



Aspectos biológicos, ecologia e fisiologia do pirarucu (*Arapaima gigas*): uma revisão da literatura¹

Adailton Moreira da Silva^{2,3}; Wallice Luiz Paxiúba Duncan⁴

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo relatar pesquisas que descrevem a ecologia, o cultivo, a reprodução, o ciclo de vida, a fisiologia, a osmoregulação e outros aspectos biológicos do pirarucu (*Arapaima gigas*, Arapaimidae). Estes peixes são de grande porte, coloração vermelha e que habitam as várzeas da Amazônia. Com sua exploração natural decaindo, a produção em cativeiro surge como uma alternativa econômica. Possui crescimento rápido, respiração aérea obrigatória, grande rusticidade, alto valor de mercado e excelente sabor da carne. Estudos foram realizados com o intuito de entender os hábitos alimentares, padrões reprodutivos e comportamentais em ambientes naturais e de cativeiro, porém, há ainda muito a ser investigado. Realizam desova parcelada, formam casais, selecionam a área de desova, constroem ninhos e tem cuidado parental. O ciclo de vida tem quatro períodos: ovo fertilizado, larvas e pós-larvas, juvenil e adultos. O corpo é cilíndrico achatado na nadadeira dorsal revestido por grandes escamas ciclóides e granuladas. É resistente à vários estressores ambientais, contudo, as respostas fisiológicas a estes são diferentes em intensidade e duração. Dificuldades osmorregulatória durante o cultivo são facilmente contornadas, o que está relacionado a seu habitat natural, sua morfologia branquial e sua respiração aérea. Há relatos de alterações nas variáveis hematológicas quando parasitados causando diminuição na produção. Apesar dos estudos sobre os aspectos fisiológicos do pirarucu e o seu ambiente, ainda persiste um vazio no conhecimento sobre este tema, principalmente de animais selvagens. As pesquisas sobre a ecofisiologia do peixe poderão trazer novas informações que auxiliem seu manejo em cativeiro.

Palavras-Chave: Adaptabilidade, hematologia, piscicultura, osmoregulação, Amazônia.

Biological aspects, ecology and physiology of arapaima (*Arapaima gigas*): a literature review. This study aims to report research describing the ecology, cultivation, breeding, life cycle, physiology, osmoregulation and other biological aspects of arapaima (*Arapaima gigas*, Arapaimidae). These fish are large, red color and live in the floodplains of the Amazon. With its natural decaying farm, captive production emerges as an economical alternative. It has rapid growth, obligatory air breathing, great hardiness, high market value and excellent taste of meat. Studies were performed in order to understand the eating habits, reproductive and behavioral patterns in natural environments and captive, however, much remains to be investigated. Perform a multiple spawner, couples form, select the spawning area, build nests and have parental care. The life cycle has four periods: fertilized egg, larvae and post-larvae, youth, and adults. The body is cylindrical flattened on the dorsal fin coated large cycloid scales and grainy. It is resistant to various environmental stressors; however, the physiological responses to these differ in intensity and duration. Osmoregulatory difficulties during cultivation are easily circumvented; which is related to their natural habitat, their gill morphology and its air breathing. There are reports of changes in hematological variables when infected causing decreased production. While studies of the physiological aspects of arapaima and their environment, there is still a gap in knowledge on this topic, especially wildlife. Research on the physiological ecology of the fish may bring new information to aid cultivation.

¹ Integrante de tese de doutorado do autor Adailton Moreira da Silva

² Doutorando do PPG em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, FCA, UFAM

³ Professor do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, CESP/UEA; Rodovia Odovaldo Novo, s/n, Djard Vieira, 69151-470, Parintins, AM. Email: amdsilva@uea.edu.br

⁴ Professor Doutor do Laboratório de Morfologia Funcional, Instituto de Ciências Biológicas, UFAM. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Japiim, 69077-000, Manaus, AM



Keyword: Adaptability, hematology, fish farming, osmoregulation, Amazon.

1. Introdução

O reconhecimento da necessidade do uso racional dos recursos pesqueiros na Amazônia está presente em grande parte dos trabalhos científicos descritos na literatura. Porém alguns aspectos biológicos e ecofisiológicos relevantes são descritos de forma delimitada pelas disponibilidade e importância da espécie no ambiente. O conhecimento sobre o pirarucu (*Arapaima gigas*) está restrito, em grande parte, por manejos em cativeiro permanecendo ainda lacunas quando envolve animais em seu ambiente natural. Esta espécie é considerada de grande importância social, econômica e ambiental sendo amplamente estudada no enfoque dos recursos pesqueiros e também na sua utilização na piscicultura (OLIVEIRA et al., 2005; MONTEIRO et al., 2010; ARANTES et al., 2013; ARARIPE et al., 2013).

O pirarucu durante várias décadas foi explorado sem nenhum controle sobre o estoque natural ocasionando uma diminuição da sua população sendo considerado um peixe em risco de extinção (CASTELLO e STWART, 2010). No estado do Amazonas (Brasil), existem leis que restringem a captura destes animais sendo somente autorizada mediante projeto de manejo tutelado por órgãos governamentais específicos. Devido a isso, uma das alternativas para a sua exploração é a piscicultura, pois é descrito por muitos autores como animais rústico, crescimento rentável, grande porte, carne saborosa e sem espinhas constituindo-se em uma importante fonte de alimento (ONO et al., 2004, 2008; PEREIRA-ILHO et al., 2003; ROUBACH et al., 2003; ONO et al., 2003; ARANTES et al., 2010). Além da carne, a couraça de escamas, que representa 10% do peso do peixe, é usada na indústria como matéria prima para a produção de bolsas, roupas e sapatos (GANDRA et al., 2007). Outra alternativa, são as ações em áreas de reservas de desenvolvimento sustentável (RESEX), onde vários estudos descrevem o aumento das populações naturais do pirarucu e sua possível exploração sustentável resultante de planos de manejo estabelecidos por comunitários e órgãos governamentais (HRBEK et al., 2005; HRBEK et

al., 2007; HRBEK e FARIAS, 2008; ARARIPE et al., 2013).

Com base nessa realidade, a produção e exploração do pirarucu em cativeiro e em áreas manejadas vem crescendo na região Amazônica nos últimos anos chamando a atenção da comunidade científica com um número significativo de trabalhos elaborados com o intuito de entender a biologia deste animal para fins comerciais, porém alguns gargalos como o controle da reprodução, a alevinagem, a fisiologia alimentar e o metabolismo permanecem como itens a serem estudados cientificamente (FOGAÇA et al. 2011; ROUBACH et al., 2003; ONO et al., 2003; CASTELLO, 2004).

Por tanto, o presente artigo surge com o intuito de apresentar os principais relatos científicos relacionados aos aspectos biológicos gerais, a classificação taxonômica, ao cultivo e reprodução, a fisiologia, a osmoregulação e o parasitismos do pirarucu tanto em ambientes naturais como em cativeiros contribuindo para a disseminação do conhecimento sobre esta espécie e sua utilização na piscicultura regional.

2. Metodologia

A pesquisa bibliográfica foi realizada entre os meses de novembro de 2014 a dezembro de 2015 tendo como horizonte temporal os últimos 20 anos. Foram utilizados os seguintes sites de busca: Scopus, Scirus, Pubmed, ScienceDirect, Web of Science, Scielo e portal de periódicos da CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>). As palavras “Arapaima, fisiologia, ecologia, estressores ambientais e cultivo” foram as utilizadas na pesquisa bibliográfica. Os artigos foram agrupados por temas e estão descritos a seguir.

3. Revisão da literatura

3.1. Aspectos biológicos gerais

O pirarucu (Figura 1) é cientificamente nominado de *Arapaima gigas* Shinz 1822, pertencente à família Arapaimidae e ordem Osteoglossiformes, cuja a origem data do período Jurássico (FERRARIS JR., 2003). É a maior espécie de peixe de escama do mundo podendo pesar até

200kg e ter 3 metros de comprimento (NELSON, 2006; ARANTES et al., 2010). O nome é de origem tupi (*pira*=peixe e *urucu*=vermelho) atribuído à intensa coloração dominante na orla posterior das escamas em algumas regiões do corpo cuja a intensidade e o número variam de acordo com o sexo e o período de reprodução (VENTURIERI e BERNARDINO, 1999).

São animais habitantes das regiões tropicais de água doce na América do Sul, sendo encontrados no Peru, Bolívia, Guiana e Brasil, preferencialmente, nas bacias hidrográficas do rio Amazonas e Tocantins-Araguaia (SANTOS et al., 2006). O seu habitat são terras baixas constantemente alagadas, denominadas de várzeas, as quais são constantemente influenciadas pelo ciclo hidrológico regional (GOULDING et al., 2003). Estes peixes possuem estratégias adaptativas para variações do nível d'água e vivem principalmente em águas brancas de rios, lagos, paranás e igarapés (JUNK, 1997). O principal fator físico da migração lateral desta espécie é a velocidade da correnteza e o tamanho do corpo d'água em que habita (CASTELLO, 2008), já a sua abundância está relacionada ao tamanho do lago e seus canais conectantes (ARANTES et al., 2013).



Figura 1: Exemplos de *Arapaima gigas* pescados na Área de Proteção Ambiental Nhamundá, lago Mambari, em dezembro de 2013. **Fonte:** arquivo dos autores.

Muitos estudos foram realizados com o intuito de entender a biologia da espécie, entre eles sobre hábitos alimentares (WATSON et al., 2013), padrões reprodutivos (MONTEIRO et al., 2010) e comportamento em ambientes naturais (OLIVEIRA et al., 2005; ARANTES et al., 2013; ARARIPE et al., 2013) e de cativeiro (BRANDÃO et al., 2006), porém, ainda existe muito a ser investigado sobre o metabolismo e fisiologia adaptativa deste peixe. Este animal, quando adulto, tem a vantagem de retirar o oxigênio do ar atmosférico através de uma bexiga natatória bastante vascularizada subindo a superfície a cada 20 a 30 minutos para aspirar o ar, suportando viver fora da água por um determinado tempo desde que constantemente irrigado com água (CASTELLO, 2004).

3.2. Classificação taxonômica

A ordem Osteoglossiformes está na base da evolução dos peixes teleósteos vivos tendo como origem o período Jurássico (165 milhões de anos no passado) possivelmente no supercontinente Pangea, compreendendo seis famílias, 29 gêneros e cerca de 217 espécies (NELSON, 2006). É um grupo de peixes endêmico de regiões tropicais de água doce, os quais podem ser listados: *Notopterus*, *Papyrocranus*, *Xenomystus*, *Clupsudis*, *Gymnarchus* e *Pantodon* (na Índia e África); *Scleropages* na Região Indo-Australiana; *Arapaima* e *Osteoglossum* na América do Sul; e o *Hidán* na América do Norte (FERRARIS Jr., 2003). A ordem engloba menos de 1% dos teleósteos vivos e apresenta uma ampla distribuição geográfica devido a características que ligam este grupo a posição basal na classificação geral dos peixes (LAVOUÉ e SULLIVAN, 2004).

Os gêneros *Arapaima* e *Osteoglossum* ocorrem na bacia do Amazonas e Tocantins-Araguaia. Ferraris Jr. (2003) descreve o gênero *Arapaima* como pertencente à família Arapaimidae. Por outro lado, Nelson (2006) coloca este gênero entre os quatro da família Osteoglossidae, sendo que neste trabalho adota-se a classificação de Ferraris Jr. (2003). A espécie *Arapaima gigas* é considerada importante devido a sua localização na base da árvore filogenética dos teleósteos e representa um elo entre os primeiros peixes ósseos e as espécies derivadas atuais.

Desde meados do século XIX, o gênero *Arapaima* foi classificado como sendo

monoespecífico, contendo apenas *Arapaima gigas* (FERRARIS Jr., 2003). Porém, novos trabalhos listam duas novas espécies raras. Stewart (2013a), descreve uma espécie inteiramente nova de pirarucu com base em uma amostra realizada no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, a *Arapaima leptosoma*, sendo esta mais delgada e longa do que *Arapaima gigas*. Segundo o autor a espécie nova foi coletada perto da confluência dos rios Solimões e Purus, no Estado do Amazonas. Stewart (2013b) propõe ressuscitar *Arapaima agassizii*, descrita pela primeira vez em 1847. A espécie foi descrita baseada em uma amostra coletada no século XIX, a qual foi destruída na segunda Guerra Mundial ficando apenas esboços e desenhos dos originais, sendo que o autor afirma que a espécie é distinta de *Arapaima gigas*. Contudo, como são espécies raras e não há trabalhos conclusivos sobre sua localização e biologia, o presente trabalho adotará o gênero monotípico proposto por Ferraris Jr. (2003).

3.3. O cultivo e reprodução

Arapaima gigas é uma espécie com grande potencialidade para a piscicultura devido à grande rusticidade, alto valor de mercado, excelente sabor da carne e porte, que pode chegar até 10 kg no primeiro ano de vida (IMBIRIBA, 2001; PEREIRA-FILHO et al., 2003). Pode ser criado de forma semi-intensiva e intensiva em virtude do seu mecanismo respiratório que os tornam capazes de tolerar altas densidades em ambientes com baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água e concentrações elevadas de amônia (CAVERO et al., 2003b, 2004). No entanto a principal dificuldade da criação desta espécie é a produção de alevinos, visto que não existe o controle da reprodução pelo piscicultor, além da alta mortalidade das larvas. A reduzida produção os torna altamente valorizados, inviabilizando a criação com fins econômicos. Neste elo da cadeia produtiva, algumas tecnologias estão sendo desenvolvidas, principalmente no que concerne à sobrevivência e tolerância às condições adversas (CAVERO et al., 2003b, 2004), treinamento alimentar (CAVERO et al., 2003a; CRESCÊNCIO et al., 2005) e exigências protéicas dos peixes nessa fase de vida (ITUASSÚ et al., 2005).

O pirarucu tem desova parcelada, hábitos de reprodução peculiares pela formação de casais,

seleção e isolamento da área de desova, construção de ninhos e proteção da prole. O macho guarda o ninho e os ovos sendo que após a eclosão mantém-se nas proximidades das larvas, defendendo-as dos predadores (VENTURIERI e BERNADINO, 1999; IMBIRIBA, 2001). Este animal é considerado de hábitos lênticos, pois não realiza migrações reprodutivas e faz seus ninhos em locais com pouca movimentação de água sendo seus ovos, geralmente, maiores e em menor número do que os das espécies reofílicas (MONTEIRO et al., 2010). Padrões eletroforéticos foram usados para analisar os loci gênicos de transferrinas e esterases numa mesma população de pirarucu detectando invariabilidade como um indicativo de monogamia (TEIXEIRA, 2008).

A primeira reprodução em cativeiro foi obtida na década de 30, sendo ainda escassas as observações que definem os estágios reprodutivos da espécie tanto em ambiente natural quanto em cativeiro (VENTURIERE e BERNARDINO, 1999; MONTEIRO et al., 2010). Portanto, a reprodução juntamente com a larvicultura são atualmente fatores limitantes à criação deste peixe, sobretudo, porque ainda faltam muitos conhecimentos sobre o comportamento endócrino-reprodutivo da espécie.

O processo reprodutivo em peixes é influenciado por fatores ambientais que estimulam o sistema neuro-endocrinológico ocasionando os ciclos anuais na maioria das espécies (NÚÑES et al., 2011). Em cativeiro, uma das disfunções reprodutivas apresentadas pelo *Arapaima gigas* parece ser a pouca produção de sêmen sendo esta característica como um dos maiores entraves na reprodução destes animais (VENTURIERI e Bernardino, 1999; NÚÑES et al., 2011). Monteiro et al. (2010) demonstraram que a mancha alaranjada na região inferior da cabeça, indicada empiricamente por ribeirinhos, é uma característica sexual secundária do macho, confirmado pelo perfil hormonal dos esteroides sexuais. Estes autores também relataram que fêmeas de 3 a 4 anos apresentam maior preparo fisiológico para a reprodução do que fêmeas com mais de 4 anos, sendo que as primeiras alocaram muito mais energia para a reprodução refletindo no perfil hormonal, principalmente na concentração de 17β -estradiol.

Núñez et al. (2011), ao realizarem estudos reprodutivos com animais em cativeiro em Iquitos,

Perú, demonstraram que em boas condições de gestão, incluindo suficiente fornecimento de alimentos, a produção de alevinos em cativeiro pode ser substancial (mais de 1000 por fêmea por ano) com bom potencial para melhorias, apesar da baixa fecundidade da espécie. Seus resultados também fundamentam a possibilidade de produção sustentável de alevinos durante quase 8 meses por ano (setembro a abril) ampliando o desenvolvimento da aquicultura de *A. gigas* através de uma melhor da gestão dos reprodutores .

3.4. O crescimento, ciclo de vida e anatomia

Pirarucus são peixes de longa vida que cresce de 70 a 100 cm e 10 kg nos seus primeiros anos de vida, chegando a ter 160 cm e 45 kg em 3 ou 4 anos (ONO et al., 2003). As fêmeas são sexualmente maduras com 168 cm de comprimento total e os juvenis apresentam grande potencial de crescimento (CASTELLO, 2008).

Segundo Coutinho et al. (2010) o ciclo de vida do pirarucu pode ser dividido em quatro diferentes períodos: ovos fertilizados, larvas e pós-larvas, juvenis e adultos.

O primeiro período constitui o ovo fertilizado após o cruzamento. Nesta fase, aparecem os primeiros sinais do início da reprodução, a formação dos casais, a demarcação do território, a construção do ninho, a fecundação e a proteção dos ovos fertilizados que geralmente são grandes e em pequeno número comparado a outras espécies (QUEIROZ e SARDINHA, 1999; GODINHO et al., 2005; FRANCO-ROJAS e PELÁEZ-RODRÍGUEZ, 2007; MONTEIRO et al., 2010).

O segundo período do ciclo de vida ocorre aproximadamente após sete a dez dias da fecundação, sendo que dos ovos fertilizados eclodem as larvas e pós-larvas (Figura 2). Nesta fase, permanece os cuidados e proteção dos parentais, principalmente o macho, pois as larvas e pós-larvas estão sujeitas a predação por outros organismos aquáticos. Aparentemente, após três meses de vida, os animais migram para a floresta alagada quando decresce o papel do cuidado parental, coincidindo com a independência dos alevinos em relação a seus parentes (FRANCO-ROJAS e PELÁEZ-RODRÍGUEZ, 2007).

A fase juvenil do pirarucu corresponde ao terceiro ciclo de vida, período caracterizado pelo

comprimento total com menos do que 165cm e imaturo sexualmente. Nesta fase, que dura aproximadamente até aos quatro anos de idade, há dificuldade de se visualizar dimorfismos sexual nestes peixes, sendo um dos gargalos na piscicultura no momento de escolher as matrizes, pois só é possível observar diferenças entre os sexos apenas no período da reprodução, quando atingem a fase adulta (IMBIRIBA, 2001).



Figura 2: Exemplos de alevinos de *Arapaima gigas* obtidos de uma piscicultura na cidade de Parintins, AM, em novembro de 2014. Fonte: arquivo dos autores.

O pirarucu atinge a maturidade após quatro a cinco anos de idade, o que corresponde ao quarto período do ciclo de vida, um adulto (QUEIROZ e SARDINHA, 1999; IMBIRIBA, 2001). Estes animais exibem algumas características sexuais secundárias poucos dias antes e após o cruzamento permitindo distinguir ambos os sexos (MONTEIRO et al. 2010; NÚÑES et al, 2011). Entre estas, a que mais atrai a atenção durante o período reprodutivo deste peixe é a transformação da coloração em certas regiões do corpo. Os machos apresentam coloração escura que se estende do topo da cabeça para região dorsal até a nadadeira dorsal, tem manchas amareladas na porção inferior da cabeça e os seus flancos, ventre e parte caudal possuem intensa coloração avermelhada. Nas fêmeas, as transformações das cores são menos notáveis, sendo que o corpo todo possui um marrom claro. As mudanças de cor ocorrem com grande ênfase no

período chuvoso, o que coincide com a época de acasalamento desta espécie (MONTEIRO et al., 2010).

Um bom conhecimento do comportamento e das condições ótimas para a formação do casal matrizes são pré-requisitos para um eficiente manejo reprodutivo e alevinagem em cativeiro, porém, há dificuldades na distinção do sexo no período não reprodutivo. Uma das alternativas, é a determinação sexual de adultos de pirarucu pelo uso de imunoinsaio enzimático para a detecção da vitellogenina e pela relação entre os níveis de 11-k-testosterona e estradiol (CHU-KOO et al., 2009), contudo, esta técnica falha na determinação do sexo em peixes ainda jovens. Outra alternativa é o uso da laparoscopia na visualização das gônadas masculinas e femininas com os animais anestesiados (CARREIRO et al., 2011). Esta técnica possibilita diferenciar machos e fêmeas de pirarucu durante a fase não reprodutiva, sendo um eficiente método para diferenciação sexual causando um mínimo estresse ao peixe.

O pirarucu adulto tem um corpo cilíndrico e comprido sendo gradualmente achatado na nadadeira dorsal até a caudal. A cabeça é achatada na região dos olhos e possui uma relação de 10% com o corpo (comprimento total). Existem 58 placas ósseas de diferentes tamanhos distribuídas na superfície da cabeça, cada destas tem 6 a 8 poros em suas extremidades. Estes poros, em machos, secreta uma substância de aspecto mucoide que, de acordo com ribeirinhos e piscicultores da região Amazônica, alimenta os alevinos que estão próximo a cabeça, contudo, não existem evidências sobre a constituição desta secreção. A boca é grande e oblíqua com menor prognatismo maxilar. A nadadeira dorsal tem origem no terço posterior do corpo e seus últimos raios vão além da origem da caudal. A nadadeira anal começa próximo a duas fileiras de escamas atrás da origem da dorsal, e a caudal é arredondada. As nadadeiras abdominais e ventral são menores do que as demais (SANTOS et al., 2006; HILTON et al. 2007; BEZERRA et al., 2013).

O corpo do pirarucu é revestido por grandes escamas ciclóides e granuladas formadas por camadas espessas de fibras colágenas. O colágeno de escamas de pirarucu tem propriedades únicas que conferem uma maior resistência realizando, por

exemplo, um papel importante na proteção contra predadores (LIN et al. 2011, TORRES et al. 2008, 2012). A artéria mesentérica-celíaca é responsável pelo fluxo do trato digestivo (SANTOS et al., 2007). A neurohipófise do pirarucu é bem diferenciada entre a eminência mediana e o lóbulo neural, já as células da adenohipófise foram identificadas somente por imunohistoquímica revelando algumas características basais dos ancestrais *Achtinopterygii* (BORELLA et al. 2009; BEZERRA et al., 2013).

Os índices corporais podem ser retratados através da relação peso-comprimento (RPC) e do fator de condição relativo (Kn). Estas ferramentas auxiliam a compreender a influência do ambiente sobre a ecologia de populações de peixes e podem ser empregadas em estudos de biologia pesqueira voltada para o manejo e conservação dos estoques naturais (LE CREN, 1951; LIZAMA e AMABROSIO, 2003). O Kn também permite comparar populações de peixes submetidas a diferentes climas, temperaturas, alimentação, densidade, entre outros, e indica o bem-estar do peixe tanto em ambiente de cativeiro quando em ambiente natural (LE CREN, 1951). Tavares-Dias et al., (2010), estudando a relação peso-comprimento e o Kn do pirarucu em cultivo semi-intensivo no estado do Amazonas, concluíram que o pirarucu não mantém suas proporções corporais ao longo do seu desenvolvimento em cultivo. Durante a fase de alevinos existe um maior incremento em crescimento do que em peso. Apesar dos esforços visando alavancar a piscicultura do pirarucu, informações da RPC e Kn de espécimes capturados em áreas de manejo ainda são escassas.

3.5. Variáveis hematológicas e fisiológicas em resposta ao estresse de cultivo

Em peixes há uma ampla variação hematológica interespecífica, em geral atribuídas a fatores genéticos, nutricionais, reprodutivos, orgânicos e ambientais. O conhecimento dos parâmetros sanguíneos é importante na avaliação do estado fisiológico dos peixes tanto no ambiente natural como em cativeiro e pode ser também usado para comparação de espécies que vivem em condições ambientais distintas ou entre espécies distintas que compartilham do mesmo ambiente (TAVARES-DIAS e MATAQUEIRO, 2004;



TAVARES-DIAS et al., 2004; TAVARES-DIAS e MORAES, 2003, 2004, 2006, 2007a, 2007b; TAVARES-DIAS et al., 2007a, 2007b)

Um inadequado sistema de cultivo, tais como a quantidade e a qualidade da água e o manejo impróprio dos animais, oferece estresse dentro de um compromisso de capacidade adaptativa ao ambiente e resulta em uma temporária interrupção do crescimento e em uma série de problemas nutricionais gerando um acréscimo de suscetibilidades a infecção e doenças parasitárias (SHOEMAKER et al., 2000; GOULDING et al., 2003; ANDRADE et al., 2007). O pirarucu é um peixe resistente para vários estressores ambientais o que resulta em boas práticas de um sistema de cultivo, contudo, a resposta fisiológica deste animal sujeito aos estressores apresenta-se de forma diferente em sua intensidade e duração (TAVARES-DIAS et al., 2007b).

O transporte de alevinos e juvenis nas práticas de manejos em aquicultura intensiva pode causar níveis elevados de estresse em peixes. Exemplares de pirarucus juvenis submetidos ao transporte por 96 horas em recipientes plásticos (sistema fechado) não apresentaram mortalidades, porém, alguns indicadores fisiológicos variaram, tais como o cortisol e o hematócrito. Mesmo o animal estando inativo após o transporte, há um aumento nos níveis de glicose e uma diminuição nos níveis de lactato. O uso de sal comercial (NaCl 97%) durante o transporte evita alterações nas respostas fisiológicas aos estressores, porém, causa distúrbios osmorregulatórios. Esta substância tem efeito mitigante de estresse para peixes como tambaqui e matrinxã (CARNEIRO e URBINATI, 2001; BRANDÃO et al., 2006, 2008; GOMES et al., 2003, 2006).

Densidade de estocagem também pode ser considerado como um severo e agressivo estressor no manejo em piscicultura. Para Oliveira et al. (2012), o potencial de *Arapaima gigas* para cultivo em gaiolas ou tanque-redes está em sua alta taxa de sobrevivência entre 100±0% e 94,7±5% para 10 e 12,5 peixes/m³, respectivamente. Segundo os autores, a densidade afetou significativamente (p<0,05) a média do peso final (2630,4±213,7 e 2138,0±148,2g) e do aumento de peso (2516,9±202 e 2043,1±142,9g). Em contraste, a taxa de crescimento específico (2,25±0,09 e

2,22±0,06%/dia), a razão de conversão alimentar (1,2±0,1 e 1,2±0,2) e a produção de biomassa (26,3±2,1 e 25,4±2,6 kg/m³) não foram afetadas (p > 0,05) pela densidade de estocagem. As variações do cortisol, glicose, lactato e hematócrito de pirarucus sujeitos a diferentes densidades foram mais intensas do que aquelas obtidas pelo transporte (BRANDÃO et al., 2006).

A alta concentração de amônia pode causar retardamento do crescimento do peixe e facilidade no surgimento de doenças. Em condições de cativeiro o pirarucu apresenta tolerância ao aumento da concentração de amônia até 25 mg/L, com 100% de sobrevivência. Os pirarucus sujeitos a concentração de 20mg/L não apresentam variações nos níveis de cortisol, mas há um significativo aumento na concentração de glicose e redução do lactato, com notável diminuição do ritmo da natação e sem variação no hematócrito (CAVERO et al., 2004; BRANDÃO et al., 2006).

A avaliação da genotoxicidade e mutagênese da radiação ultravioleta em espécimes de *Arapaima gigas* e *Colossoma macropomum* jovens apresenta que ambas UVA e UVB induz genotoxicidade oxidativa danosa nas espécies. Contudo, a segunda tem mais sensibilidade para radiação ultravioleta com muitos danos no DNA do que a primeira (baixos danos no DNA). Esta diferença pode estar relacionada a suas características evolutivas, pois *Arapaima gigas* é um Actinopterygeano primitivo, por tanto, tem mais capacidade adaptativa para radiação ultravioleta do que espécies recentes (GROFF et al., 2010).

Quando manipulado em cativeiro, o pirarucu exhibe respostas fisiológicas ao estresse similar em intensidade aos descritos para outros teleósteos (GOMES, 2007). Animais sujeitos a exposição ao ar por 75 minutos demonstram uma rápida resposta fisiológica (aumento do cortisol, lactato e hematócrito após a manipulação) acompanhado de uma rápida recuperação aos níveis basais. Glicose aumenta após a manipulação e este aumento permanece mesmo após 24 h, sugerindo que o peixe não usa seu estoque de glicogênio nesta situação.

De acordo com Andrade et al. (2007) doses altas de vitamina C na alimentação do pirarucu geram respostas fisiológicas que provavelmente ajudam estes peixes a contornar os estressores

ambientais e também os auxiliem contra possíveis agentes infecciosos, principalmente em cultivo, considerando inclusive a viabilidade econômica deste procedimento. Por outro lado, uma alta dose de vitamina E não produz efeitos positivos nas respostas fisiológicas, principalmente no sistema imunológico, como sugerido por Menezes et al. (2006).

Bezerra et al. (2013), relatam que indicadores secundários de estresse, tais como glicose, triglicerídeos, colesterol total e frações apresentaram variação sazonal durante um ano de cultivo em pirarucus. Esta variação possibilita afirmar que estresse sazonal pode ser um gatilho de efeitos secundários neste peixe, tais como transformações no metabolismo da glicose e de lipídeos. Ainda segundo os autores, a osmoregulação representa um mecanismo altamente eficazes na manutenção do balanço fisiológico durante estresse crônico em peixes.

Mesmo diante dos trabalhos expostos acima, ainda persiste a necessidade de descrever e analisar os parâmetros fisiológicos e hematológicos do pirarucu tanto em seu ambiente natural, em homeostase ou não, quanto aqueles sujeitos a ambientes diferentes ao seu habitat natural e suas possíveis respostas fisiológicas.

3.6. Respiração aérea e a osmoregulação

O Pirarucu tem necessidade de subir a superfície num intervalo de 15 a 20 minutos para obter ar atmosférico. Cerca de 90% do oxigênio necessário é adquirido respirando o ar, sendo assim, considerado de respiração aérea obrigatória. Segundo Brauner et al. (2004), a transição da respiração aquática para a aérea vem de uma forte alteração morfológica na fisiologia das brânquias. Em pequenos peixes (10g) as brânquias são qualitativamente similares em aparência ao *Osteoglossum bicirrhosum*, um animal de respiração branquial filogeneticamente relacionado ao *Arapaima gigas*, contudo, em peixes maiores (100–1000g), o espaço inter-lamelar é preenchido com células ricas em mitocôndrias (MR), deixando apenas filamentos em forma de colunas. Transformações também ocorrem na bexiga natatória permitindo uma eficiente troca gasosa. Numerosos capilares são encontrados na superfície interior da bexiga natatória, estes capilares são

separados do ar apenas pela extensão citoplasmática do epitélio, lâmina própria e um escasso endotélio (BRAUNER e ROMBOUGH, 2012).

Existem variações no mecanismo de transporte de oxigênio em brânquias de *Arapaima gigas*; esta variação foi observada por Fernandes et al. (2012) para ambas as brânquias e bexiga natatória. A área de superfície respiratória da bexiga de gás ($2173 \text{ cm}^2.\text{kg}^{-1}$) é superior ao das brânquias ($780 \text{ cm}^2.\text{kg}^{-1}$) por um fator de 2,79, assim como a capacidade da difusão do oxigênio e dióxido de carbono é 88 vezes maior na bexiga natatória do que nas brânquias. Portanto, a função das brânquias é essencialmente íon-regulatória e respiração secundária (BRAUNER e ROMBOUGH, 2012). Existem poucos estudos relatando os mecanismos de transporte de oxigênio na corrente sanguínea do pirarucu, mas é conhecido que o inositol pentafosfato (IPP) é o principal modulador da afinidade hemoglobina-oxigênio nos eritrócitos em pirarucus (ISAACKS et al., 1977).

A osmoregulação é importante porque a grande maioria dos peixes vive em ambiente com concentração de íons diferente do seu sangue, sendo que na água doce estes animais tentam ao máximo evitar possível perda de íons e eliminar todo o excesso de água (BALDISSEROTTO, 2009).

Baldisserotto et al. (2008) relata que a exposição de pirarucus em águas com pH 3,5 levou a perda de íons, porém quando foi transferido de pH 5,7 para pH 7,0 ou vice-versa houve uma indução de pequenas transformações no fluxo destes íons. Por tanto, alguma dificuldade osmorregulatória encontrada por estes animais durante as trocas de águas pode ser facilmente convertida ou solucionada. Esta alta capacidade de osmoregulação está fortemente relacionado ao seu habitat natural pois é exposto a extremas variações no pH da água.

O uso de sal de cozinha no transporte, como mitigador de estresse, é comprovado para o tambaqui e a matrinxã de 800-1000g transportados em sistema aberto (GOMES et al., 2003), porém, não há benefício no uso de sal durante o transporte de juvenis (1-30g) de pirarucu em sistema fechado, uma vez que a adição deste composto causa acentuado distúrbio osmorregulatório e por vezes leva o peixe a morte (GOMES et al., 2006). Brandão et al. (2008), confirma que o sal não foi eficiente em mitigar as respostas de estresse em

juvenis de pirarucu (1kg) em dois sistemas de transporte (aberto e fechado), porém esta espécie apresenta uma plasticidade na osmoregulação que possibilita usar ambos os sistemas.

Bezerra et al. (2013) descrevem variação na osmoregulação quando espécimes de pirarucu são submetidos a estressores sazonais em tanques de piscicultura. De acordo com os autores, o balanço osmorregulatório vem da ação de outras variáveis fisiológicas como as catecolaminas, a concentração de glicose e lipídeos, bem como, a composição lipídica no plasma sanguíneo fazendo com que as brânquias atuem como um órgão equilibrador de íons, sendo assim, importantes mantenedores da homeostase do animal frente aos estressores ambientais, definindo esta espécie como robusta ao cultivo.

As brânquias de peixes são consideradas como um órgão multifuncional que é responsável pelas trocas gasosas, pela regulação iônica, pela regulação ácido-base e pela excreção de compostos nitrogenados (EVANS et al., 2005). Existe um intrínseco balanço entre a demanda de oxigênio e a regulação osmótica em brânquias definido como compromisso osmorespiratório. O pirarucu apresenta diferenças na morfologia branquial em pequenos e grandes animais, estas diferenças gerariam um distúrbio do compromisso osmorregulatório na transição de respiração branquial para aérea, porém, este distúrbio é inexistente nestes animais devido ao desenvolvimento da bexiga natatória como órgão essencial no comportamento da respiração aérea obrigatória nos mesmos (GONZALEZ et al., 2010; RAMOS et al., 2013).

Ramos et al. (2014), ao analisar a fisiologia de espécimes de pirarucu submetidos a diferentes tipos de água, relatam que as brânquias destes animais estão envolvidas essencialmente com a respiração em pequenos animais (≈ 200 g) enquanto que em grandes animais (≈ 2.000 g) é um órgão multifuncional, sendo um local osmorregulatório de grande importância ficando a absorção de O_2 reduzida. A íon regulação observada é maior em sistemas de água branca pelo acréscimo de Na^+ , K^+ e Ca^{2+} presente no ambiente. Por outro lado, sistema de água preta são considerados barreiras a dispersão de várias espécies, mas que não parece ser um

problema para o pirarucu, pois o mesmo apresenta plasticidade no seu mecanismo íon regulatório.

Como visto acima, os pirarucus apresentam irreversíveis mudanças estruturais em suas brânquias durante seu desenvolvimento sendo assim, um interessante modelo para estudos de regulação iônica submetidos a diferentes tipos de água (RAMOS et al. 2013; RAMOS et al., 2014). Estes animais, de acordo com estudos utilizando marcadores genéticos (HRBEK et al., 2007), possuem uma população panmítica, ou seja, não encontram barreiras geográficas em sua distribuição ao longo da bacia do Amazonas.

Os parâmetros sustentáveis para estudar as transformações no compromisso osmorespiratório em pirarucus são os parâmetros plasmáticos e hematológicos observados em diferentes ambientes e em diferentes tamanhos dos animais (RAMOS et al., 2014). As variáveis sanguíneas de peixes coletados em águas amazônicas podem desenvolver alta tolerância para os baixos níveis de oxigênio destas águas gerando estratégias adaptativas, especialmente no período das secas (ALMEIDA-VAL et al., 1999). Os tipos de águas amazônicas são grandemente influenciados pelo fluxo e concentração de íons e a alteração na capacidade de regulação iônica é acompanhada por mudanças nas variáveis sanguíneas (FERNANDES et al., 1999; BALDISSEROTTO et al., 2008; DUNCAN e FERNANDES, 2010).

3.6. Parasitismo em Pirarucus

Em cultivo ou em ambiente natural o peixe está sujeito ao grande conjunto de estressores. Entre estes estão os parasitas, que podem desenvolver-se dentro de diferentes órgãos como brânquias (FEIJÓ et al., 2008), bexiga de gás, estômago e intestino (SANTOS et al. 2008) prejudicando a saúde do hospedeiro.

Araújo et al. (2009) relataram alterações nas variáveis hematológicas em exemplares de pirarucus parasitados por nematoides, monogenóides e protozoários em cultivo semi-intensivo na Amazônia. Gaines et al (2012) descrevem a histologia do trato digestório destes animais como semelhante às descritas para outras espécies de peixes carnívoros e que a presença do nematoide *Spirocamallanus inopinatus* provoca



alterações degenerativas na mucosa da parede intestinal do hospedeiro.

Em pirarucus com poliparasitismo, diferenças hematológicas foram observadas quando comparados em diferentes idades (ARAUJO et al., 2009; DRUMOND et al., 2010) já que peixes mais jovens apresentam crescimento de tecidos hematopoiético, tais como rim e baço (DRUMOND et al., 2010). Esse fator também interfere e deve ser considerado nos parâmetros investigados no parasitismo de pirarucus de diferentes pisciculturas (MARINHO et al., 2013; MARINHO et al., 2015), já que o poliparasitismo causa redução no hematócrito e VCM; além de aumento no número de eritrócitos, HCM e CHCM. Para Marinho et al. (2015), estas alterações são usadas para compensar a redução no tamanho dos eritrócitos, melhorar o transporte de gases respiratórios no hospedeiro e estimular a produção de leucócitos em resposta ao parasitismo.

4. Considerações finais

O presente trabalho relata os principais trabalhos que envolvem os aspectos fisiológicos da adaptabilidade do pirarucu em relação ao seu ambiente. Mesmo com todos esses esforços ainda persiste a lacuna sobre o entendimento deste aspecto em seu ambiente natural.

Mesmo com vários estudos relatando a plasticidade adaptativa do pirarucu, ainda há a necessidade de se realizar estudos submetendo estes animais a tipos de águas diferentes gerando novos conhecimentos sobre as mudanças comportamentais e fisiológica do peixe com perspectiva para uma piscicultura sustentável regional.

Estudos fisiológicos de pirarucu foram realizados em cultivos semi-intensivo na Amazônia demonstrando que alguns parâmetros hematológicos e bioquímicos são influenciados pela idade do peixe apontando para necessidade de estudos adicionais na comparação entre jovens e adultos (TAVARES-DIAS et al. 2007b; DRUMOND et al. 2010).

Babin e Vernier (1989) descrevem que o HDL (proteínas de alta densidade) domina o perfil das lipoproteínas em algumas espécies de Agnatas e Osteíctes, porém, há um diferente perfil das lipoproteínas de pirarucu juvenis com a predominância de LDL (proteína de baixa densidade), sendo esta diferença devido a origem

mais primitiva deste animal comparado com outras teleosteos viventes (BEZERRA et al., 2013), porém, o sentido adaptativo desta diferença para a espécie ainda precisa ser elucidado.

A atividade da acetilcolinesterase de pirarucus na presença de pesticidas organofosforados diminuiu 81% após a incubação a 50°C por 30 minutos, sugerindo que esta espécie pode ser utilizada como um biomarcador para detecção de organofosforados e carbamatos na rotina de programas de monitoramento ambiental e alimentar para pesticidas (ASSIS et al., 2012), estudos que aprofundem este tema devem ser executados com o intuito de identificar a utilização desta espécie no biomonitoramento.

Apesar dos vários estudos sobre os aspectos biológicos e adaptativos do pirarucu, vazios permanecem sobre o conhecimento de sua complexidade biológica. É uma espécie primitiva de grande importância na pesca e aquicultura. Entre os hiatos para ser preenchidos estão os aspectos reprodutivos, pois existem vários obstáculos para o cruzamento destes peixes em cativeiros. Também, o conhecimento sobre a bioquímica e a biologia molecular da resposta imune e do metabolismo ainda está ineficiente, pois poucos estudos têm sido conduzidos para este objetivo. Espera-se que estudos adicionais sobre os aspectos ecofisiológicos poderão trazer novas informações sobre a adaptabilidade plástica destes animais frente a estressores ambientais possam ser conduzidos e que estas informações possam auxiliar e melhorar o cultivo desta espécie na região.

Agradecimentos

Ao PPG-CIPET pela oportunidade de realizar esta revisão. A FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas) pelo apoio financeiro através da bolsa de Doutorado cedida a Adailton Moreira da Silva. Ao Laboratório de Morfologia funcional, Universidade Federal do Amazonas, pelo ambiente intelectual durante a confecção do trabalho. À Universidade do Estado do Amazonas pela concessão financeira e institucional.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e



revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

- ALMEIDA-VAL, V.M.F.; VAL, A.L.; WALKER, I. Long- and short-term adaptation of Amazon fishes to varying O₂-levels: Intra-specific phenotypic plasticity and interspecific variation. In: VAL, A.L.; ALMEIDA-VAL, V.M.F. (Eds.). **Biology of Tropical Fishes**, INPA, Manaus, 1999, pp. 185-206.
- ANDRADE, J.I.A.; ONO, E.A.; MENEZES, G.C.; BRASIL, E.M.; ROUBACH, R.; URBINATI, E.C.; TAVARES-DIAS, M.; MARCON, J.L.; AFFONSO, E.G. Influence of diets supplemented with vitamins C and E on pirarucu (*Arapaima gigas*) blood parameters. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, n.146, p.576-580, 2007.
- ARANTES, C.C.; CASTELLO, L.; STEWART, D.J.; CETRA, M.; QUEIROZ, H.L. Effects of population density on growth and reproduction of arapaima in an Amazonian river- floodplain. **Ecology of Freshwater Fish**, v.19, n. 3, p. 455-465, 2010.
- ARANTES, C.C.; CASTELLO, L.; CETRA, M.; SCHILLING, A. Environmental influences on the distribution of Arapaima in Amazon floodplains. **Environmental Biology of Fish**, v. 96, n. 10, p. 1257-1267, 2013.
- ARARIPE, J.; RÊGO, P.S.; QUEIROZ, H.; SAMPAIO, I.; SCHNEIDER, H. Dispersal capacity and genetic structure of *Arapaima gigas* on different geographic scales using microsatellite markers. **Plos One**, v. 8, n. 1, p.1-7, 2013.
- ARAÚJO, C.S.O.; GOMES, A.L.; TAVARES-DIAS, M.; ANDRADE, S.M.S.; BELEM-COSTA, A.; BORGES, J.T.; QUEIRO, M.N.; BARBOSA, M. Parasitic infections in pirarucu fry, *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimatidae) kept in a semi-intensive fish farm in Central Amazon, Brazil. **Veterinarski Arhiv**, v. 79, n. 5, p.499-507, 2009.
- ASSIS, C.R.D.; LINHARES, A.G.; OLIVEIRA, V.M.; FRANÇA, R.C.P.; MACIEL CARVALHO, E.V.M.; BEZERRA, R.S.; CARVALHO JR, L.B. Comparative effect of pesticides on brain acetylcholinesterase in tropical fish. **Science of the Total Environment**, n. 441, p. 141-150, 2012.
- BABIN, P.J.; VERNIER, J.M. Plasma lipoproteins in fish. **The Journal Lipid Research**, n. 30, p. 647-689, 1989.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2.ed. Santa Maria, Ed UFSM, 2009, 349p.
- BALDISSEROTTO, B.; COPATTI, C.E.; GOMES, L.C.; CHAGAS, E.C.; BRINN, R.P.; ROUBACH, R. Net ion fluxes in the facultative air-breather *Hoplosternum littorale* (tamoata) and the obligate air-breather *Arapaima gigas* (pirarucu) exposed to different Amazonian waters. **Fish Physiology and Biochemical**, n. 34, p. 405-412, 2008.
- BEZERRA, R.F.; SOARES, M.C.F.; SANTOS, A.J.G.; CARVALHO, E.V.M.M.; COELHO, L.C.B.B. Secondary indicators of seasonal stress in the Amazonian pirarucu fish (*Arapaima gigas*). In: Daniels JA (Ed.) **Advances in Environmental Research**. Nova Science Publishers, Inc. New York, n. 28, p. 233-244, 2013.
- BORELLA, M.I.; VENTURIERI, R.; MANCERA, J.M. Immunocytochemical identification of adenohypophyseal cells in the pirarucu (*Arapaima gigas*), an Amazonian basal teleost. **Fish Physiology and Biochemical**, n. 35, p. 3-16, 2009.
- BRANDÃO, F.R.; GOMES, L.C.; CHAGAS, E.C. Stress responses of pirarucu (*Arapaima gigas*) during routine aquaculture practices. **Acta Amazonica**, n. 36, p. 349-356, 2006.
- BRANDÃO, F.R.; GOMES, L.C.; CRESCÊNCIO, R.; CARVALHO, E.S. Use of salt during the transportation of pirarucu juveniles (1 kg) (*Arapaima gigas*). **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 767-772, 2008.
- BRAUNER, C.J.; MATEY, V.; WILSON, J.M.; BERNIER, N.J.; VAL A.L. Transition in organ function during the evolution of air-breathing; insights from *Arapaima gigas*, an obligate air-breathing teleost from the Amazon. **Journal of Experimental Biology**, n. 207, p.1433-38, 2004.
- BRAUNER, C.J.; ROMBOUGH, P.J. Ontogeny and paleophysiology of the gill: New insights from larval and air-breathing fish. **Respiratory Physiology and Neurobiology**, v. 184, n. 3, p.293-300, 2012.



CARNEIRO, P.C.F.; URBINATI, E.C. Salt as a stress response mitigator of matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther), during transport. **Aquaculture Researcher**, n. 32, p. 298-307, 2001.

CARREIRO, C.R.P.; FURTADO-NETO, M.A.D.; MESQUITA, P.E.C.; BEZERRA, T.A. Sex determination in the giant fish of Amazon Basin, *Arapaima gigas* (Osteoglossiformes, Arapaimidae), using laparoscopy. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 3, p. 415-419, 2011.

CASTELLO, L. A method to count pirarucu *Arapaima gigas*: fishers, assessment, and management. **North American Journal of Fisheries Management**, n. 24, p. 379-389, 2004.

CASTELLO, L. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 17, n. 1, p. 38-46, 2008.

CASTELLO, L.; STWART, D.J. Assessing CITES non-detriment findings procedures for *Arapaima* in Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 26, n. 1, p. 49-56, 2010.

CAVERO, B.A.S.; ITUASSÚ, D.R.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; BORDINHON, A.M.; FONSECA, F.A.L.; ONO, E.A. Use of live food as starter diet in feed training juvenile pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 1011-1015, 2003a.

CAVERO, B.A.S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D.R.; GANDRA, A.L.; CRESCÊNCIO, R. Biomassa sustentável de juvenis de pirarucu em tanques-rede de pequeno volume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 38, p. 723-728, 2003b.

CAVERO, B.A.S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A.M.; FONSECA, F.A.L.; ITUASSÚ, D.R.; ROUBACH, R.; ONO, E.A. Tolerance of pirarucu juveniles to increasing ammonia concentration in a closed environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 513-516, 2004.

CHU-KOO, F.; DUGUE, R.; AGUILAR, M.A.; DAZA, A.C.; BOCANEGRA, F.A.; VEINTEMILLA, C.C.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J.F.; TELLO, S.; NUNEZ, J. Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 β -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology and Biochemical**, n. 35, p.125-136, 2009.

COUTINHO, E.S.S.; BEVILACQUA, L.; QUEIROZ, H.L. Population dynamics modeling of *Arapaima gigas*. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 333-346, 2010.

CRESCÊNCIO, R.; ITUASSÚ, D.R.; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M.; CAVERO, B.A.S.; GANDRA, A.L. Influence of feeding period on consumption and weight gain of pirarucu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1217-1222, 2005.

DRUMOND, G.V.F.; CAIXEIRO, A.P.A.; TAVARES-DIAS, M.; MARCON, J.L.; AFFONSO, E.G. Biochemical and hematological characteristics of the pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimidae) from semi-intensive culture in the Amazon. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 591-596, 2010.

DUNCAN, W.P.; FERNANDES, M.N. Physicochemical characterization of the white, black, and clear water rivers of the Amazon Basin and its implications on the distribution of freshwater stingrays (Chondrichthyes, Potamotrygonidae). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 3, p. 454-464, 2010.

EVANS, D.H.; PIERMARINI, P.M.; CHOE, K.P. The multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. **Physiological Reviews**, v. 85, n. 1, p. 97-177, 2005.

FEIJÓ, M.M.; ARANA, S.; CECCARELLI, P.S.; ADRIANO, E.A. Light and scanning electron microscopy of *Henneguya arapaima* n. sp. (Myxozoa: Myxobolidae) and histology of infected sites in pirarucu (*Arapaima gigas*: Pisces: Arapaimidae) from the Araguaia River, Brazil. **Veterinary Parasitology**, n. 157, p. 59-64, 2008.

FERNANDES, M.N.; SANCHES, J.R.; MATSUZAKI, M.; PANEPUCCI, L.; RANTIN, F.T. Aquatic respiration in facultative air-breathing fish: Effects of temperature and hypoxia. In: VAL, A.L.; ALMEIDA-VAL, V.M.F. (Eds.). **Biology of Tropical Fishes**, INPA, Manaus, 1999, pp. 341-352.

FERNANDES, M.N.; CRUZ, A.L.; COSTA, O.T.F.; PERRY, S.F. Morphometric partitioning of the respiratory surface area and diffusion capacity of the gills and swim bladder in juvenile Amazonian air-breathing fish, *Arapaima gigas*. **Micron**, v. 43, n. 9, p. 961-970, 2012.



FERRARIS Jr., C.J. Arapaimidae. In: REIS, R.E.; KULLANDER, S.O.; FERRARIS Jr, C.J. (Eds.). **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Edipucrs, Porto Alegre, p. 31, 2003.

FOGAÇA, F.H.S.; OLIVEIRA, E.G.; CARVALHO, S.E.Q.; SEIXAS-SANTOS, F.J. Yield and composition of pirarucu fillet in different weight classes. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 95-99, 2011.

FRANCO-ROJAS, H.H.; PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M. **Cría y producción de pirarucú en cautiverio, Experiencias en el Piedemonte Caqueteño**. Florencia (Caquetá-Colombia): Universidad de la Amazonia, 1st ed., 2007. 50p.

GAINES, A.P.L.; SARMIENTO, L.E.E.; VIANA, G.M.; MONTEIRO, P.C.; ARAÚJO, C.S.O. Tissue changes in the gut of *Arapaima gigas* (Schinz, 1822), infected by the nematode *Spirocamallanus inopinatus* (Travassos, 1929). **Neotropical Helminthology**, vol. 6, Nº2, pp. 147 – 157, 2012.

GANDRA, A.L.; ITUASSÚ, D.R.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; CRESCÊNCIO, R.; CAVERO, B.A. Pirarucu growth under different feeding regimes. **Aquaculture International**, v. 15, n. 1, p. 91-96, 2007.

GODINHO, H.P.; SANTOS, J.E.; FORMAGIO, P.S.; GUIMARÃES-CRUZ, R.J. Gonadal morphology and reproductive traits of the Amazonian fish *Arapaima gigas* (Schinz, 1822). **Acta Zoologica**, n. 86, p. 289-294, 2005.

GOMES, L.C. Physiological responses of pirarucu (*Arapaima gigas*) to acute handling stress. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 629-634, 2007.

GOMES, L.C.; ARAUJO-LIMA, C.A.R.M.; ROUBACH, R.; CHIPARI-GOMES, A.R.; LOPES, N.P. Effect of fish density during transportation on stress and mortality of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. **Journal of the World Aquaculture Society**, n. 34, p. 76-84, 2003.

GOMES, L.C.; CHAGAS, E.C.; BRINN, R.P.; ROUBACH, R.; COPPATI, C.E.; BALDISSEROTTO, B. Use of salt during transportation of air breathing pirarucu juveniles (*Arapaima gigas*) in plastic bags. **Aquaculture**, n. 256, p. 521-28, 2006.

GONZALEZ, R.J.; BRAUNER, C.J.; WANG, Y.X.; RICHARDS, J.G.; PATRICK, M.L.; XI, W.; MATEY,

V.; VAL, A.L. Impact of ontogenetic changes in branchial morphology on gill function in *Arapaima gigas*. **Physiological and Biochemical Zoology** v. 83, n. 2, p. 322-332, 2010.

GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E.J.G. **The Smithsonian atlas of the Amazon**. Washington, DC, Smithsonian Institution Press, 2003. 253p.

GROFF, A.A.; SILVA, J.; NUNES, E.A.; IANISTCKI, M.; GUECHEVA, T.N.; OLIVEIRA, A.M.; OLIVEIRA, C.P.F.; VAL, A.L.; HENRIQUES, J.A.P. UVA/UVB-induced genotoxicity and lesion repair in *Colossoma macropomum* and *Arapaima gigas* Amazonian fish. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, n. 99, p. 93-99, 2010.

HILTON, E.J.; BRITZ, R.; JOHNSON, G.D.; FOREY, P.L. Clarification of the occipito-vertebral region of *Arapaima gigas* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) through developmental osteology. **Copeia**, n. 1, p. 218-224, 2007.

HRBEK, T.; FARIAS, I.P. The complete mitochondrial genome of the pirarucu (*Arapaima gigas*, Arapaimidae, Osteoglossiformes). **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, n. 1, p. 293-302, 2008.

HRBEK, T.; FARIAS, I.P.; CROSSA, M.; SAMPAIO, I.; PORTO, J.I.R.; MEYER, A. Population genetic analysis of *Arapaima gigas*, one of the largest freshwater fishes of the Amazon basin: Implications for its conservation. **Animal Conservation**, n. 8, p. 297-308, 2005.

HRBEK, T.; CROSSA, M.; FARIAS, I.P. Conservation strategies for *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) and the Amazonian varzea ecosystem. **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 4, p. 909-917, 2007.

IMBIRIBA, E.P. Potencial de criação de pirarucu, *Arapaima gigas*, em cativeiro. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 2, p. 299-316, 2001.

ISAACKS, R.E.; KIM, H.D.; BARTLETT, G.R.; HARKNESS, D.R. Inositol pentaphosphate in erythrocytes of a freshwater fish, pirarucu (*Arapaima gigas*). **Life Sciences**, n. 20, p. 987-990, 1977.

ITUASSÚ, D.R.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R.; CRESCÊNCIO, R.; CAVERO, B.A.S.; GANDRA, A.L. Crude protein levels for juvenile pirarucu. **Pesquisa**



Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 3, p. 255-259, 2005.

JUNK, W.J. General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In: JUNK, WJ (ed.). **The central Amazon floodplain: Ecology of a pulsing system**. Berlin: Springer, pp.3-20, 1997.

LAVOUÉ, S.; SULLIVAN, J.P. Simultaneous analysis of five molecular markers provides a well-supported phylogenetic hypothesis for the living bony-tongue fishes (Osteoglossomorpha: Teleostei). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, n. 33, p. 171-185, 2004.

LE CREN, E.D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal of Animal Ecology**, v. 20, n. 2, p. 201-219, 1951.

LIN, Y.S.; WEI, C.T.; OLEVSKY, E.A.; MEYERS, M.A. Mechanical properties and the laminate structure of *Arapaima gigas* scales. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 4, n. 7, p. 1145-1156, 2011.

LIZAMA, M.A.; AMBRÓSIO, A.M. Crescimento, recrutamento e mortalidade do pequi *Moenkhausia intermedia* (Osteichthyes, Characidae) na planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum**, v.25, n. 2, p. 329-333, 2003.

MARINHO, R.G.B.; TAVARES-DIAS, M.; DIAS-GRIGÓRIO, M.K.R.; NEVES, L.R.; YOSHIOKA, E.T.O.; BOIJINK, C.L.; TAKEMOTO, R.M. Helminthes and protozoan of farmed pirarucu (*Arapaima gigas*) in eastern Amazon and host-parasite relationship. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 4, 2013.

MARINHO, R.G.B.; TOSTES, L.V.; BORGES, M.; OBA-YOSHIOKA, E.T.; TAVARES-DIAS, M. Respostas hematológicas de *Arapaima gigas* (Pisces: Arapaimidae) parasitados naturalmente por protozoários e metazoários. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 1, p.105-108, 2015.

MENEZES, G.C.; TAVARES-DIAS, M.; ONO, E.A.; ANDRADE, J.I.A.; BRASIL, E.M.; ROUBACH, R.; URBINATI, E.C.; MARCON, J.L.; AFFONSO, E.G. The influence of dietary vitamin C and E supplementation on the physiological response of pirarucu, *Arapaima gigas*, in net culture. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A:**

Molecular & Integrative Physiology, n. 145, p. 274-79, 2006.

MONTEIRO, L.B.B.; SOARES, M.C.F.; CATANHO, M.T.J.; HONCZARYK, A. Reproductive aspects and sexual steroids hormonal profiles of pirarucu, *Arapaima gigas* (SCHINZ, 1822), in captivity conditions. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 435-450, 2010.

NELSON, J.S. **Fishes of the world**. 4a. Ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 2006. 624p.

NÚÑES, J.; CHU-KOO, F.; BERLAND, M.; ARÉVALO, L.; RIBEYRO, O.; DUPONCHELLE, F.; RENNO, J.F. Reproductive success and fry production of the paiche or pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz), in the region of Iquitos, Perú. **Aquaculture Research**, n. 42, pg. 815-822, 2011.

OLIVEIRA, V.; POLETO, S.L.; VENERE, P.C. Feeding of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*, Arapaimidae) in their natural environment, lago Quatro Bocas, Araguaiana-MT, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 3, n. 2, p. 312-314, 2005.

OLIVEIRA, E.G.; PINHEIRO, A.B.; OLIVEIRA, V.Q.; SILVA-JÚNIOR, A.R.M.; MORAES, M.G.; ROCHA, I.R.C.B.; SOUSA, R.R.; COSTA, F.H.F. Effects of stocking density on the performance of juvenile pirarucu (*Arapaima gigas*) in cages. **Aquaculture**, v. 370-371, n. 11, p. 96-101, 2012.

ONO, E.A.; ROUBACH, R.; PEREIRA, M.F. Pirarucu Production – Advances in Central Amazon, Brazil. **The Global Aquaculture Advocate**, n. 6, p. 44-46, 2003.

ONO, E.A.; HALVERSON, M.R.; KUBITZA, F. Pirarucu - the forgotten giant. **Panorama da Aquicultura**, n. 81, p.14-25, 2004.

ONO, E.A.; NUNES, E.S.S.; CEDANO, J.C.C.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. Apparent digestibility coefficient of practical diets with different energy: protein ratios for pirarucu juveniles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 249-254, 2008.

PEREIRA-FILHO, M.; CAVERO, B.A.S.; ROUBACH, R.; ITUASSÚ, D.R.; GANDRA, A.; CRESCÊNCIO, R. Pirarucu (*Arapaima gigas*) husbandry in ponds. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 4, p. 715-718, 2003.

QUEIROZ, H.L.; SARDINHA, A.D. Pirarucu's preservation and sustainable use at Mamirauá. In:



QUEIROZ HL, CRAMPTON W (eds.) **Management strategies for the fisheries resources at Mamirauá**. Brasília: SCM–CNPq/MCT, p. 197, 1999.

RAMOS, C.A.; FERNANDES M.N.; COSTA, O.T.F.; DUNCAN, W.P. Implications for Osmorespiratory Compromise by Anatomical Remodeling in the Gills of *Arapaima gigas*. **The Anatomical Record**, n. 296, p. 1664–1675, 2013.

RAMOS, C.A.; RAULINO, J.C.N.; MENEZES, G.C.; CARMO, I.B.; BRASIL, E.M.; AFFONSO, E.G.; COSTA, O.T.F.; FERNANDES, M.N. Influences of Amazonian White and Black Waters on the Hematological and Biochemical Plasma Features of *Arapaima gigas* (Osteoglossiformes). **Journal of Life Sciences**, v. 8, n. 3, p. 252-261, 2014.

ROUBACH, R.; CORREIA, E.S.; ZAIDEN, S.; MARTINO, R.C.; CAVALLI, R.O. Aquaculture in Brazil. **World Aquaculture**, v. 34, n.1, p. 28-34; 70-71, 2003.

SANTOS, A.L.Q.; BRITO, F.M.M.; BOSSO, A.C.S.; VIEIRA, L.G.; SILVA-JUNIOR, L.M.; KAMINISHI, A.P.S.; SILVA, J.M.M.; PINTO, J.G.S.; MOURA, M.S.; ROSA, M.A. Anatomical behavior of the celiacomesenteric artery of pirarucu *Arapaima gigas* Cuvier, 1817 (Osteoglossiforme, Arapaimidae). **International Journal of Morphology**, v. 25, n. 4, p. 683-687, 2007.

SANTOS, S.M.C.; CECCARELLI, P.S.; LUQUE, J.L. Helminth parasites of pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) (Osteoglossiformes: Arapaimidae) from Araguaia River, State of Mato Grosso, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 17, n. 3, p. 171-173, 2008.

SANTOS, G.M.; FERREIRA, E.J.G.; ZUANON, J.A.S. **Peixes comerciais de Manaus**. Manaus: Ibama/ProVárzea. 2006. 144p.

SHOEMAKER, C.A.; EVANS, J.J.; KLESIOUS, P.H. Density and dose: factors affecting mortality of *Streptococcus iniae* infected tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 188, n. 3-4, p. 229-235, 2000.

STEWART, D.J. A New Species of *Arapaima* (Osteoglossomorpha: Osteoglossidae) from the Solimões River, Amazonas State, Brazil. **Copeia**, v. 2013, n. 3, p. 470-476, 2013a.

STEWART, D.J. Re-description of *Arapaima agassizii* (Valenciennes), a Rare Fish from Brazil

(Osteoglossomorpha: Osteoglossidae). **Copeia**, v. 2013, n. 1, p. 38-51, 2013b.

TAVARES-DIAS, M.; MATAQUEIRO, M.I. Características hematológicas, bioquímicas e biométricas de *Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887 (Osteichthyes: Characidae) oriundos de cultivo intensivo. **Acta Scientiarum**, n. 26, p. 157-162, 2004.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. Características hematológicas da *Tilapia rendalli* Boulenger, 1896 (Osteichthyes: Cichlidae) capturada em "Pesque-Pague" de Franca, São Paulo, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 19, n. 1, p. 103-110, 2003.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. **Hematologia em peixes teleosteos**. Villimpress: Ribeirão Preto, SP. 2004.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. Hematological parameters for the *Brycon orbignyanus*, 1850 (Osteichthyes: Characidae) intensively bred. **Hidrobiológica**, v. 16, n. 3, p. 273-276, 2006.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. Leukocyte and thrombocyte reference values for channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf), with an assessment of morphologic, cytochemical, and ultrastructural features. **Veterinary Clinical Pathology**, n. 36, p. 49-54, 2007a.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. Haematological and biochemical reference intervals for farmed channel catfish. **Journal of Fish Biology**, n. 71, p. 383–388, 2007b.

TAVARES-DIAS, M., BOZZO, F.R., SANDRIN, E.F.S., CAMPOS-FILHO, E.; MORAES, F.R. Células sanguíneas, eletrólitos séricos, relação hepato e esplenosomática de carpa-comum, *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) na primeira maturação gonadal. **Acta Scientiarum**, n. 26, p. 73–80, 2004.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. ONAKA, E.M.; REZENDE, P.C.B. Changes in blood parameters of hybrid tambacu fish parasitized by *Dolops carvalhoi* (Crustacea, Branchiura), a fish louse. **Veterinarski Arhiv**, n. 77, p. 355-363, 2007a.

TAVARES-DIAS, M.; BARCELLOS, J.F.M.; MARCON, J.L.; MENEZES, G.C.; ONO, E.A.; AFFONSO, E.G. Hematological and biochemical parameters for the pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Osteoglossiformes, Arapaimatidae) in net cage



culture. **Electronic Journal of Ichthyology**, n. 2, p. 61-68, 2007b.

TAVARES-DIAS, M.; ARAÚJO, C.S.O.; GOMES, A.L.S.; ANDRADE, S.M.S. Relação peso-comprimento e fator de condição relativo (Kn) do pirarucu *Arapaima gigas* Schinz, 1822 (Arapaimidae) em cultivo semi-intensivo no estado do Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 12, n. 1, p. 59-65, 2010.

TEIXEIRA, A.S. The monotony of transferrin and esterase electrophoretic patterns in pirarucu, *Arapaima gigas* (Schinz, 1822) from Santa Cruz Lake, Tefé River, Amazonas, Brazil. **Genetics Molecular Researchers**, v. 7, n. 2, p. 407-416, 2008.

TORRES, F.G.; TRONCOSO, O.P.; NAKAMATSU, J.; GRANDE, C.J.; GÓMEZ, C.M. Characterization of the

nanocomposite laminate structure occurring in fish scales from *Arapaima gigas*. **Materials Science Engineering: C**, v. 28, p. 1276-1283, 2008.

TORRES, F.G.; TRONCOSO, O.P.; AMAYA, E. The effect of water on the thermal transitions of fish scales from *Arapaima gigas*. **Materials Science Engineering: C**, v. 32, n. 8, p. 2212-2214, 2012.

VENTURIERI, R.; BERNARDINO, G. Pirarucu, espécie ameaçada pode ser salva através do cultivo. **Revista Panorama da Aqüicultura**, v. 9, n. 53, p. 13-21, 1999.

WATSON, L.C.; STEWART, D.J.; TEECE, M.A. Trophic ecology of *Arapaima* in Guyana: giant omnivores in neotropical floodplains. **Neotropical Ichthyology**, v. 11, n. 2, p. 341-349, 2013