*. *Fish Shellfish Immun* 70:204-213. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.09.008>

Santana CA, Tondato KK, Suárez YR (2019) Reproductive biology of *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) in Southern Pantanal, Brazil. *Braz. J. Biol.* 79(1):70-79.

<https://doi.org/10.1590/1519-6984.176273>

Shiraishi CS, Azevedo JF, Silva AV, Sant'ana DMG, Araújo EJA (2009) Morphometric analysis of the intestinal wall and the dynamic of mucins secreted in the chicken ileum infected with *Toxoplasma gondii*. *Ciênc Rural* 39(7):2146-2153.

<https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000700030>

Silva RD, Rocha LO, Fortes BDA, Vieira D, Fioravanti MCS (2012) Hematological parameters of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) under air exposure stress. *Pesqui Vet Bras* 32(1):99-107. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012001300017>.

Souza FP, De Lima ECS, Pandolfi VCF, Leite NG, Furlan-Murari PJ, Leal CN, Mainardi RM, Suphoronski SA, Favero LM, Koch JFA, Pereira UP, Lopera-Barrero NM (2020) Effect of β -glucan in water on growth performance, blood status and intestinal microbiota in tilapia under hypoxia. *Aquaculture Reports* 17:100369. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100369>

Stevens CH, Croft DP, Paull GC, Tyler CR (2017) Stress and welfare in ornamental fishes: what can be learned from aquaculture? *J. Fish Biol.*, 91(2):409-428.

<https://doi.org/10.1111/jfb.13377>

Suphoronski SA, Chideroli RT, Facimoto CT, Mainardi RM, Souza FP, Lopera-Barrero NM, Pereira U De P (2019) Effects of a phytogenic, alone and associated with potassium diformate, on tilapia growth, immunity, gut microbiome and resistance against francisellosis.

Sci. Rep 9:1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42480-8>

Tavares I. (1997) *Serpae Tetras*, Aquarist and Pondkeeper. New York 61:38-40.

Vetvicka V, Vannucci L, Sima P (2013) The effects of β - glucan on fish immunity. *N. Am. J. Med. Sci* 5(10):580-588. <https://doi.org/10.4103/1947-2714.120792>

Zekovic DB, Kwiatkowski S, Vrvic MM, Jakovljevic D, Moran CA (2005) Natural and modified (1–3)-beta-D-glucans in health promotion and disease alleviation. *Crit Rev Biotechnol* 25(4):205-230. <https://doi.org/10.1080/07388550500376166>

Zhu M, Wu S (2018) The growth performance and nonspecific immunity of loach *Paramisgurnus dabryanus* as affected by dietary β -1,3-glucan. *Fish and Shellfish Immunology* 83:368-372. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.09.049>

Weitzman SH, Palmer L (1998) Phantom tetras: a brief account of their ichthyological and aquarium history. *Trop. Fish Hobbyist* 46(11):124-132.

Welker TL, Lim C, Yildirim-Aksoy M, Klesius PH (2012) Use of Diet Crossover to Determine the Effects of β -glucan Supplementation on Immunity and Growth of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 43(3):335-348. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00569>.

6. CONCLUSÃO GERAL

A espécie nativa da América do Sul *Hyphessobrycon eques* vem sendo estudada há mais de 20 anos, e pela primeira vez essas publicações foram compiladas por meio da revisão sistemática de literatura realizada neste estudo. Entretanto, há também apontamentos importantes relacionados às carências de conhecimentos sobre esse peixe promissor, principalmente em estudos relacionados à nutrição, desenvolvimento, sanidade, e manejo no cultivo da espécie. Assim, a partir desse estudo foi possível oferecer um maior respaldo para a criação em cativeiro de *Hyphessobrycon eques*, como também apontar diversas oportunidades para que futuras pesquisas científicas possam enriquecer, com novos conhecimentos, a criação da espécie.

A exemplo do estudo realizado a partir da suplementação dietética com a β -1,3/1,6-glucana para essa espécie, que embora não tenha demonstrado efeitos sobre os parâmetros de desempenho, glicose plasmática e morfometria intestinal, a inclusão dietética de 2,0 g/kg do aditivo proporcionou maior abundância de células caliciformes, com secreção de mucinas (neutras e ácidas), possibilitando uma maior proteção sobre a superfície do epitélio intestinal. Contudo, recomendam-se novas pesquisas para uma melhor compreensão da ação do aditivo sobre os diversos parâmetros do peixe *H. eques*.