

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS PESQUEIRAS**  
**NOS TRÓPICOS – PPG-CIPET**

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DO PIRARUCU (*Arapaima*  
*gigas*) NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NHAMUNDÁ,  
AMAZONAS**

**ADAILTON MOREIRA DA SILVA**

**MANAUS - AM**

**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS PESQUEIRAS**  
**NOS TRÓPICOS – PPG-CIPET**

**ADAILTON MOREIRA DA SILVA**

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DO PIRARUCU (*Arapaima*  
*gigas*) NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NHAMUNDÁ,  
AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (PPG-CIPET) da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de doutor em Ciências Pesqueiras nos Trópicos. **Área de Concentração:** Uso Sustentável de Recursos Pesqueiros Tropicais

**Orientador:** Dr. Wallice Luiz Paxiúba Duncan

**MANAUS - AM**

**2018**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586a Silva, Adailton Moreira da  
Aspectos Ecofisiológicos do Pirarucu (*Arapaima gigas*) na Área de Proteção Ambiental Nhamundá, AM / Adailton Moreira da Silva.  
2018  
136 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Wallice Luiz Paxiúba Duncan  
Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Adaptabilidade. 2. Ecofisiologia. 3. *Arapaima gigas* (pirarucu).  
4. Tipos de águas. 5. Amazônia. I. Duncan, Wallice Luiz Paxiúba II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título

**ADAILTON MOREIRA DA SILVA**

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DO PIRARUCU (*Arapaima  
gigas*) NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NHAMUNDÁ,  
AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (PPG-CIPET) da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de doutor em Ciências Pesqueiras nos Trópicos. **Área de Concentração:** Uso Sustentável de Recursos Pesqueiros Tropicais

**Aprovado em 12 de Janeiro de 2018**

**Dr. Wallice Luiz Paxiúba Duncan**, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas

**Dra. Cleusa Suzana Oliveira de Araújo**  
Universidade do Estado do Amazonas

**Dra. Marieta Nascimento de Queiroz**  
**Profa. Dra. Márcia Regina Fragoso Machado**  
Universidade Federal do Amazonas

**Dr. Jose Fernando Marques Barcellos**  
Universidade Federal do Amazonas

## ***DEDICATÓRIA***

*Aos meus pais (Adamor e Ilza), a minha esposa (Patricia) e aos meus filhos (Alex Douglas, Alessandra e Aliandra). Foi por vocês que tudo aconteceu.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado coragem e força para vencer mais uma etapa de minha vida.

A minha família, pais, esposa, filhos, por sempre estarem ao meu lado quando eu precisei, pela compreensão quando estava ausente em minhas jornadas por conhecimento e pelo incentivo na luta para conquistar meus objetivos.

A FAPEAM (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas) pela concessão da bolsa de doutorado e pelo aporte financeiro com o Edital Universal (011/2011).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wallice Paxiúba Duncan, por acreditar em minha pessoa, pela valiosa contribuição científica nos experimentos e análise dos dados e pela confiança através do uso de seu Laboratório de Morfologia Funcional na UFAM.

Aos discentes e docentes do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do CESP-UEA pela compreensão e apoio durante minhas ausências para cursar as disciplinas e realizar as atividades de campo e laboratório.

A Universidade do Estado do Amazonas, pela concessão de um ano de licença (março de 2016 a fevereiro de 2017).

Ao IBAMA/SISBIO pela concessão da licença para captura de pirarucus na Área de Proteção Ambiental (APA) Nhamundá através da autorização n. 34649-3.

Ao DEUC (Departamento Estadual de Unidades de Conservação/SEMA) pela concessão de autorização n. 69/2014 para realizar pesquisas na APA Nhamundá, em especial ao gerente Sr. Otávio Souza, que muito me ajudou para realização das coletas e análises de campo. Espero um dia retribuir todo esforço a mim dispensado.

A todos que fazem parte do Programa de Pós Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (PPG-CIPET), através de seus coordenadores e administrativos, que me apoiaram durante o decorrer do doutorado.

Enfim, aos ribeirinhos, comunitários, técnicos de laboratório, pescadores, bolsistas de iniciação científica, bolsistas de apoio a projetos e bolsistas de extensão que direta ou indiretamente contribuíram neste trabalho, através da amizade, estímulo, auxílio nas coletas, transporte dos animais e também nas análises de campo.

## RESUMO

A presente tese descreve os principais aspectos ecofisiológicos de pirarucu (*Arapaima gigas*) adultos e alevinos advindos de ambientes aquícolas da Área de Proteção Ambiental (APA) Nhamundá. A APA Nhamundá é uma confluência entre os rios Nhamundá (água preta) e rio Amazonas (água branca), os quais permitem formar diversos intermediários resultantes do aporte de água de um dos rios. O pirarucu é animal rústico e que, do ponto de vista fisiológico é fenotipicamente plástico capaz de tolerar diferentes tipos de ambientes. Neste sentido, foram analisados exemplares adultos de *A. gigas* capturados em cinco lagos dentro da APA Nhamundá. Para estes animais foram descritos valores de referência para a hematologia, bioquímica plasmática (hemoglobina, eritrócitos, hematócrito, índices hematimétricos, íons plasmáticos e metabólitos nitrogenados), enzimas metabólicas (lactato desidrogenase, LDH e malato desidrogenase, MDH) e índices corporais (fator de condição e fator de condição relativo). Observou-se que os parâmetros da fisiologia do sangue, bem como enzimáticos, estão intimamente associados às características físicas e químicas de cada ambiente onde o peixe foi coletado. Para testar a hipótese que as variáveis fisiológicas e metabólicas são influenciadas pelas características químicas e físicas do ambiente, juvenis pesando 20-75 g (16-23 cm de comprimento total) foram experimentalmente mantidos por 7 e 14 dias na água preta do Rio Nhamundá, água branca do Rio Amazonas e em viveiro (tanque escavado). Nestes exemplares foram analisados os índices corporais, hematológicos, bioquímicos do plasma e atividade enzimática da LDH e MDH em diferentes tecidos. Tal como observado nos animais adultos, os parâmetros hematológicos e as enzimas metabólicas variaram em função das características físicas e químicas da água onde os peixes permaneceram submetidos. Portanto, tanto juvenis quanto os adultos de pirarucu demonstraram elevada plasticidade fisiológica e metabólica em relação aos diferentes tipos de água (com profundas variações de pH, condutividade, concentração de sais, dureza, alcalinidade, transparência e concentração de oxigênio). Estes resultados fornecem explicações fisiológicas sobre as características rústicas e adaptáveis do pirarucu em diferentes ambientes na Amazônia.

**Palavras-chaves:** Adaptabilidade, Ambientes Amazônicos, *Arapaima*, Tipos de Água.



## ABSTRACT

The present thesis describes the main ecophysiological aspects of pirarucu (*Arapaima gigas*) adults and fingerlings coming from aquatic environments of the Nhamundá Environmental Protection Area (APA). The APA Nhamundá is a confluence between the Nhamundá (black water) and the Amazonas (white water) rivers, which allow to form several intermediates resulting from the water supply of one of the rivers. The pirarucu is a rustic animal and, from the physiological point of view, is phenotypically plastic capable of tolerating different types of environments. In this sense, adult specimens of *A. gigas* captured in five lakes within the APA Nhamundá were analyzed. For these animals, reference values for hematology, plasma biochemistry (hemoglobin, erythrocytes, hematocrit, hematimetric indexes, plasma ions and nitrogen metabolites), metabolic enzymes (lactate dehydrogenase, LDH and malate dehydrogenase, MDH) and body indexes (condition relative and condition factor). It was observed that the parameters of the blood physiology, as well as enzymatic, are closely associated with the physical and chemical characteristics of each environment where the fish was collected. To test the hypothesis that the physiological and metabolic variables are influenced by the chemical and physical characteristics of the environment, juveniles weighing 20-75 g (16-23 cm total length) were experimentally maintained for 7 and 14 days in the black water of the Nhamundá River, white water of the Amazon River and in nursery (excavated tank). In these specimens the body, hematological, biochemical of the plasma indexes and the enzymatic activity of LDH and MDH in different tissues were analyzed. As observed in adult animals, hematological parameters and metabolic enzymes varied according to the physical and chemical characteristics of the water where the fish remained submitted. . Therefore, both juveniles and pirarucu adults showed high physiological and metabolic plasticity in relation to different types of water (with profound variations in pH, conductivity, salt concentration, hardness, alkalinity, transparency and oxygen concentration). These results provide physiological explanations about the rustic and adaptive characteristics of pirarucu in different environments in the Amazon.

**Key-Words:** Adaptability, Amazonian Environments, *Arapaima*, Types of Water.

## LISTA DE TABELAS

Pg.

### Capítulo II

**Tabela 1:** Descrição dos lagos com as suas coordenadas (GPS), identificação da cor e sedimentos das águas superficiais de lagos de várzea da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e a cheia de 2015..... 54

**Tabela 2:** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros transparência (TRAN), profundidade (PROF), temperatura (TEMP), oxigênio dissolvido (OD), pH e condutividade (CON) das águas superficiais de lagos de várzea da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e cheia 2015. Letras desiguais na coluna indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ )..... 55

**Tabela 3:** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros dureza, alcalinidade, amônia e concentrações de sais Na, K e Ca das águas superficiais da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e cheia de 2015. Letras desiguais na coluna indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ )..... 60

### Capítulo III

**Tabela 1:** Locais de coletas, coordenadas e número amostral de pirarucus na APA Nhamundá..... 76

**Tabela 2:** Médias $\pm$ DP dos índices físico-químicos das águas superficiais de diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ )..... 80

**Tabela 3:** Médias $\pm$ DP dos índices corporais de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p < 0,05$ )..... 83

**Tabela 4:** Médias $\pm$ DP dos índices hematológicos do sangue de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ )..... 84

**Tabela 5:** Médias±DP das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em seis tecidos de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p<0,05$ )..... 91

**Tabela 6:** Médias±DP da relação MDH/LDH em sete tecidos de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p<0,05$ ). Valores altos indicam metabolismo oxidativo..... 93

## Capítulo IV

**Tabela 1:** Locais dos experimentos, coordenadas e número amostral de alevinos de pirarucus. T1 = sete dias; T2= quatorze dias..... 107

**Tabela 2:** Médias±DP dos índices físico-químicos das águas superficiais dos diferentes ambientes de inserção dos alevinos. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 113

**Tabela 3:** Médias±DP dos índices corporais de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 115

**Tabela 4:** Médias±DP dos índices hematológicos do sangue de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 116

**Tabela 5:** Médias±DP das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em sete tecidos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo, local e enzima indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 122

**Tabela 6:** Médias±DP da relação MDH/LDH em sete tecidos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 127

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

**Figura 1:** Exemplos de *Arapaima gigas* pescados na Área de Proteção Ambiental Nhamundá, lago Mambari, em dezembro de 2013. Fonte: arquivo dos autores... 21

**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... 25

### Capítulo II

**Figura 1.** Mapa da APA Nhamundá, estado do Amazonas. A numeração corresponde aos pontos de coleta dos dados: 1- Rio Nhamundá; 2- Lago Xixiá; 3- Lago Boa Vista; 4- Lago Tarumã; 5- Lago Papauru; 6- Canal Vista Alegre; 7- Igarapé Papaurú; 8- Lago Algodal; 9- Lago Madabá; 10- Canal do Capitão; 11- Lago Mambari; 12- Lago Periquito; 13- Lago Cuibá Grande; 14- Lago Arrozal; 15- Lago Brus; 16- Canal Bom Sucesso; 17- Lago Maria Raimunda..... 53

**Figura 2:** Comparação das médias ± erro padrão dos índices de transparência (A), profundidade (B), temperatura (C), oxigênio dissolvido (D), pH (E) e condutividade (F) das águas de diferentes ambientes aquáticos da APA Nhamundá durante a seca de 2014 (■) e cheia de 2015 (□). Letras desiguais indicam diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ )..... 60

**Figura 3:** Comparação das médias ± erro padrão dos índices de dureza (A), alcalinidade (B), amônia (C), sódio (D), potássio (E) e cálcio (F) das águas de diferentes ambientes aquáticos da APA Nhamundá durante a seca de 2014 (■) e

cheia de 2015 (□). Letras desiguais indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ )..... 64

### Capítulo III

**Figura 1:** Mapa ilustrativo da APA Nhamundá, ponto de confluência dos rios Amazonas (água branca) e Nhamundá (água preta). Pontos de coleta de animais: 1- lago Mambari (n=7); 2- lago do Brus/arrozal (n=6); 3- lago da Maria Raimunda (n=5); 4- lago Madabá (n=5); 5- lago Papaurú (n=5). **Fonte:** base cartográfica IBAMA (2010)..... 76

**Figura 2:** Foto ilustrativa de um exemplar de pirarucu adulto coletado na APA Nhamundá. **Fonte:** arquivo do autor..... 76

**Figura 3:** Relação do peso e comprimento (RPC) e o  $R^2$  de pirarucus oriundos da APA Nhamundá..... 84

### Capítulo IV

**Figura 1:** Mapa ilustrativo do locais onde foram executados os experimentos: 1- rio Nhamundá (água preta); 2- lago Madabá/Capitão (água branca); 3- Viveiro em Parintins (água verde)..... 108

**Figura 2:** Foto ilustrativa de alevinos adquiridos em pisciculturas regionais e utilizados na inserção em diferentes ambientes. **Fonte:** arquivo do autor..... 109

**Figura 3:** Relação do peso e comprimento (RPC) de alevinos de pirarucus utilizados no presente estudo..... 116

# SUMÁRIO

	Pg.
<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivo Geral.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
<b>CAPITULO I - Aspectos biológicos, ecologia e fisiologia do pirarucu (<i>Arapaima gigas</i>): uma revisão da literatura.....</b>	<b>17</b>
Resumo.....	17
Abstract.....	18
1. Introdução.....	18
2. Metodologia.....	20
3. Revisão da literatura.....	20
3.1. Aspectos biológicos gerais.....	20
3.2. Classificação taxonômica.....	22
3.3. O cultivo e reprodução.....	23
3.4. O crescimento, ciclo de vida e anatomia.....	24
3.5. Variáveis hematológicas e fisiológicas em resposta ao estresse de cultivo.	28
3.6. Respiração aérea e a osmorregulação.....	31
3.7. Parasitismo em Pirarucus.....	34
4. Considerações finais.....	35
Agradecimentos.....	36
Divulgação.....	37
Referências bibliográficas.....	37
<b>CAPITULO II – Índices físico-químicos das águas na cheia e na seca de diferentes ambientes da APA Nhamundá, AM.....</b>	<b>49</b>
Resumo.....	49

Abstract.....	50
1. Introdução.....	50
2. Materiais e métodos.....	52
2.1 Amostragem.....	52
2.2 Parâmetros físico-químicos e concentração de sais.....	52
2.3 Análises estatísticas.....	53
3. Resultados e Discussão.....	54
4. Conclusões.....	66
Agradecimentos.....	66
Referencia bibliográficas.....	66

**CAPITULO III - Valores hematológicos e atividade enzimática da LDH e MDH de pirarucus (*Arapaima gigas*) oriundos de ambientes naturais na APA Nhamundá,**

<b>AM .....</b>	<b>70</b>
Resumo.....	70
Abstract.....	71
1. Introdução.....	71
2. Metodologia.....	74
2.1. Área de estudo.....	74
2.2. Amostragem e delineamento experimental.....	74
2.3. Dados biométricos.....	75
2.4. Análises hematológicas.....	77
2.5. Taxa de enzimas metabólicas LDH e MDH.....	78
2.6. Análise Físico-química da Água.....	79
2.7. Análise Estatística.....	79
3. Resultados e discussão.....	80
3.1. Aspectos físico-químicos das águas dos lagos.....	80
3.2. Índices Corporais e Hematológicos.....	82
3.3. Atividade enzimática da LDH e MDH.....	89
4. Conclusão.....	93
Agradecimentos.....	93

Referências bibliográficas.....	94
---------------------------------	----

**CAPITULO IV – Valores hematológicos e atividade enzimática da LDH e MDH de alevinos de pirarucu (*Arapaima gigas*) submetidos a diferentes ambientes ..... 103**

Resumo.....	103
Abstract.....	104
1. Introdução.....	104
2. Metodologia.....	107
2.1. Área de estudo.....	107
2.2. Amostragem e delineamento experimental.....	108
2.3. Dados biométricos.....	109
2.4. Análises hematológicas.....	110
2.5. Taxa de enzimas metabólicas LDH e MDH.....	111
2.6. Análise Físico-química da Água.....	112
2.7. Análise Estatística.....	112
3. Resultados e discussão.....	113
3.1. Índices físico-químicos das águas.....	113
3.2. Índices Corporais e Hematológicos`.....	115
3.3. Atividade enzimática da LDH e MDH.....	122
4. Conclusão.....	127
Agradecimentos.....	128
Referências bibliográficas.....	128



## APRESENTAÇÃO

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. É uma espécie intensamente explorada e com grande potencialidade para a piscicultura semi-intensiva e intensiva 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. Apesar dos vários estudos sobre os aspectos biológicos e adaptativos do pirarucu, vazios permanecem sobre o conhecimento de sua complexidade biológica. O presente estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental Nhamundá, AM, situada entre a confluência do rio Nhamundá (água preta) e rio Amazonas (água branca) e tem como objetivo geral caracterizar os aspectos ecofisiológicos de pirarucus em ambientes naturais. Os resultados foram organizados em forma de artigo científico em quatro capítulos formatados com base nas normas da revista eletrônica *Science Amazonica* (disponível em <http://www.scientia-amazonia.org>). Somente o primeiro artigo foi publicado sendo os demais em construção podendo ou não ser submetidos à publicação na referida revista.

O **capítulo I** apresenta um artigo de revisão da literatura onde o mesmo cita os principais relatos científicos relacionados aos aspectos biológicos gerais, a classificação taxonômica, o cultivo, a reprodução, a fisiologia, a osmorregulação e o parasitismos do pirarucu tanto em ambientes naturais como em cativeiros contribuindo para a disseminação do conhecimento sobre esta espécie. O texto é introdutório em relação aos outros capítulos, contextualizando a importância do estudo da fisiologia destes animais e sua relação com o ambiente.

O **capítulo II** é um artigo científico que descreve os parâmetros físico-químicos das águas superficiais de lagos, canais e rios, tanto na seca quanto na cheia situados na APA Nhamundá nos anos de 2014 e 2015. Comparações entre os ambientes aquáticos demonstraram variações na cor, quantidade de sedimentos, pH, condutividade, dureza e alcalinidade que possivelmente influenciam a diversidade ictiofaunística regional.

O **capítulo III** é um artigo que descreve os índices corporais, hematológicos e a atividade enzimática da LDH (lactato desidrogenase) e MDH (malato desidrogenase) em pirarucus adultos coletados nos lagos Maria Raimunda (cor verde), Mambari (cor branca), Arrozal/Brus (cor branca), Madabá (cor branca) e Papaurú (cor verde) situados dentro da APA Nhamundá. Estes dados são inéditos para animais de ambientes naturais e podem ser usados como referência em estudos futuros.

Com o intuito de descrever a ação do ambiente na fisiologia de pirarucus, o **Capítulo IV** apresenta os índices hematológicos e a atividade enzimática da LDH e MDH de alevinos de pirarucus submetidos durante 7 e 14 dias em águas verdes (viveiro em Parintins), pretas (rio Nhamundá) e brancas (canal Capitão). Os dados obtidos no experimento, também são inéditos para animais inseridos em ambientes naturais com características físico-químicas diversas e podem ser usados como referência para outras análises.

## **OBJETIVOS**

### **Geral**

- Caracterizar os aspectos ecofisiológicos de pirarucus na APA Nhamundá, estado do Amazonas.

### **Específicos**

- **Capítulo I:** Realizar uma revisão bibliográfica sobre os aspectos ecofisiológicos do pirarucu descrito na literatura.
- **Capítulo II:** Descrever os índices físico-químicos das águas de corpos d'água da APA Nhamundá.
- **Capítulo III:** Descrever os índices hematológicos e a atividade enzimática da LDH e MDH de pirarucus adultos coletados em lagos de várzea da APA Nhamundá.
- **Capítulo IV:** Descrever os índices hematológicos e a atividade enzimática da LDH e MDH de alevinos de pirarucus submetidos a diferentes ambientes.

## CAPITULO I

### **Aspectos biológicos, ecologia e fisiologia do pirarucu (*Arapaima gigas*): uma revisão da literatura<sup>1</sup>**

#### **Biological aspects, ecology and physiology of arapaima (*Arapaima gigas*): a literature review**

Adailton Moreira da Silva<sup>2,3</sup>; Wallice Luiz Paxiúba Duncan<sup>4</sup>

**Publicado na *Scientia Amazonia*, v. 5, n. 3, p. 31-46, 2016.**

Revista on-line <http://www.scientia-amazonia.org>, ISSN: 2238.1910.

#### **Resumo**

O presente trabalho tem como objetivo relatar pesquisas que descrevem a ecologia, o cultivo, a reprodução, o ciclo de vida, a fisiologia, a osmorregulação 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, larva e pós-larva, juvenil e adulto. O corpo é cilíndrico achatado na nadadeira dorsal revestido por grandes escamas ciclóides e granuladas.

---

<sup>1</sup>Integrante de tese de doutorado do autor Adailton Moreira da Silva.

<sup>2</sup>Doutorando do PPG em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, FCA, UFAM

<sup>3</sup>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

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

É resistente a vários estressores ambientais, contudo, as respostas fisiológicas a estes são diferentes em intensidade e duração. Dificuldades osmorregulatórias 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, osmorregulação, Amazônia.

### Abstract

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 spawned, couple's 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.

**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 pela 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 rústicos, crescimento rentável, grande porte, carne saborosa e sem espinhas constituindo-se em uma importante fonte de alimento (ONO et al., 2004, 2008; PEREIRA-FILHO 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). Também há 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 vêm 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 osmorregulação 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 ([www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)). As palavras “*Arapaima*, fisiologia, ecologia, estressores ambientais e cultivo” foram às 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, ordem Osteoglossiformes, cuja origem data do período Jurássico (FERRARIS JR., 2003). É a maior espécie de peixe de escama do mundo podendo pesar até 200 kg 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 intensidade e o número variam de acordo com o sexo e o período de reprodução (VENTURIERI e BERNARDINO, 1999).

São 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 viventes tendo como origem o período Jurássico (165 milhões de anos no passado) possivelmente no supercontinente Pangeia, 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 *Hidan* na América do Norte (FERRARIS Jr., 2003). A ordem engloba menos de 1% dos teleósteos viventes 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 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). Podem ser criados 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 proteicas 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 mantêm-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 associada 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). O perfil hormonal de  $17\beta$ -estradiol, confirma que a mancha alaranjada na região inferior da cabeça é uma característica sexual secundária do macho e que fêmeas de 3 a 4 anos apresentam maior preparo fisiológico para a reprodução do que fêmeas com mais de quatro anos (MONTEIRO et al.,2010). Estudos reprodutivos com animais em cativeiro demonstram 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 isso fundamentando a possibilidade de produção sustentável durante quase oito meses por ano (NÚÑES et al., 2011).

#### **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 três ou quatro 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).

O ciclo de vida do pirarucu pode ser dividido em quatro diferentes períodos. O primeiro 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; COUTINHO et al., 2010; MONTEIRO et al., 2010). O segundo ocorre aproximadamente após sete a dez dias da fecundação, sendo que dos ovos fertilizados eclodem as larvas e pós-larvas (Figura 2). Nesta fase, permanecem 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).



**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.

A fase juvenil do pirarucu corresponde ao terceiro ciclo de vida, período caracterizado pelo comprimento total com menos do que 165 cm 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).

O pirarucu atinge a maturidade após quatro a cinco anos de idade, o que corresponde ao quarto período do ciclo de vida (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. Também há 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 mucóide que, de acordo com ribeirinhos e piscicultores da região Amazônica, alimenta os alevinos que estão próximos à 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 próxima a duas fileiras de escamas atrás da origem da dorsal, e a caudal é arredondada. As nadadeiras abdominais e ventrais 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 mesentérico-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 *Achtiptoerygii* (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 quanto 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 atribuída 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. Exemplos 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 considerada 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  $100 \pm 0\%$  e  $94,7 \pm 5\%$  para 10 e 12,5 peixes/m<sup>3</sup>, respectivamente. Segundo os autores, a densidade afetou significativamente ( $p < 0,05$ ) a média do peso final ( $2630,4 \pm 213,7$  e  $2138,0 \pm 148,2$ g) e do aumento de peso ( $2516,9 \pm 202$  e  $2043,1 \pm 142,9$ g). Em contraste, a taxa de crescimento específico ( $2,25 \pm 0,09$  e  $2,22 \pm 0,06\%$ /dia), a razão de conversão alimentar ( $1,2 \pm 0,1$  e  $1,2 \pm 0,2$ ) e a produção de biomassa ( $26,3 \pm 2,1$  e  $25,4 \pm 2,6$  kg/m<sup>3</sup>) 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 25mg/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 as 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 à suas características evolutivas, pois *Arapaima gigas* é um Actinopterigeano 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 osmorregulação representa um mecanismo altamente eficaz 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 àqueles sujeitos a ambientes diferentes ao seu habitat natural e suas possíveis respostas fisiológicas.

### **3.6. Respiração aérea e a osmorregulação**

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 (10 g) as brânquias são qualitativamente similares em aparência ao *Osteoglossum bicirrhosum*, um animal de respiração branquial filogeneticamente relacionado ao *Arapaima gigas*, contudo, em peixes maiores (100–1000 g), 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-regulatório 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 osmorregulação 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 osmorregulação 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 800-1000 g transportados em sistema aberto (GOMES et al., 2003), porém, não há benefício no uso de sal durante o transporte de juvenis (1-30 g) 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 osmorregulação que possibilita usar ambos os sistemas.

Bezerra et al. (2013) descrevem variação na osmorregulação 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 osmorrespiratório. 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 ( $\approx 200$  g) enquanto que em grandes animais ( $\approx 2.000$  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, sistemas de água preta são considerados barreiras à 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 submetida 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 osmorrespiratório 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 intensamente influenciadas 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).

### **3.7. 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 fisiológicas 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 à origem mais primitiva deste animal comparado com outros teleósteos vivos (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. O(s) autor (es) 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 bibliográficas

ALMEIDA-VAL, V.M.F.; VAL, A.L.; WALKER, I. Long-and short-term adaptation of Amazon fishes to varying O<sub>2</sub>-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, Arapaimatidae), 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, 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, 2003<sup>a</sup>.

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, 2003<sup>b</sup>.

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 $\beta$ -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, N°2, 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.; CHIPPARI-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: Jonh 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. **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.; KLESIUS, 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 teleósteos**. 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, 2007<sup>a</sup>.

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 47 ran 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 Zociências**, 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

## CAPITULO II

### Índices físico-químicos das águas na cheia e na seca de diferentes ambientes da APA Nhamundá, AM

Adailton Moreira da Silva<sup>1,2</sup>; Wallice Luiz Paxiúba Duncan<sup>3</sup>

#### Resumo

Objetivo deste estudo é descrever os parâmetros físico-químicos das águas superficiais de lagos da APA Nhamundá, estado do Amazonas. A amostragem foi realizada em 17 localidades georeferenciadas tanto na seca de 2014 e cheia de 2015. Os ambientes foram caracterizados visualmente quanto à cor e quantidade de sedimentos. A transparência foi determinada utilizando um disco de Secchi, assim como, a profundidade foi estimada utilizando um batímetro improvisado. Foi utilizado equipamento multiparâmetro para determinar oxigênio dissolvido (mg/L), pH, temperatura (°C) e a condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), assim como, amostras foram coletadas e utilizando kits comerciais foram determinadas a alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$  mg/L), dureza ( $\text{CaCO}_3$  mg/L) e amônia (mg/L). Para as concentrações de sais  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  foram utilizadas fotometria de chama. Os resultados demonstram diferenças significativas nos parâmetros físicos e químicos nos ambientes analisados. A coloração e quantidade de sedimentos permitem agrupar em quatro tipos de ambientes: águas pretas sem sedimentos (rio Nhamundá e lago Algodoal), águas verdes com pouco sedimento (canal Vista Alegre e igarapé Papaurú), águas verdes com muito sedimento (lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã, Papaurú e Maria Raimunda) e águas brancas com muito sedimento (lagos Madabá, Mabari, Periquito, Cuibá Grande, Arrozal, Brus e canais Capitão e Bom Sucesso). As águas esverdeadas são resultante confluência entre o rio Amazonas (água branca) e rio Nhamundá (água preta). Houve diferenças sazonais significativas das variáveis na maioria dos locais amostradas, principalmente nos denominados ambientes de mistura (esverdeadas) relacionada à descarga de sedimentos e a origem dos dois rios, como descrito na literatura. Novos estudos são necessários para verificar o efeito destas diferenças sobre a fauna aquática da região.

**Palavras-chaves:** Ambiente Aquático, Lagos de Várzea, Parintins, Sazonalidade.

---

<sup>1</sup>Doutorando do PPG em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, FCA, UFAM.

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup>Professor Doutor do Laboratório de Morfologia Funcional, Instituto de Ciências Biológicas, UFAM. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Japiim, 69077-000, Manaus, AM

## Abstract

The objective of this study is to describe the physical-chemical parameters of the surface waters of lakes of APA Nhamundá, state of Amazonas. The sampling was carried out in 17 locale georeferenced both in the drought of 2014 and full of 2015. The environments were visually characterized by the color and quantity of sediments. Clearance was determined using a Secchi disk, as well as depth was estimated using an improvised batímetro. A multiparameter device was used to determine dissolved oxygen (mg/L), pH, temperature (°C) and conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), as well as samples were collected and using commercial kits were determined alkalinity ( $\text{CaCO}_3$  mg/L), hardness ( $\text{CaCO}_3$  mg/L) and ammonia (mg/L). For the concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  salts, flame photometry was used. The results demonstrate significant differences in physical and chemical parameters in the analyzed environments. The color and quantity of sediments allow to settle in different environments: black waters without sediments (rio Nhamundá and lago Algodal), green waters with little sediment (canal Vista Alegre and igarapé Papaurú), green waters with a lot of sediment (lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã, Papaurú and Maria Raimunda) and white waters with a lot of sediment (lagos Madabá, Mabari, Periquito, Cuibá Grande, Arrozal, Brus, canais Capitão and Bom Sucesso). The green waters result from the confluence between the Amazon River (white water) and Nhamundá River (black water). There were significant seasonal differences of the variables in most of the sampled sites, mainly in the called mixing environments (greenish) related to sediment discharge and the origin of the two rivers, as described in the literature. Further studies are needed to verify the effect of these differences on the aquatic fauna of the region.

**Key-words:** Aquatic Environment, FloodplainLakes, Parintins, Seasonal.

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica do Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica, ramificando-se desde os Andes até o oceano Atlântico, gerando uma diversidade ambiental com diferentes tipos de águas, como as de coloração escura do rio Negro, as brancas do rio Amazonas e as claras do rio Tapajós (SIOLI, 1968; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2014). As áreas alagadas amazônicas são definidas como ambientes que recebem, periodicamente, o aporte lateral dos rios devido à flutuação anual de seus níveis, sendo classificadas em várzea e igapós (JUNK, 2000).

Este sistema fluvial extenso e de grande massa líquida é coberto por uma floresta pluvial tropical apresentando uma área de drenagem de sete milhões de quilômetros quadrados resultante de efeitos geológicos e climáticos que ocorreram ao longo do tempo originado uma paisagem com ambientes de terra firme, serras e planícies de inundação (SIOLI, 1991). Estudos geoquímicos nos rios da Amazônia mostram que há uma relação direta entre o ambiente e a química das águas o que

permite avaliar a influência do ambiente na sua composição (LATRUBESSE et al., 2010; JUNK et al., 2011; HORBE et al., 2013). Porém ainda há a carência quanto ao registro de série histórica que confirmem a caracterização de áreas de várzea, sendo que o enfoque maior é relacionado às calhas dos rios Solimões, Amazonas e Negro, de modo que poucos estudos foram realizados em outras drenagens (PRAIA et al., 2010; ROCHA et al., 2013). A diversidade ambiental é ampliada pela variedade hidrográfica da região, cujas águas podem ser classificadas utilizando alguns parâmetros físicos e químicos como cor, pH, e material suspenso, em três grupos: as águas pretas com pH ácido (3,8 a 5,9) e baixa quantidade de material suspenso; as brancas com pH entre 6,8 a 7,4 e grande quantidade de sedimentos; e as águas claras com pH entre 4,8 a 7 com pouca matéria em suspensão (SIOLI, 1968; HORBE et al., 2013; RÍOS-VILLAMIZAR et al., 2014).

As planícies de inundação amazônicas são depressões que recebem periodicamente água dos grandes rios, sendo que esses ambientes são classificados de acordo com sua fertilidade em igapó (áreas alagadas por rios de água preta) e várzea (áreas alagadas por rios de água branca) (JUNK, 2000; JUNK et al, 2011). A pesca na várzea é a atividade responsável pela principal fonte de proteína e renda para muitas comunidades ribeirinhas (RAMALHO et al., 2009). A Área de Preservação Ambiental (APA) Nhamundá (Figura 1), é responsável pela maior parte da produção pesqueira do baixo amazonas e apresenta extensão de 195.900ha de ambiente de várzea, com 70% no município de Parintins e 30% do no município de Nhamundá, com influência dos rios Nhamundá e Amazonas, abrigando 1370 famílias ribeirinhas cuja principal atividade é a pesca artesanal (CEUC, 2010).

Assim, este trabalho tem como objetivo descrever os parâmetros físico-químicos das águas superficiais de lagos, canais e rios, tanto na seca quanta na cheia situados na APA Nhamundá, AM.

## **2. Materiais e métodos**

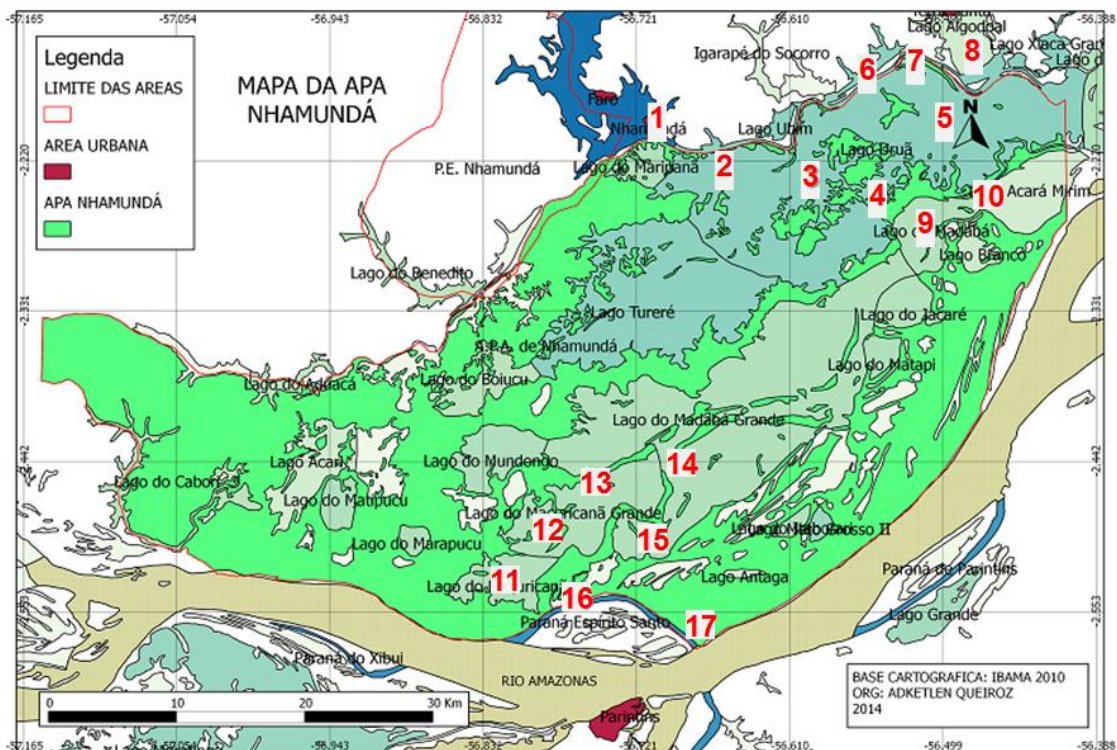
### **2.1 Amostragem**

Os dados foram obtidos durante duas excursões a APA Nhamundá realizadas nos meses de novembro a dezembro de 2014 (seca) e maio a junho de 2015 (cheia) com autorização n. 69/2014 do DEUC (Departamento Estadual de Unidades de Conservação). A figura 1 e tabela 1 listam os pontos de amostragem com suas respectivas coordenadas. Foram realizadas coletas de dados no rio Nhamundá, lago Xixiá, lago Boa Vista, lago Tarumã, lago Papauru; canal Vista Alegre, igarapé Papauru, lago Algodal, lago Madabá, canal do Capitão, lago Mambari, lago Periquito, lago Cuibá Grande, lago Arrozal, lago Brus, canal Bom Sucesso, lago Maria Raimunda. Durante as excursões foram realizadas observações visuais da quantidade de sedimento e do aspecto da coloração da água, assim como foram realizadas amostragem a jusante, entre as 8 e 10 horas da manhã, em duplicatas nas margens esquerda, direita e centro de cada localidade. Também foi realizado georeferenciamento utilizando GPS Garmim (modelo Etrex 12 channel).

### **2.2 Parâmetros físico-químicos e concentração de sais**

As descrições dos ambientes foram realizadas com base nas observações no momento da coleta dos dados. A transparência (cm) foi obtida utilizando disco de Secchi acoplado a uma fita métrica. A profundidade (metros) foi verificada através da utilização de um batímetro improvisado com peso e fita métrica. Para obtenção dos dados físico-químicos foi utilizado *in loco* o equipamento multiparâmetro (marca AKSO com precisão  $\pm 0,1$  em cada variável) para registrar os valores do pH, temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxigênio dissolvido (OD) (mg/L) e condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ ). Também, durante as medições, amostras de águas superficiais (até 0,5 m de profundidade) foram coletadas em tubos Falcon (50ml) e transportadas ao Laboratório de Biologia (CESP-UEA) onde foram determinadas a dureza ( $\text{CaCO}_3$  mg/L), alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$  mg/L) e amônia (N-NH<sub>3</sub> mg/L) utilizando kits comerciais da ALFAKIT, assim como, ao Laboratório de Morfologia Funcional da UFAM para determinar a

concentração de sais  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/L) utilizando fotometria de chama (DIGIMED).



**Figura 1.** Mapa da APA Nhamundá, estado do Amazonas. A numeração corresponde aos pontos de coleta dos dados: 1- Rio Nhamundá; 2- Lago Xixiá; 3- Lago Boa Vista; 4- Lago Tarumã; 5- Lago Papauru; 6- Canal Vista Alegre; 7- Igarapé Papaurú; 8- Lago Algodoal; 9- Lago Madabá; 10- Canal do Capitão; 11- Lago Mambari; 12- Lago Periquito; 13- Lago Cuibá Grande; 14- Lago Arrozal; 15- Lago Brus; 16- Canal Bom Sucesso; 17- Lago Maria Raimunda. **Fonte:** Base Cartográfica do IBAMA (2010).

### 2.3 Análises estatísticas

Os dados foram tabulados utilizando o programa Excel e analisados estatisticamente de forma descritiva pela média e desvio padrão. Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk para determinar a normalidade das amostras. Quando em distribuição normal foi empregada a Análise de variância (ANOVA one way) e quando necessário o teste de Tukey para comparação de médias ( $p < 0,05$ ), quando os dados foram não paramétricos foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis seguido, se necessário, do teste de Student-Newman-Keuls para comparação de médias ( $p < 0,05$ ), todos os cálculos foram realizados utilizando o pacote estatístico BIOSTAT.

### 3. Resultados e Discussão

As coordenadas, identificação da cor e sedimentos dos corpos d'água aqui estudados estão listados na tabela 1. Visualmente há diferenças na coloração e quantidade de material em suspensão diferenciando quatro tipos: os de água preta sem sedimentos (rio Nhamundá e lago Algodal), os de águas esverdeadas com pouco sedimento (canal vista alegre e igarapé Papaurú), os de águas esverdeadas barrentas (lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã, Papaurú e Maria Raimunda) e os de águas brancas barrentas (canal Bom Sucesso e Capitão, lagos Madabá, Mambari, Periquito, Cuibá Grande, Arrozal e Brus). Estas características são resultantes da confluência dos rios Nhamundá (água preta) e rio Amazonas (água branca), os quais dão origem aos lagos de várzea característicos da APA Nhamundá, pois estudos geoquímicos em outros rios amazônicos demonstram que há uma relação direta entre a geologia regional e a química das águas o que permite avaliar a influência do ambiente na sua composição (LATRUBESSE et al., 2010; JUNK et al., 2011; HORBE et al., 2013).

**Tabela 1:** Descrição dos lagos com as suas coordenadas (GPS), identificação da cor e sedimentos das águas superficiais de lagos de várzea da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e a cheia de 2015.

Lagos	GPS	Cor	Sedimentos
Rio Nhamundá	2°11'15.4"S 56°42'21.1"W	Preta	Sem
Lago Xixiá	2°14'20.9"S 56°39'58.6"W	Verde	Barrenta
Lago Boa Vista	2°13'53.4"S 56°34'50.2"W	Verde	Barrenta
Lago Tarumã	2°16'27.0"S 56°33'36.3"W	Verde	Barrenta
Lago Papauru	2°10'31.0"S 56°30'24.7"W	Verde	Barrenta
Canal Vista Alegre	2°09'21.5"S 56°32'37.9"W	Verde	Pouco
Igarapé Papauru	2°09'11.0"S 56°31'01.5"W	Verde	Pouco
Lago Algodal	2°07'24.0"S 56°29'02.7"W	Preta	Sem
Lago Madabá	2°16'13.4"S 56°31'06.2"W	Branca	Barrenta
Canal do Capitão	2°15'02.7"S 56°29'29.7"W	Branca	Barrenta
Lago Mambari	2°31'04.1"S 56°47'51.4"W	Branca	Barrenta
Lago Periquito	2°30'03.5"S 56°45'33.3"W	Branca	Barrenta
Lago Cuibá Grande	2°27'44.2"S 56°43'12.7"W	Branca	Barrenta
Lago Arrozal	2°28'30.8"S 56°40'40.2"W	Branca	Barrenta
Lago Brus	2°30'03.0"S 56°42'33.5"W	Branca	Barrenta
Canal Bom Sucesso	2°32'02.3"S 56°46'11.9"W	Branca	Barrenta
Lago Maria Raimunda	2°34'19.1"S 56°40'22.4"W	Verde	Barrenta



Os dados das médias e desvio padrão sobre a transparência, profundidade, temperatura, OD, pH e condutividade estão sumarizados na Tabela 2. Todos os parâmetros possuem variações diretamente relacionadas com os tipos de águas classificadas visualmente de acordo com a cor e presença de sedimentos. As médias agrupadas por tipos de água são apresentadas na figura 2.

**Tabela 2:** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros transparência (TRAN), profundidade (PROF), temperatura (TEMP), oxigênio dissolvido (OD), pH e condutividade (CON) das águas superficiais de lagos de várzea da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e cheia 2015. Letras desiguais na coluna indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

Lagos	Transparencia cm	Profundid ade m	Temperatura °C	Oxigênio Dissolvido mg/L	pH	Condutivi dade µS/cm
<b>Seca (novembro a dezembro 2014)</b>						
Rio Nhamundá	94,2±3,4 <sup>a</sup>	2,5±0,4 <sup>a</sup>	32,6±0,1 <sup>a</sup>	4,7±0,1 <sup>a</sup>	4,7±0,2 <sup>a</sup>	6,4±0,1 <sup>a</sup>
Lago Xixiá	37,2±1,0 <sup>b</sup>	1,3±0,2 <sup>b</sup>	31,2±0,2 <sup>b</sup>	5,2±0,1 <sup>a</sup>	7,5±0,1 <sup>b</sup>	29,3±0,1 <sup>b</sup>
Lago Boa Vista	27,3±1,0 <sup>c</sup>	3,7±1,5 <sup>c</sup>	32,4±0,1 <sup>a</sup>	4,9±0,1 <sup>a</sup>	8,0±0,2 <sup>b</sup>	31,3±0,3 <sup>b</sup>
Lago Tarumã	14,7±1,2 <sup>d</sup>	1,3±0,1 <sup>b</sup>	31,5±0,1 <sup>b</sup>	4,7±0,2 <sup>a</sup>	7,8±0,1 <sup>b</sup>	38,7±0,1 <sup>d</sup>
Lago Papauru	25,5±1,4 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>b</sup>	31,3±0,3 <sup>b</sup>	4,0±0,2 <sup>b</sup>	6,9±0,2 <sup>b</sup>	27,7±1,2 <sup>b</sup>
Canal Vista Alegre	50,7±4,2 <sup>e</sup>	3,8±0,4 <sup>c</sup>	31,2±0,1 <sup>b</sup>	2,8±0,1 <sup>c</sup>	5,9±0,1 <sup>c</sup>	8,8±0,0 <sup>a</sup>
Igarapé Papauru	48,8±0,8 <sup>e</sup>	3,2±0,3 <sup>c</sup>	32,7±0,1 <sup>a</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	6,6±0,9 <sup>c</sup>	9,1±0,1 <sup>a</sup>
Lago Algodual	79,3±1,2 <sup>†</sup>	4,8±0,6 <sup>d</sup>	32,7±0,1 <sup>a</sup>	4,2±0,1 <sup>b</sup>	6,7±0,0 <sup>c</sup>	11,3±0,1 <sup>a</sup>
Lago Madabá	18,8±0,2 <sup>d</sup>	1,5±0,1 <sup>b</sup>	31,0±0,1 <sup>b</sup>	4,8±0,1 <sup>a</sup>	6,8±0,2 <sup>b</sup>	38,2±0,1 <sup>d</sup>
Canal do Capitão	21,2±0,8 <sup>d</sup>	2,0±0,1 <sup>a</sup>	31,2±0,1 <sup>b</sup>	2,8±0,2 <sup>c</sup>	7,2±0,2 <sup>b</sup>	35,8±0,6 <sup>d</sup>
Lago Mambari	25,0±1,1 <sup>c</sup>	1,8±0,1 <sup>a</sup>	31,7±1,2 <sup>b</sup>	3,75±0,3 <sup>b</sup>	6,9±0,1 <sup>b</sup>	45,1±3,5 <sup>c</sup>
Lago Periquito	23,5±1,2 <sup>d</sup>	1,8±0,1 <sup>a</sup>	32,8±0,0 <sup>a</sup>	4,1±0,2 <sup>b</sup>	7,1±0,0 <sup>b</sup>	47,4±1,1 <sup>c</sup>
Lago Cuiabá Grande	19,2±0,8 <sup>d</sup>	2,0±0,1 <sup>a</sup>	30,8±0,6 <sup>d</sup>	2,6±0,0 <sup>c</sup>	6,6±0,2 <sup>b</sup>	37,2±3,4 <sup>d</sup>
Lago Arrozal	22,5±1,2 <sup>d</sup>	1,9±0,1 <sup>a</sup>	31,8±0,1 <sup>b</sup>	3,6±0,0 <sup>b</sup>	7,0±0,1 <sup>b</sup>	57,9±0,1 <sup>e</sup>
Lago Brus	20,2±0,8 <sup>d</sup>	2,0±0,1 <sup>a</sup>	30,8±0,7 <sup>d</sup>	2,6±0,1 <sup>c</sup>	6,8±0,2 <sup>b</sup>	40,8±8,8 <sup>d</sup>
Canal Bom Sucesso	22,5±1,2 <sup>d</sup>	1,8±0,1 <sup>a</sup>	30,5±0,6 <sup>d</sup>	2,9±0,2 <sup>c</sup>	7,2±0,0 <sup>b</sup>	39,8±4,9 <sup>d</sup>
Lago Maria Raimunda	29,8±1,5 <sup>c</sup>	2,4±0,2 <sup>a</sup>	28,8±0,4 <sup>e</sup>	3,1±0,1 <sup>c</sup>	6,0±0,2 <sup>c</sup>	42,4±1,7 <sup>d</sup>
<b>Cheia (maio a junho de 2015)</b>						
Rio Nhamundá	97,0±2,4 <sup>a</sup>	8,8±0,7 <sup>†</sup>	29,5±0,2 <sup>c</sup>	3,0±0,1 <sup>c</sup>	4,4±0,1 <sup>a</sup>	9,2±0,2 <sup>a</sup>
Lago Xixiá	26,7±2,0 <sup>c</sup>	6,1±0,2 <sup>d</sup>	30,5±0,4 <sup>d</sup>	2,1±0,1 <sup>d</sup>	5,8±0,1 <sup>c</sup>	42,6±0,5 <sup>c</sup>
Lago Boa Vista	24,0±1,8 <sup>c</sup>	8,4±0,2 <sup>f</sup>	30,7±0,2 <sup>d</sup>	2,0±0,1 <sup>d</sup>	5,9±0,0 <sup>c</sup>	43,3±0,4 <sup>c</sup>
Lago Tarumã	20,2±1,2 <sup>d</sup>	5,6±0,3 <sup>d</sup>	30,2±0,2 <sup>c</sup>	2,6±0,1 <sup>c</sup>	6,1±0,1 <sup>c</sup>	45,2±0,1 <sup>c</sup>
Lago Papauru	27,8±1,2 <sup>c</sup>	5,5±0,2 <sup>d</sup>	30,0±0,1 <sup>c</sup>	2,0±0,1 <sup>d</sup>	5,6±0,1 <sup>c</sup>	34,3±0,3 <sup>d</sup>
Canal Vista Alegre	86,2±3,7 <sup>f</sup>	9,3±0,1 <sup>f</sup>	29,8±0,2 <sup>c</sup>	2,1±0,1 <sup>d</sup>	5,31±0,1 <sup>c</sup>	31,6±0,2 <sup>b</sup>
Igarapé Papauru	79,0±0,9 <sup>f</sup>	7,9±0,1 <sup>g</sup>	29,9±0,1 <sup>c</sup>	2,0±0,1 <sup>d</sup>	5,5±0,0 <sup>c</sup>	34,3±0,2 <sup>d</sup>
Lago Algodual	103,5±3,8 <sup>a</sup>	7,4±0,2 <sup>g</sup>	29,9±0,1 <sup>c</sup>	3,2±0,1 <sup>c</sup>	6,3±0,1 <sup>c</sup>	9,8±0,1 <sup>a</sup>

Lago Madabá	20,8±1,0 <sup>d</sup>	5,9±0,1 <sup>d</sup>	30,4±0,2 <sup>d</sup>	2,4±0,1 <sup>c</sup>	5,9±0,1 <sup>c</sup>	45,3±0,2 <sup>c</sup>
Canal Capitão	21,3±1,2 <sup>d</sup>	6,3±0,9 <sup>d</sup>	29,8±0,1 <sup>c</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	5,8±0,1 <sup>c</sup>	45,3±0,2 <sup>c</sup>
Lago Mambari	26,2±0,8 <sup>c</sup>	6,8±0,1 <sup>d</sup>	30,5±0,3 <sup>d</sup>	3,4±0,1 <sup>b</sup>	6,8±0,1 <sup>b</sup>	42,7±1,2 <sup>c</sup>
Lago Periquito	25,8±1,5 <sup>c</sup>	5,4±0,2 <sup>d</sup>	30,8±0,1 <sup>d</sup>	3,6±0,3 <sup>b</sup>	7,1±0,1 <sup>b</sup>	45,4±0,8 <sup>c</sup>
Lago Cuibá Grande	19,2±0,8 <sup>d</sup>	6,0±0,3 <sup>d</sup>	30,4±0,1 <sup>d</sup>	2,7±0,0 <sup>c</sup>	6,9±0,1 <sup>b</sup>	40,5±1,1 <sup>d</sup>
Lago Arrozal	22,5±1,2 <sup>d</sup>	5,4±0,2 <sup>d</sup>	30,3±0,4 <sup>d</sup>	3,3±0,0 <sup>b</sup>	7,0±0,1 <sup>b</sup>	44,5±0,3 <sup>c</sup>
Lago Brus	20,2±0,8 <sup>d</sup>	5,7±0,2 <sup>d</sup>	30,8±0,7 <sup>d</sup>	2,9±0,0 <sup>c</sup>	6,9±0,1 <sup>b</sup>	39,5±0,4 <sup>d</sup>
Canal Bom Sucesso	22,5±1,2 <sup>d</sup>	6,3±0,1 <sup>d</sup>	30,5±0,6 <sup>d</sup>	2,9±0,1 <sup>c</sup>	7,2±0,0 <sup>b</sup>	36,7±2,2 <sup>d</sup>
Lago Maria Raimunda	29,8±1,5 <sup>c</sup>	5,4±0,1 <sup>d</sup>	29,8±0,1 <sup>c</sup>	2,8±0,1 <sup>c</sup>	6,1±0,2 <sup>c</sup>	41,7±0,2 <sup>d</sup>

A transparência apresenta valores elevados no rio Nhamundá, lago Algadoal, canal Vista Alegre e Igarapé Papauru, o que está diretamente relacionado a pouca quantidade de material em suspensão, tendendo a aumentar no período da cheia. Por outro lado, foram observados índices inferiores nos lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã, Papauru, Madabá, Mabari, Periquito, Cuibá Grande, Arrozal, Brus, Maria Raimunda e canais Capitão e Bom Sucesso onde os mesmos apresentam alta quantidade de sedimentos não diferindo significativamente com o advento da cheia, esta diferença é bem evidenciada sazonalmente quando se agrupa os dados por tipo de água (Figura 2A). Estes resultados estão em conformidade aos descritos por outros estudos em rios amazônicos (PRAIA et al. 2010; ROCHA et al., 2013; RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014).

A profundidade apresentou no período da seca os menores valores nos lagos Xixiá (1,3±0,2 m), Tarumã (1,30±0,11 m), Papaurú (1,5±0,1 m) e Madabá (1,2±0,1 m) e os mais elevados no rio Nhamundá (2,5±0,4 m), lago Boa Vista (3,7±1,5 m), Algadoal (3,8±0,4 m), canal Vista Alegre (3,2±0,3 m) e Igarapé Papaurú (4,8±0,6 m). Na cheia, todos os locais amostrados apresentam diferenças significativas, sendo o rio Nhamundá (8,8±0,7 m) o de maior aporte, influenciando com isso o canal Vista Alegre (9,3±0,1 m) e o Igarapé Papaurú (7,9±0,1 m). Os demais lagos são influenciados, possivelmente, pela descarga aquícola advindo do rio Amazonas. Houve diferenças sazonais entre os tipos de água (Figura 2B), sendo estas relacionadas diretamente ao ciclo hidrológico da região. Estes resultados estão em

conformidade aos descritos na literatura (PRAIA et al., 2010; ROCHA et al., 2013; RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014).

A temperatura média teve valores elevados em praticamente todos os ambientes durante o período da estiagem, sendo que os de coloração escura e esverdeada com pouco sedimento apresentaram os maiores valores, como o rio Nhamundá com  $32,6 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . O lago Maria Raimunda apresentou o índice mais baixo com  $28,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ . Durante a cheia, os ambientes de coloração escura e esverdeada, como rio Nhamundá ( $29,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ) e o lago Maria Raimunda ( $29,8 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ), apresentaram os menores valores em relação aos de cor branca com muito sedimento, como os lagos Periquito ( $30,8 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ) e Brus ( $30,8 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ ). Quando comparados sazonalmente observa-se diferenças em todos os locais amostrados, com exceção dos lagos Cuibá Grande, Brus e canal Bom Sucesso que não diferiram no ciclo hidrológico. Há uma tendência de elevação da temperatura durante a seca em relação à cheia (Figura 2C), provavelmente deve-se a diminuição da lâmina d'água durante a vazante, o que favorece a difusão do calor (RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014). Esses valores são semelhantes aos encontrados por Rocha et al. (2013) nas calhas dos rios Solimões e Purus e seus principais afluentes. As temperaturas de águas superficiais refletem fatores como clima, altitude, tipo e extensão de mata ciliar e contribuição de águas subterrâneas e efluentes (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

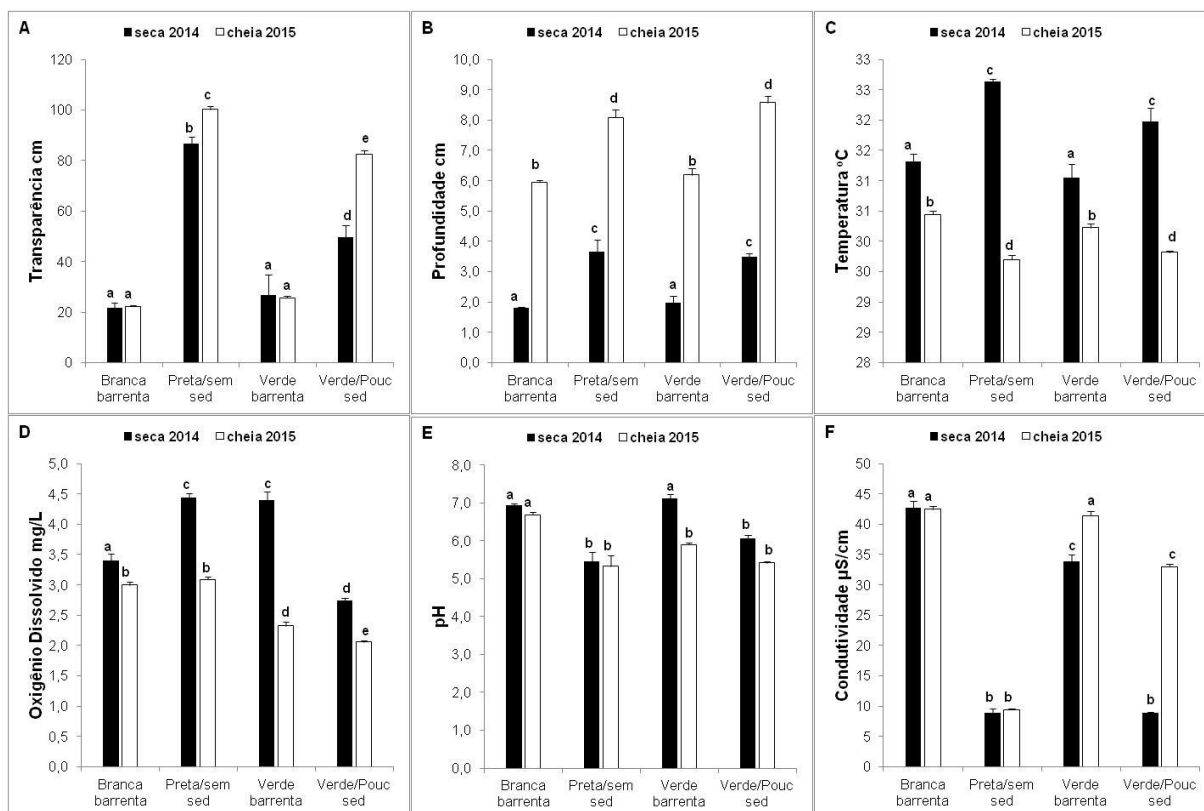
O oxigênio dissolvido apresentou valores mais elevados durante a seca do que os observados em relação à cheia. Os ambientes de coloração escura e esverdeada apresentaram valores maiores do que os de coloração branca (Figura 2D), provavelmente derivado da maior intensidade luminosa registrada nestes ambientes. As menores concentrações de OD no período da alta do rio deve-se provavelmente ao maior aporte de material orgânico para dentro do ambiente aquático, que pode aumentar o consumo de oxigênio na decomposição biológica (FIORUCCI e BENEDETTI-FILHO, 2005). As variações dos níveis de oxigênio dissolvido na água dependem diretamente do processo fotossintético, da respiração e da decomposição de matéria orgânica no meio aquático, os quais dependem da intensidade da luz e da temperatura, que variam diariamente em regiões tropicais (ESTEVES, 2011). A maioria dos locais apresentam valores das concentrações de

oxigênio dissolvido fora do valor permitido pela legislação vigente na resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). Chapman e Kimstach (1992) afirmam que concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mg/L ameaçam o funcionamento e a sobrevivência da comunidade biológica e abaixo de 2 mg/L podem levar à morte da maioria dos peixes. Apesar dos valores de oxigênio registrados neste estudo durante a enchente apresentam valores abaixo de 3,0 mg/L não foi observada a mortalidade de peixes, pois as espécies dos rios da bacia Amazônica apresentam adaptações morfofisiológicas que possibilitam a sobrevivência em ambientes com baixas concentrações de oxigênio dissolvido (LOWE-MCCONELL, 1999; SILVA et al., 2016). Os valores aqui relatados são semelhantes aos encontrados por outros autores em rios amazônicos (SANT'ANA 2006; PRAIA et al., 2010; ROCHA et al., 2013; RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014).

Os valores obtidos para pH foram homogêneos no período da seca, principalmente nos ambientes com muito sedimento (branca e esverdeada) com diminuição nos de pouco ou nenhum sedimento (preta e esverdeada). O valor mais baixo foi encontrado no rio Nhamundá ( $4,7 \pm 0,2$ ) e o mais alto no lago Boa Vista ( $8,0 \pm 0,2$ ). Na cheia, os valores de pH mantiveram equivalentes aos do período da seca, com exceção das águas verdes barrentas (lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã e Papaurú) e de cor branca (Mandabá e canal Capitão) onde diminuição do pH, provavelmente pela influência do aporte do rio Nhamundá. De acordo com Esteves (2011), o pH é considerado uma variável importante e complexa devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo, assim, os locais que apresentam valores baixos têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos e os de valores altos podem estar relacionados às atividades biológicas como a fotossíntese e respiração. Quando os dados das localidades são agrupados por tipo de água há diferenças significativas nos ambientes com coloração verde e muito sedimento (Figura 2E). Estes durante a estiagem apresentam pH alcalino, provavelmente influenciado pela composição química do rio Amazonas (RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014), e na elevação das águas apresentam pH ácidos, influenciados pelo aporte do rio Nhamundá (HORBE e OLIVEIRA, 2008). Este resultado é semelhante ao descrito

na literatura para outros ambientes amazônicos (SANT'ANA, 2006; PRAIA et al., 2010; ROCHA et al., 2013; RIOS-VILLAMIZAR et al., 2014).

A condutividade variou no período da seca de  $6,4\pm 0,1$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  no rio Nhamundá a  $57,9\pm 0,1$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  no Lago Arrozal, enquanto que no período da cheia variou de  $9,2\pm 0,2$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  no rio Nhamundá a  $44,5\pm 0,3$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  no Lago Arrozal. Deste modo, observa-se que a condutividade é mais elevada nos ambientes de coloração branca e verde com muito sedimento (Figura 2F) já que este parâmetro é a medida indireta da quantidade de íons dissolvidos presentes na água indicando aporte de soluções mais concentradas em elementos solúveis, possivelmente em consequência das rochas ígneas por onde percolam (GUYOT et al., 2007; HORBE e OLIVEIRA, 2008). Para Horbe et al. (2013) os íons  $\text{SiO}_2$ , K e Na são os de maiores teores quando a condutividade está elevada, por tanto, relacionando a mesma com a presença de partículas carregadas eletricamente dissolvidas na água, variando de acordo com a temperatura e o pH do ambiente. Quando as concentrações ultrapassarem 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o ambiente pode estar impactado por ações antrópicas e podem indicar características corrosivas da água de acordo com a resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). A condutividade apresentou valores semelhantes entre os sistemas de água branca, diferentemente dos ambientes de cor verde que demonstraram diferenças significativas, com exceção do igarapé Papaurú. O rio Nhamundá (água preta) não apresentou diferença sazonal em relação à condutividade elétrica.



**Figura 2:** Comparação das médias  $\pm$  erro padrão dos índices de transparência (A), profundidade (B), temperatura (C), oxigênio dissolvido (D), pH (E) e condutividade (F) das águas de diferentes ambientes aquáticos da APA Nhamundá durante a seca de 2014 (■) e cheia de 2015 (□). Letras desiguais indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

Os dados sobre a dureza, alcalinidade, amônia, sódio, potássio e cálcio estão sumarizados na Tabela 3. Estes parâmetros também possuem variações diretamente relacionadas aos tipos de águas sendo que as médias agrupadas podem ser visualizadas na figura 3.

**Tabela 3:** Valores médios e desvio padrão dos parâmetros dureza, alcalinidade, amônia e concentrações de sais Na, K e Ca das águas superficiais da APA Nhamundá durante a seca de 2014 e cheia de 2015. Letras desiguais na coluna indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

Lagos	Dureza CaCO <sub>3</sub> mg/L	Alcalinidade CaCO <sub>3</sub> mg/L	Amônia mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L
<b>Seca (novembro a dezembro 2014)</b>						
Rio Nhamundá	0,0 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	12,1 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0,7 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	1,8 $\pm$ 1,0 <sup>a</sup>	0,7 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	0,2 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>
Lago Xixiá	16,2 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	18,2 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	1,3 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	4,5 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	1,6 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	0,5 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>
Lago Boa Vista	16,3 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	18,1 $\pm$ 1,3 <sup>b</sup>	1,4 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>	3,3 $\pm$ 0,3 <sup>c</sup>	1,5 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	0,4 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>
Lago Tarumã	16,3 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	19,7 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	1,2 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	3,6 $\pm$ 0,2 <sup>c</sup>	1,7 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	0,5 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>
Lago Papauru	8,1 $\pm$ 0,1 <sup>c</sup>	16,1 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	1,1 $\pm$ 0,1 <sup>b</sup>	3,1 $\pm$ 0,3 <sup>c</sup>	0,6 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0,7 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>
Canal Vista	2,1 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	12,1 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0,9 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	2,1 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	0,5 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	0,7 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>

Alegre						
Igarapé Papauru	2,1±0,1 <sup>a</sup>	11,3±0,3 <sup>a</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	2,1±0,4 <sup>a</sup>	0,9±0,1 <sup>c</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
Lago Algodual	0,0±0,0 <sup>a</sup>	16,1±0,1 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>	1,9±0,3 <sup>a</sup>	0,6±0,1 <sup>a</sup>	0,8±0,1 <sup>b</sup>
Lago Madabá	12,4±0,2 <sup>c</sup>	24,4±0,2 <sup>c</sup>	1,8±0,2 <sup>c</sup>	3,6±0,4 <sup>c</sup>	1,0±0,2 <sup>c</sup>	1,2±0,4 <sup>c</sup>
Canal do Capitão	12,1±0,1 <sup>c</sup>	22,1±0,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	3,4±0,4 <sup>c</sup>	1,0±0,1 <sup>c</sup>	1,2±0,3 <sup>c</sup>
Lago Mambari	12,1±0,1 <sup>c</sup>	16,1±0,1 <sup>b</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	4,0±0,3 <sup>c</sup>	0,8±0,2 <sup>c</sup>	2,1±0,4 <sup>d</sup>
Lago Periquito	10,3±2,0 <sup>c</sup>	17,0±1,1 <sup>b</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	3,7±0,2 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>d</sup>	2,1±0,1 <sup>d</sup>
Lago Cuibá Grande	29,2±1,0 <sup>d</sup>	24,5±1,5 <sup>c</sup>	0,7±0,1 <sup>a</sup>	3,6±0,4 <sup>c</sup>	1,7±0,2 <sup>b</sup>	2,4±0,3 <sup>d</sup>
Lago Arrozal	27,0±1,1 <sup>d</sup>	26,0±2,2 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	2,9±0,1 <sup>c</sup>	1,3±0,1 <sup>d</sup>	2,1±0,2 <sup>d</sup>
Lago Brus	29,0±1,1 <sup>d</sup>	25,0±1,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	3,0±0,2 <sup>c</sup>	1,3±0,2 <sup>d</sup>	1,9±0,0 <sup>d</sup>
Canal Bom Sucesso	21,0±1,1 <sup>d</sup>	25,0±1,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	3,0±0,2 <sup>c</sup>	1,3±0,1 <sup>d</sup>	2,0±0,2 <sup>d</sup>
Lago Maria Raimunda	10,3±1,5 <sup>c</sup>	15,3±0,8 <sup>b</sup>	0,8±0,3 <sup>a</sup>	1,9±0,2 <sup>a</sup>	1,0±0,2 <sup>c</sup>	1,2±0,18 <sup>c</sup>
<b>Cheia (maio a junho de 2015)</b>						
Rio Nhamundá	1,0±0,4 <sup>a</sup>	10,9±1,0 <sup>a</sup>	0,7±0,2 <sup>a</sup>	0,7±0,1 <sup>a</sup>	0,7±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>
Lago Xixiá	18,3±0,2 <sup>b</sup>	28,3±0,2 <sup>b</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,2±0,1 <sup>b</sup>	0,8±0,1 <sup>a</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
Lago Boa Vista	18,6±0,3 <sup>b</sup>	25,6±0,3 <sup>b</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,3±0,1 <sup>b</sup>	0,9±0,0 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
Lago Tarumã	16,3±0,3 <sup>c</sup>	27,4±1,3 <sup>b</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,5±0,1 <sup>b</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,2±0,2 <sup>b</sup>
Lago Papauru	12,2±0,2 <sup>d</sup>	17,9±0,4 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,6±0,1 <sup>c</sup>	1,0±0,0 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
Canal Vista Alegre	12,2±0,2 <sup>d</sup>	18,8±0,2 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>a</sup>	0,9±0,2 <sup>a</sup>	0,2±0,0 <sup>a</sup>
Igarapé Papauru	11,5±0,3 <sup>d</sup>	12,3±0,2 <sup>a</sup>	0,7±0,2 <sup>a</sup>	1,9±0,1 <sup>a</sup>	0,6±0,1 <sup>a</sup>	0,3±0,0 <sup>a</sup>
Lago Algodual	2,2±0,2 <sup>a</sup>	11,3±1,2 <sup>a</sup>	0,7±0,2 <sup>a</sup>	0,8±0,1 <sup>a</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	0,2±0,0 <sup>a</sup>
Lago Madabá	17,4±0,1 <sup>b</sup>	20,4±0,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,7±0,2 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>a</sup>	0,93±0,2 <sup>b</sup>
Canal do Capitão	19,5±0,2 <sup>b</sup>	22,8±0,1 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>
Lago Mambari	16,4±0,3 <sup>c</sup>	20,1±0,2 <sup>c</sup>	0,7±0,1 <sup>a</sup>	2,9±0,1 <sup>d</sup>	1,1±0,1 <sup>b</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>
Lago Periquito	15,3±1,1 <sup>c</sup>	22,2±0,2 <sup>c</sup>	0,7±0,1 <sup>a</sup>	2,8±0,1 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>c</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>
Lago Cuibá Grande	20,2±0,6 <sup>b</sup>	21,5±0,6 <sup>c</sup>	0,8±0,1 <sup>a</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>b</sup>
Lago Arrozal	20,0±0,7 <sup>b</sup>	22,3±1,0 <sup>c</sup>	0,8±0,1 <sup>b</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	1,2±0,1 <sup>c</sup>	1,8±0,2 <sup>c</sup>
Lago Brus	29,0±1,1 <sup>e</sup>	25,0±1,1 <sup>d</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	2,7±0,1 <sup>c</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	1,9±0,1 <sup>c</sup>
Canal Bom Sucesso	21,0±1,1 <sup>b</sup>	23,2±1,0 <sup>c</sup>	0,9±0,1 <sup>b</sup>	3,0±0,1 <sup>d</sup>	1,0±0,1 <sup>b</sup>	2,0±0,1 <sup>c</sup>
Lago Maria Raimunda	16,3±0,3 <sup>c</sup>	18,1±0,2 <sup>c</sup>	1,0±0,0 <sup>c</sup>	2,7±0,3 <sup>c</sup>	1,1±0,2 <sup>b</sup>	1,2±0,1 <sup>b</sup>

A dureza apresenta números elevados nos sistemas que possuem coloração esverdeada (Figura 3A), principalmente durante a seca, onde essas diferenças são significativas, os menores valores (0,0) nessa fase ocorrem no rio Nhamundá e no lago Algodual e os maiores nos lagos Cuibá Grande (29,2±1,0 mg/L), Arrozal (27,0±1,1 mg/L) e Brus (29,0±1,1 mg/L). Os demais apresentam valores intermediários. Quando comparados sazonalmente, há uma tendência para o aumento da dureza na maioria dos ambientes amostrados na elevação das águas, com exceção dos lagos Tarumã, Brus e canal Bom Sucesso que os índices permaneceram sem diferenças e dos lagos Cuibá grande e Arrozal que diminuíram

seu valores. O lago Algodal e o rio Nhamundá tiveram seus valores zeros aumentados durante a cheia. As diferenças listadas acima deve-se a presença de íons de cálcio e magnésio presentes na água nas formas de bicarbonatos de cálcio e de magnésio ou de sulfatos de cálcio e de magnésio que tendem a aumentar no período chuvoso devido a percolação e escoamento superficial do solo que margeiam os ambientes aquáticos (PAIVA e SOUZA, 2010).

Os dados da alcalinidade no período da cheia expressam consideráveis variações entre as localidades, sendo os lagos de água branca com os maiores valores, seguidos dos de água verde barrenta com valores intermediários e os de água preta e verde com pouco sedimento com os menores índices (Figura 3B). Houve também variações durante as fases do ciclo hidrológico com tendência a aumento dos valores nos lagos de padrão intermediários durante a cheia, com exceção dos lagos Papaurú e Maria Raimunda que não apresentaram diferenças significativas. O lago Xixiá foi o ponto com maior incidência de variação entre seca e cheia, provavelmente influenciadas pelo aporte do rio Amazonas. Por outro lado, o rio Nhamundá expressou o menor valor. Esta variação e amplitude são consequência da quantidade de material em suspensão, como hidróxidos de cálcio ou de magnésio, carbonatos de cálcio ou de magnésio, bicarbonatos de cálcio ou de magnésio e bicarbonatos de sódio ou de potássio, pois estas substâncias são capazes de reagir com ácidos, ou seja, alcalinidade é a capacidade quantitativa de neutralizar um ácido forte até um determinado pH (MIRANDA et al., 2009).

Durante a cheia, a amônia não demonstrou diferenças significativas entre os ambientes amostrados, provavelmente resultantes do aporte maior de água ocasionando diluições destes compostos. Por outro lado, na seca, os números são significativos, principalmente, nos lagos Xixiá ( $1,3 \pm 0,1$  mg/L), Boa vista ( $1,4 \pm 0,3$  mg/L), Tarumã ( $1,2 \pm 0,2$  mg/L), Papaurú ( $1,1 \pm 0,1$  mg/L), Algodal ( $1,1 \pm 0,1$  mg/L) e Madabá ( $1,8 \pm 0,2$  mg/L). Os demais não demonstraram qualquer diferença durante as duas fases do ciclo hidrológico. Quando comparados agrupados em tipos de águas (Figura 3C), apenas os de ambiente de coloração esverdeada apresentara diferenças significativas, provavelmente resultantes da influência do ciclo hidrológico, pois durante a estação seca, os lagos podem ficar isolados comprometendo a

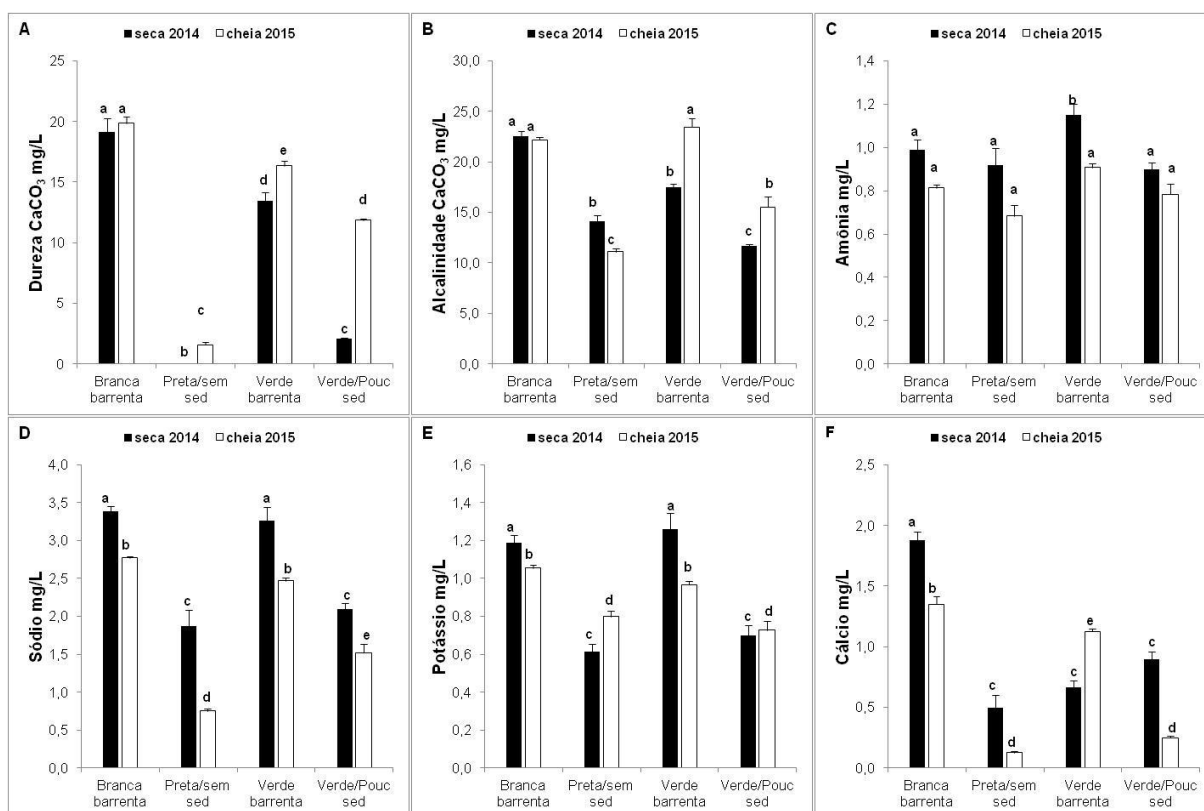


qualidade físico-química da água e adensando os organismos, com isso há aumento da concentração de resíduos nitrogenados oriundos das excretas e da decomposição dos organismos aquáticos em virtude da diminuição do volume da água levando a um maior consumo de oxigênio (CAVERO et al., 2004).

Os íons  $\text{Na}^+$  apresentam valores elevados na maioria dos lagos, tanto na seca como na cheia, especialmente nos que possuem muito material em suspensão, sendo significativamente superiores a concentração de  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  (Figuras 3D, E e F). Na seca, o lago Xixiá ( $4,5 \pm 0,8$  mg/L) apresentou concentração mais elevada e o lago Maria Raimunda ( $1,9 \pm 0,2$  mg/L) o de menor quantidade de sódio. O ambiente de coloração escura tem variações menos acentuadas no conteúdo de íons, porém há diferença quando comparados sazonalmente, sendo bem mais diluídos na cheia (Figura 3D). O igarapé Papaurú, os lagos Arrozal, Brus e o canal Bom Sucesso não apresentam diferenças entre a subida e descida das águas, provavelmente devido ao aporte direto do rio Amazonas em relação aos três últimos e ao rio Nhamundá no primeiro, os quais influenciam diretamente pela descarga de seus sedimentos ou pela ausência dele (HORBE e OLIVEIRA, 2008; HORBE et al., 2013).

Os íons  $\text{K}^+$  também apresentam valores os elevados nos lagos de água de branca e verde com alta quantidade de material em suspensão, sendo mais concentrados durante a seca nos lagos Xixiá ( $1,6 \pm 0,2$  mg/L), Boa vista ( $1,5 \pm 0,2$  mg/L), Tarumã ( $1,7 \pm 0,2$  mg/L) e Cuibá Grande ( $1,7 \pm 0,2$  mg/L) e diluídos no canal Vista Alegre ( $0,6 \pm 0,1$  mg/L), Igarapé Papauru ( $0,5 \pm 0,1$  mg/L) e lago Algodal ( $0,6 \pm 0,1$  mg/L). Na cheia, a maioria dos lagos não variou entre si, contudo o rio Nhamundá ( $0,7 \pm 0,0$  mg/L) e o lago Algodal ( $0,6 \pm 0,1$  mg/L) são os de menor quantidade de potássio. Os de coloração escura tendem a aumentar o conteúdo de íons na cheia enquanto os de água branca são bem mais diluídos (Figura 3E). O rio Nhamundá, os lagos Madabá, Capitão, Mambari, Periquito, Arrozal, Brus e Maria Raimunda não apresentam diferenças entre a subida e descida das águas provavelmente influenciados diretamente pela descarga dos sedimentos ou pela ausência dele (HORBE e OLIVEIRA, 2008; HORBE et al., 2013).

Os íons  $\text{Ca}^{2+}$  apresentam no período da seca valores menos elevados nos de água preta e verde e mais concentrados nos de água branca, principalmente nos lagos Mambari ( $2,1\pm 0,4$  mg/L), Periquito ( $2,1\pm 0,1$ mg/L), Cuibá Grande ( $2,4\pm 0,3$  mg/L), Arrozal ( $2,1\pm 0,2$  mg/L), Brus ( $1,9\pm 0,0$  mg/L) e canal Bom Sucesso ( $2,0\pm 0,2$  mg/L). Na cheia, a maioria dos lagos não varia entre si, contudo o rio Nhamundá ( $0,1\pm 0,0$  mg/L), canal Vista Alegre ( $0,2\pm 0,0$  mg/L), igarapé Papaurú ( $0,3\pm 0,0$  mg/L) e o lago Algodal ( $0,2\pm 0,0$  mg/L) são os de menor quantidade de cálcio. Os de coloração esverdeada tendem a aumentar o conteúdo de íons na cheia enquanto os de água branca tendem a diluir (Figura 3F). O rio Nhamundá, os lagos Madabá, Capitão, Arrozal, Brus, Maria Raimunda e o canal Bom Sucesso não apresentam diferenças entre a subida e descida das águas provavelmente também influenciados diretamente pela descarga dos sedimentos ou pela ausência dele (HORBE e OLIVEIRA, 2008; HORBE et al., 2013).



**Figura 3:** Comparação das médias  $\pm$  erro padrão dos índices de dureza (A), alcalinidade (B), amônia (C), sódio (D), potássio (E) e cálcio (F) das águas de diferentes ambientes aquáticos da APA Nhamundá durante a seca de 2014 (■) e cheia de 2015 (□). Letras desiguais indicam diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

Com base no descrito acima, pode-se afirmar que o rio Nhamundá e o lago Algodão apresentam cor preta com pH ácido devido à presença de substâncias originadas da decomposição da floresta amazônica e baixa condutividade pelo pouca quantidade de sedimentos (SIOLI, 1984). Os lagos Madabá, Mabari, Periquito, Cuibá Grande, Arrozal, Brus, canal Capitão e Bom Sucesso são de coloração branca cuja origem vem do rio Amazonas com alta quantidade de sedimento argiloso cujo pH tende a ser neutro e a condutividade alta. Os lagos Xixiá, Boa Vista, Tarumã, Papauru correspondem às águas de mistura cuja cor é esverdeada e há presença de sedimentos, assim como, os parâmetros apresentam um padrão intermediário entre os dois tipos águas descritas anteriormente, sendo que o mesmo acontece com o canal Vista Alegre e o Igarapé Papaurú que são influenciados pelo rio Nhamundá e apresentam coloração esverdeada com pouco sedimento e pH com tendência a neutralidade. Há variação sazonal dos parâmetros físico-químicos das águas brancas e água de mistura, possivelmente influenciados pela descarga do rio Amazonas (água branca) durante a cheia. Porém, o rio Nhamundá apresenta parâmetros que pouco variam com a sazonalidade, mas que influencia a água de mistura gerando um padrão intermediário (cor esverdeada), principalmente durante a seca. Estes dados estão semelhantes aos descritos com a confluência de outros rios de cores diferentes (SIOLI, 1968, 1984, 1991; JUNK, 2000). A composição mineralógica dos sólidos em suspensão nas águas da várzea e calha dos rios de água branca é constituída de argilominerais dos grupos das ilitas, caulinitas, cloritas e esmectitas, as quais possuem grande importância na composição físico-química dos ambientes aquáticos regionais, pois estes carregam íons metálicos e pequenas partículas dos solos adjacentes influenciada pela dinâmica sazonal de cheia e seca (MARTINELLI et al. 1993; LYONS e BIRD, 1995; GUYOT et al. 2007; BERNADI et al, 2009).

Para Silva et al. (2016) os rios da Amazônia não apresentam padrão uniforme devido à diversidade das propriedades físicas e química das águas não permitindo um bom enquadramento dentro das normas vigentes, dificultando a gestão e consequente conservação desses recursos hídricos. Mesmo com a classificação atual das águas amazônica, estudos mais detalhados são necessários a fim de

possibilitar padrões regionais que colaborem para a preservação e conservação destes ambientes.

#### **4. Conclusões**

Variação dos parâmetros nas águas de lagos de várzea na seca e na cheia demonstra a influência do rio Amazonas e Nhamundá na APA. Os valores dos índices na água preta não variam com significância com a sazonalidade, porém influenciam as águas de padrão intermediário (cor esverdeada). Os resultados demonstram diferenças e variação sazonal dos parâmetros analisados nas águas brancas e no padrão intermediário. Novos dados, através de uma série histórica acompanhando todo o ciclo hidrológico serão necessários. Estes podem auxiliar os gestores da unidade de conservação nas tomadas de decisão.

#### **Agradecimentos**

A FAPEAM (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas) pelo apoio financeiro através do Edital Universal (011/2011) e da bolsa de doutorado cedida a Adailton Moreira da Silva. Ao DEUC – Departamento Estadual de Unidades de Conservação pela autorização da pesquisa na APA Nhamundá. Ao PPG-CIPET pela oportunidade de realizar esta pesquisa. 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.

#### **Referencia bibliográficas**

BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA R.; MANZATTO, BASTOS, A.G.; W.R. Aplicação da análise dos componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p.079-090, 2009.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Oficial da União, 18 de março de 2005, p.58-63.

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.

CEUC, Centro Estadual de Unidades de Conservação. **Relatório Parcial: Levantamento dos aspectos socioeconômicos e organizacionais das comunidades da APA Estadual Nhamundá**, 2010.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. The selection of water quality variables. In: Chapman, D. (Org.), **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. Cambridge: University Press.1992. p.51-117.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FIORUCCI, A.R.; BENEDETTI-FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido nos ambientes aquáticos. **Química Nova na Escola**, n. 22, 2005.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, p.340-356, 2007.

HORBE, A.M.C.; OLIVEIRA, L.G.S. Química de igarapés de água preta do nordeste do Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p.753-760, 2008.

HORBE, A.M.C.; QUEIROZ, M.M.A.; MOURA, C.A.V.; TORO, M.A.G. Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p.489 – 504, 2013.

JUNK, W.J. Neotropical floodplains: a continental-wide view. In: JUNK, W.J.; OHLY, J.; PIEDADE, M.T.F.; SOARES, M.G.M. (Eds.). **The Central Amazonian floodplain**

**ecosystems: actual use and options for sustainable management.** Leiden: Backhuys Publishers, 2000. p. 5-24.

JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, J.M.; WITTMANN, FA. Classification of Major Naturally-Occurring Amazonian Lowland Wetlands. **Wetlands**, 31, pp. 623–640, 2011.

LATRUBESSE, E.M.; COZZUOL, M.; SILVA-CAMINHA, S.A.F.; RIGSBY, C.A.; ABSY, M.L.; JARAMILLO, C. The Late Miocene paleogeography of the Amazon Basin and the evolution of the Amazon River system. **Earth-Science Reviews**, v. 99, p. 99–124, 2010.

LOWE-MCCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais.** Edusp, São Paulo-SP, 1999, 535p.

LYONS, W.B.; BIRD, D.A. Geochemistry of the Madeira River, Brazil: comparison of seasonal weathering reactions using a mass balance approach. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p. 97-101, 1995.

MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEMATTE, J.L.I.; RICHEY, J.E.; DEVOL, A.H. Chemical and Mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments. Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 8, p.391-402, 1993

MIRANDA, R.G.; PEREIRA, S.F.P.; ALVES, D.T.V.; OLIEIRA, G.R.F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Revista ambiente & Água**, v. 4, n. 2, p. 75-92, 2009.

PAIVA, L.C.; SOUZA, A.O. Avaliação de alguns parâmetros físico-químicos da água do rio Riachão no município de Caatiba – BA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, P.1-12, 2010.

PRAIA, R.S.; SANTOS, H.M.C.; PINTO, A.G.N; SILVA, M.E.T. Caracterização física e química preliminar da água do lago de Coari. **Anais do I Seminário Internacional de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia**, 2010.

RAMALHO, E.E.; MACEDO, J.; VIEIRA, T.M.; VALSECCHI, J.; CALVIMONTES, J.; MARMONTEL, M.; QUEIROZ, H.L. Ciclo hidrológico nos ambientes de várzea da

reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá – médio rio Solimões, período de 1990 a 2008. **UAKARI**, v.5, n.1, p. 61-87, 2009.

RÍOS-VILLAMIZAR, E.A.; PIEDADE, M.T.F.; DA COSTA, J.G.; ADENEY, J.M.; JUNK, W.J. Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review . **WIT Transactions on Ecology and The Environment** (on line), v. 178, 2014.

ROCHA, S.D.; BARBOSA, M.S.; OLIVEIRA, T.C.S. Avaliação dos parâmetros físicos e químicos da qualidade da água em lagos de várzea e no rio Solimões no trecho dos municípios Manaus-Coari. **53º Congresso Brasileiro de Química**, Rio de Janeiro, 14 a 18 de Outubro, 2013.

SANT'ANA, A. C. **Análise Multivariada da Qualidade da Água Superficial no município de Boa Vista-RR**. 100f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pósgraduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2006.

SILVA, M.S.R., MIRANDA, S.A.F.; SANTANA, G.P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versus Resolução N° 357/CONAMA/20051. **Scientia Amazonia**, v. 6, n.2, p. 83-90, 2016.

SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**,v.3, p.267-277, 1968.

SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr W. Junk Publishers. 1984.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais**, 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1991.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

## CAPITULO III

### Valores hematológicos e atividade enzimática da LDH e MDH de pirarucus (*Arapaima gigas*) oriundos de ambientes naturais na APA Nhamundá, AM

Adailton Moreira da Silva<sup>1,2</sup>; Wallice Luiz Paxiúba Duncan<sup>3</sup>

#### Resumo

O pirarucu é encontrado nas várzeas das bacias hidrográficas da Amazônia e tem grande potencialidade para cultivo. O presente estudo tem como objetivo descrever e analisar os aspectos ecofisiológicos de pirarucus oriundos de ambientes naturais na APA Nhamundá. Índices corporais, hematológicos, bioquímicos do plasma e de atividade enzimática da LDH e MDH foram estimados em vinte e oito exemplares de pirarucus advindos dos lagos Maria Raimunda (4M e 3F), Arrozal/Brus (1M e 5F), Mambari (3M e 2F), Madabá (4M e 1F), Papauru (3M e 2F). Há diferenças nos parâmetros físico-químicos que distingue os lagos em cor verde e branca. Nos índices corporais há diferenças ( $p < 0,05$ ) nos tamanho (cm), peso (g) e fator de condição (k) já o fator de condição relativo (Kn) e coeficiente de alometria (b) não diferiram significativamente entre os ambientes. A RPC é  $P = 0,0089C^{3,0457}$  com isometria. As águas verdes do lago Papaurú influenciaram ( $p < 0,05$ ) o aumento da hemoglobina (g/dL), CHCM (g/dL), HCM (pg/célula), VCM (fl), leucograma ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L), trombograma ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L), ácido úrico (mg/dL), uréia (mg/dL), creatinina (mg/dL), sódio (mmol/L), potássio (mmol/L) e cálcio (mmol/L) e afetaram a diminuição do número de Eritrócitos ( $10^6$ .unid/ $\mu$ L), glicose (mg/dL), albumina (mg/dL), triglicerídeos (mg/dL), colesterol total (mg/dL), HDL (mg/dL), LDL (mg/dL) e VLDL (mg/dL), por outro lado o hematócrito (%), proteínas totais (g/dL), amônia (mmol/L) e cloretos (mmol/L) não variaram entre os ambientes. A atividade da LDH foi maior nas brânquias, músculo, estômago, bexiga de gás e da MDH foi elevada no fígado e coração. As águas verdes aumentaram as atividades no músculo, estômago e coração e diminuíram nas brânquias, fígado e bexiga de gás. Os resultados são próximos aos descritos na literatura e refletem respostas fisiológicas a fatores ambientais presentes nas águas da APA Nhamundá.

**Palavras-chaves:** *Arapaima*, Atividade Enzimática, Índices Hematológicos, Relação Peso-comprimento.

---

<sup>1</sup>Doutorando do PPG em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, FCA, UFAM

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>Professor Doutor do Laboratório de Morfologia Funcional, Instituto de Ciências Biológicas, UFAM. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Japiim, 69077-000, Manaus, AM



## Abstract

The *Arapaima* is found in the floodplains of the Amazon basins and has great potential for cultivation. The present study aims to describe and analyze the ecophysiological aspects of pirarucus from natural environments in the APA Nhamundá. Body, hematological, biochemical of the plasma indexes and enzymatic activity of LDH and MDH were estimated in twenty-eight specimens of *Arapaima* from the lakes Maria Raimunda (4M and 3F), Arrozal/Brus (1M and 5F), Mambari (3M and 2F), Madaba (4M and 1F) and Papauru (3M and 2F). There are differences in physical-chemical parameters that distinguish the lakes in green and white color. In the body indices, there were differences ( $p < 0.05$ ) in the size (cm), weight (g) and condition factor (k), and the relative condition factor (Kn) and allometry coefficient (b) did not differ significantly between environments. The weight-length relationship is  $P = 0.0089C^{3.0457}$  with isometry. The green water of Papaurú Lake influenced ( $p < 0.05$ ) the increase of hemoglobin (g/dL), CHCM (g/dL), HCM (pg/cell), VCM (fl), WBC ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L), thrombogram ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L), uric acid (mg/dL), uréia (mg/dL), creatinine (mg/dL), sodium (mmol/L), potassium (mmol/L) and calcium (mmol/L) and decreased the number of erythrocytes ( $10^6$ .unid/ $\mu$ L), glucose (mg/dL), albumin (mg/dL), triglycerides (mg/dL), cholesterol (mg/dL), HDL (mg/dL), LDL (mg/dL) and VLDL (mg/dL), on the other hand hematocrit (%), proteins (g/dL), ammonia (mmol/L) did not vary between environments. The LDH activity was higher in the gills, muscle, stomach, gas bladder and MDH was elevated in the liver and heart. The green waters had increased activity in the muscle, stomach and heart and decreased in the gills, liver and gas bladder. The results are close to those described in the literature and reflect physiological responses to environmental factors present in the waters of the APA Nhamundá.

**Key words:** *Arapaima*, Enzymatic Activity, Hematological Indices, Weight-length Relationship.

## 1. Introdução

O pirarucu (*Arapaima gigas* Shinz 1822, família Arapaimidae, ordem Osteoglossiformes) é encontrado nas várzeas das bacias hidrográficas do rio Amazonas e Tocantins-Araguaia (FERRARIS JR., 2003; GOULDING et al., 2003). A espécie é considerada importante devido a sua posição basal na filogenia dos teleósteos e representa um elo entre os primeiros peixes ósseos e as espécies derivadas atuais (NELSON, 2006). Recentemente, estudos listam novas espécies para o gênero: *A. leptosoma* (STEWART, 2013a) e *A. agassizii* (STEWART, 2013b).

Os aspectos biológicos destes animais são descritos de forma limitada e restrita a manejos em cativeiro, permanecendo lacunas quando envolve animais em seu ambiente natural, porém, este peixe é considerado de grande importância social, econômica e ambiental (OLIVEIRA et al, 2005; MONTEIRO et al., 2010; ARANTES et al., 2010; ARARIPE et al., 2013). Durante décadas foram explorados sem controle

do estoque natural ocasionando diminuição da sua população natural, com isso surgem alternativas para manutenção e conservação da espécie, entre elas está o incentivo ao manejo sustentável e a piscicultura, já que é um animal rústico, de crescimento rentável, grande porte, carne saborosa e sem espinhas (ONO et al., 2008; PEREIRA-FILHO et al., 2003; ROUBACH et al., 2003; CASTELLO, 2008). Com base nessa realidade, a produção em cativeiro e a exploração em áreas manejadas vêm crescendo na região Amazônica nos últimos anos possibilitando um aumento dos estudos sobre a biologia destes animais (BRANDÃO et al., 2006; FOGAÇA et al., 2011; LIN et al., 2011; WATSON et al., 2013).

Tem grande potencialidade para criação 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, porém existem gargalos quanto à produção de alevinos e a alimentação (IMBIRIBA, 2001; CAVERO et al., 2003; PEREIRA-FILHO et al., 2003; CRESCÊNCIO et al., 2005; ITUASSÚ et al., 2005).

Pirarucus são peixes de vida longa com ovo fertilizado após a formação de casais, demarcação de território, construção de ninho e fecundação (GODINHO et al., 2005). As larvas e pós-larvas possuem cuidados parentais, sendo que após três a seis meses de vida são juvenis imaturo sexualmente só atingindo a fase reprodutiva no quinto ano de vida exibindo características sexuais secundárias permitindo distinguir entre macho e fêmea pela coloração (IMBIRIBA, 2001; CHUKOO et al., 2009; MONTEIRO et al., 2010; COUTINHO et al., 2010; CARREIRO et al., 2011; NÚÑES et al., 2011).

É um peixe resistente para vários estressores ambientais, contudo, a resposta fisiológica deste animal apresenta-se de forma diferente em sua intensidade e duração (TAVARES-DIAS et al., 2007). O transporte, o uso do sal, a densidade de estocagem, aumento da concentração de amônia, a radiação ultravioleta e a manipulação em cativeiro afetam indicadores fisiológicos como o cortisol, o hematócrito, a glicose, o lactato e a osmorregulação (CARNEIRO e URBINATI, 2001; CAVERO et al., 2004; BRANDÃO et al., 2006; GOMES et al., 2003; GROFF et al.,

2010; OLIVEIRA et al., 2012). O uso de vitamina C na alimentação ajuda a contornar os estressores ambientais e auxilia contra possíveis agentes infecciosos, assim como, variações sazonais do ambiente geram transformações no metabolismo dos carboidratos e lipídeos e na osmorregulação durante a manutenção do balanço fisiológico (MENEZES et al., 2006; ANDRADE et al., 2007; BEZERRA et al., 2013).

Este animal tem a vantagem de retirar o oxigênio do ar atmosférico subindo a superfície a cada 20 a 30 minutos através de uma respiração aérea obrigatória resultante de uma forte alteração morfológica na fisiologia da bexiga natatória e das brânquias permitindo uma eficiente troca gasosa e íon-regulação (BRAUNER et al., 2004; BRAUNER e ROMBOUGH, 2012; FERNANDES et al., 2012). Quando expostos a pH diferentes podem perder ou ganhar íons, porém apresentam plasticidade na osmorregulação ocasionada por sua adaptabilidade, já que são exposto a extremas variações no pH em seus ambientes naturais (BALDISSEROTTO et al., 2008).

O uso de sal de cozinha no transporte em juvenis de pirarucu pode causar distúrbio osmorregulatório levando o peixe à morte, porém, fatores ambientais sazonais também afetam a troca de íons, mas esse distúrbio é contornado pela ativação das brânquias que atuam como um órgão osmorregulatório mantendo a homeostase (GOMES et al., 2006; BRANDÃO et al., 2008; BEZERRA et al., 2013). Há diferenças na morfologia branquial em pequenos e grandes animais que geram distúrbios do compromisso osmorregulatório contornado pelo desenvolvimento da bexiga natatória para a respiração aérea obrigatória (GONZALEZ et al., 2010). Em diferentes tipos de água estes animais apresentam a íon regulação maior em água branca do que em água preta resultante de sua plasticidade do mecanismo osmorregulatório, sendo assim é um interessante modelo para estudos de regulação iônica quando em diferentes ambientes amazônicos (RAMOS et al., 2013, 2014). Os peixes amazônicos demonstram tolerância para os baixos níveis de oxigênio nas águas da região, pois as mesmas são influenciadas pelo fluxo e concentração de íons ocasionando mudanças nas variáveis fisiológicas (BALDISSEROTTO et al., 2008; DUNCAN e FERNANDES, 2010).

Diante do exposto acima, o presente estudo tem como objetivo descrever e analisar os aspectos ecofisiológicos de pirarucus (*Arapaima gigas*) oriundos de ambientes naturais na APA Nhamundá, estado do Amazonas.

## **2. Metodologia**

### **2.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado na área de proteção ambiental (APA) Nhamundá (Figura 1). A APA fica localizada no encontro dos rios Nhamundá e Amazonas. É uma unidade de conservação estadual gerenciada pelo Departamento de Unidades de Conservação (DEUC), ligado à Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA). Tem área de 195900 ha de ambiente de várzea. A área é aberta à exploração sustentável das florestas nativas, à visitação turística e à pesquisa científica (CEUC, 2010). A Instrução Normativa 113/2006 (IBAMA, 2006) mapeou 94 lagos, sendo que 45 estão destinados à manutenção, ou seja, à subsistência das famílias, com a venda do excedente dentro das próprias comunidades; 22 à procriação, destinados unicamente à reprodução das espécies, onde a pesca fica proibida por tempo indeterminado; e 27 são comerciais, destinados à pesca de subsistência e à pesca comercial.

### **2.2. Amostragem**

Vinte e oito exemplares de pirarucus foram capturados em diferente lagos da APA Nhamundá (Figura 1 e 2 e Tabela 1). A captura foi realizada com o auxílio de pescadores ribeirinhos locais, entre os meses de outubro de 2014 a janeiro 2015 (seca). Foram usadas malhadeiras de arrasto apropriadas (malha 100mm entrenós com 100m de comprimento e 4 a 6m de altura). Houve autorização prévia do SISBIO/IBAMA (número 34649-3) e do DEUC (número 69/2014). Após a captura os animais foram anestesiados com eugenol (0,2 g/L) por aspensão nas brânquias com o intuito de obter as amostras de sangue e dos parâmetros biométricos (peso e comprimento). Logo em seguida os animais foram sacrificados por banho de gelo e

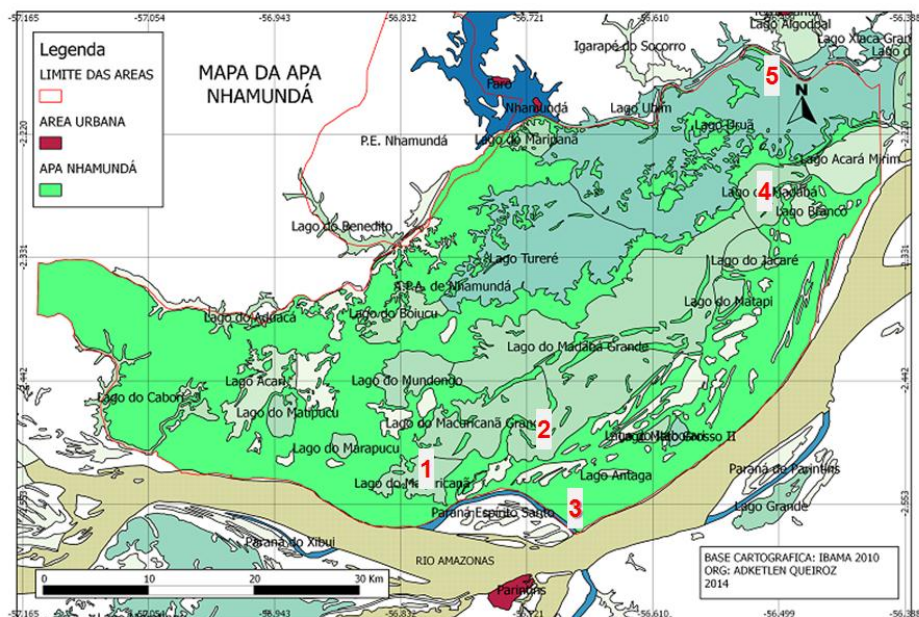
amostras de diferentes tecidos (brânquias, coração, fígado, estômago, intestino, bexiga de gás, encéfalo e músculo esquelético) foram retiradas e congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$  para a determinação da taxa de atividade de enzimas metabólicas (LDH e MDH). Durante as coletas, os procedimentos para obtenção dos dados corporais e hematológicos foram executados nas áreas de pesca através de equipamentos montados dentro de uma embarcação, porém as análises bioquímicas foram executadas no Laboratório de Biologia do CESP/UEA em Parintins e a atividade enzimática foi realizada no Laboratório de Morfologia Funcional da UFAM (ICB) em Manaus. A posição geográfica do local de coleta foi registrada por meio de um GPS Garmim (modelo Etrex 12 channel). Também foi realizado o monitoramento das características físico-química da água no momento da captura.

### **2.3. Dados biométricos**

Os dados biométricos foram determinados para cada um dos peixes amostrados utilizando fita métrica (ictiômetro) para o comprimento total (cm), bem como pensolas portáteis para os adultos (precisão de 50g). A relação peso-comprimento (RPC) de todos os animais foi estimada utilizando a expressão  $P=a.C^b$ , onde  $P$ = peso,  $C$ = comprimento,  $a$ = intercepto e  $b$ = coeficiente angular. Os valores de  $a$  e  $b$  foram estimados por regressão linear após transformação logarítmica dos dados de peso e comprimento. Fator de condição ( $k$ ) foi calculado para cada indivíduo pela fórmula  $k=P/C^b$  onde  $k$ = fator de condição,  $P$ = peso,  $C$ = comprimento, e  $b$ = coeficiente angular. Coeficiente de alometria ( $b$ ) foi calculado para cada indivíduo utilizando a fórmula  $b=\ln(P/a)/\ln(C)$ , onde  $b$ = coeficiente de alometria,  $P$ = peso,  $a$ = intercepto e  $C$ = comprimento. O fator de condição relativo também foi calculado utilizando a expressão  $K_n = P_o/P_e$ , onde  $K_n$ = fator de condição relativo,  $P_o$  = peso observado na amostra,  $P_e$  = peso estima pela relação peso-comprimento (LE CREN, 1951).

**Tabela 1:** Locais de coletas, coordenadas e número amostral de pirarucus na APA Nhamundá.

Lago	Coordenadas	N amostral	Machos	Fêmeas
Maria Raimunda	2°34'19.1"S 56°40'22.4"W	7	4	3
Arrozal/Brus	2°28'30.8"S 56°40'40.2"W	6	1	5
Mambari	2°31'04.1"S 56°47'51.4"W	5	3	2
Madabá	2°16'13.4"S 56°31'06.2"W	5	4	1
Papauru	2°10'31.0"S 56°30'24.7"W	5	3	2
Total		28	15	13



**Figura 1:** Mapa ilustrativo da APA Nhamundá, ponto de confluência dos rios Amazonas (água branca) e Nhamundá (água preta). Pontos de coleta de animais: 1- lago mambari (n=7); 2- lago do brus/arrozal (n=6); 3- lago da Maria Raimunda (n=5); 4- lago Madabá (n=5); 5- lago Papauru (n=5). **Fonte:** base cartográfica IBAMA (2010).



**Figura 2:** Foto ilustrativa de um exemplar de pirarucu adulto coletado na APA Nhamundá. **Fonte:** arquivo do autor.

## 2.4. Análises hematológicas

Após os animais serem anestesiados, amostras de sangue foram obtidas por punção no vaso caudal, com auxílio de seringas descartáveis de 3 a 5 mL contendo heparina. O sangue foi imediatamente usado na preparação das extensões sanguíneas, hematócrito, diluição em solução de Drabkin para a concentração de hemoglobina e diluição em formol-citrato para a contagem de eritrócitos. Após estes procedimentos, o sangue foi submetido à centrifugação para obtenção do plasma sanguíneo para as análises bioquímicas e íons plasmáticos (congelado a  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

A determinação da contagem de eritrócitos (RBC,  $10^6$ .unid/ $\mu\text{L}$ ) foi realizada em câmara de Neubauer após diluição de  $10\mu\text{L}$  de sangue em 2 mL de solução de formol-citrato-azul de toluidina. O hematócrito (Ht, %) foi mensurado pelo método do microhematócrito, onde capilares de vidro foram preenchidos com sangue, uma da extremidade vedada com massa e centrifugados a 6000 rpm por 10 minutos. Os valores do hematócrito foram obtidos medindo o valor total de células multiplicando este por 100 e dividindo o resultado pelo valor da medição total do sangue. A concentração de hemoglobina (Hb, g/dL) foi determinada pelo método da cianometahemoglobina utilizando solução de Drabkin previamente elaborada. Tubos de ensaio contendo 2ml de solução de Drabkin foram incubados com  $10\mu\text{L}$  de sangue da amostra por no mínimo 30 minutos. Em seguida a absorvância da solução foi lida em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540nm utilizando a solução de Drabkin como branco.

Os valores da RBC, hematócrito e hemoglobina foram utilizados para calcular o volume corpuscular médio (VCM, fl), a hemoglobina corpuscular média (HCM, pg/célula) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM, g/dL), seguindo as recomendações de Wintrobe (1934).

Extensões sanguíneas foram confeccionadas e coradas com uma combinação de May Grunwald-Giemsa-Wright seguindo as recomendações de Tavares-Dias e Moraes (2003). As extensões foram utilizadas para a contagem total de leucócitos ( $10^4$ .unid/ $\mu\text{L}$ ), contagem total de trombócitos ( $10^4$ .unid/ $\mu\text{L}$ ) e diferencial de leucócitos

(neutrófilos, eosinófilos, monócitos, linfócitos e células granulocíticas especiais  $10^4$ .unid / $\mu$ L) seguindo as recomendações de Tavares-Dias e Moraes (2006).

Amostras do plasma foram utilizadas para a determinação da concentração da glicose (mg/dL), das proteínas totais (g/dL), albumina (g/dL), triglicerídeos (mg/dL), colesterol total (mg/dL), HDL (mg/dL), LDL (mg/dL), VLDL (mg/dL), creatinina (mg/dL), ácido úrico (mg/dL) e uréia (mg/dL) utilizando kits comerciais (In Vitro Diagnóstica). Para a Amônia (mmol/L) foi utilizado o reagente de Nessler com leitura em espectrofotômetro ( $\lambda$ 420nm). Para quantificação das proteínas totais, tanto do plasma quanto dos tecidos homogeneizados para análises enzimáticas, foi utilizado o método de Bradford (1976) com amostra (10  $\mu$ L) diluída em regente de cor (190  $\mu$ L) e lida em espectrofotômetro ( $\lambda$ 540nm). Os cloretos (mmol/L) e o cálcio (mmol/L) foram mesurados os seus valores utilizando kit comercial da Labtest. Os valores de íons  $\text{Na}^+$  (mmol/L) e  $\text{K}^+$  (mmol/L) foram obtidos utilizando o equipamento de fotometria de chama (Digimed DM-62) após a diluição 1:100 do plasma em água mili-Q. Os índices de cortisol foram determinados pelo método de Elisa (DRG Cortisol).

## **2.5. Taxa de enzimas metabólicas LDH e MDH**

De todos os espécimes foram coletadas amostras de diferentes tecidos (brânquias, coração, fígado, estômago, bexiga de gás e músculo) que foram imediatamente congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Os tecidos foram picotados e homogeneizados em recipientes plásticos com 1,5mL de Tris-HCl 75 mM, pH 7.4, utilizando um homogeneizador de tecido a 15000 rpm por 2 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ . O homogeneizado foi centrifugado por 10 minutos a 10000 rpm a  $4^{\circ}\text{C}$ . O sobrenadante aquoso obtido foi transferido para tubos de microcentrifuga onde foram congelados a  $-20^{\circ}\text{C}$  para serem utilizados no ensaio enzimático e quantificação das proteínas totais (BRADFORD, 1976).

O ensaio enzimático com a lactato desidrogenase (LDH, E.C. 1.1.1.27) e a malato desidrogenase (MDH, E.C. 1.1.1.37) foi realizado de acordo com o descrito por Driedzic e Almeida-Val (1996) e por Duncan e Marcon (2009). A atividade enzimática foi determinada obtendo-se a variação da densidade ótica a  $\lambda=340\text{nm}$



para oxidação ou formação de NADH (coeficiente de extinção milimolar,  $\epsilon = 6,22$ ). Toda a reação do ensaio enzimático foi medida em espectrofotômetro GBC 910 UV a 30°C durante um minuto de tempo ( $\mu$ moles de substrato/g PT/minuto). Cada ensaio teve as seguintes condições: 1) Lactato desidrogenase (LDH): 50 mM de imidazol, pH 7.2; 0,2 mM de NADH; 1 mM de piruvato; 2) Malato desidrogenase (MDH): 50 mM de imidazol, pH 7,2, 0,2 mM de NADH, 0,5 mM oxaloacetato. Foi calculada a razão MDH/LDH, a qual indica que valores altos há uma ativação do metabolismo oxidativo, enquanto que valores baixos indicam uma regulação da capacidade oxidativa.

## 2.6. Análise Físico-química da Água

A avaliação das propriedades físico-químicas, como temperatura ( $^{\circ}$ C), pH, condutividade ( $\mu$ S/cm) e oxigênio dissolvido (mg/L), foram determinados no local e momento de captura de cada animal, utilizando o aparelho digital multiparâmetro AKSO (precisão  $\pm 0,1$ ). Amostras de águas superficiais foram obridas para a determinação da dureza ( $\text{CaCO}_3$  mg/L), alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$  mg/L) e amônia ( $\text{NH}_3$  mg/L) utilizando kits comerciais da ALFAKIT. Os níveis de sódio (mg/L), potássio (mg/L) e cálcio (mg/L) foram analisados por fotometria de chama (DIGIMED). As medições e obtenção das amostras foram realizadas entre 8 e 11 horas da manhã, sempre em triplicata.

## 2.7. Análise Estatística

Todos os dados foram tabulados e organizados por ambientes e variáveis a serem analisadas. Foi utilizado o programa de livre acesso BioEstat 5.0 (AYRES et al., 2007). Foi obtida a estatística descritiva através das médias e desvio padrão. Foi executado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Quando paramétricos, os valores foram comparados empregando a Análise de Variância (ANOVA) e, quando necessário, pelo teste Tukey *a posteriori* admitindo o intervalo de confiança  $p < 0,05$ . Quando não paramétricos, os valores foram comparados

empregando o teste Kruskal-Wallis seguido, se necessário, do teste de Student-Newman-Keuls com o intervalo de confiança  $p < 0,05$  (ZAR, 1999).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Aspectos físico-químicos das águas dos lagos

Os valores médios para os parâmetros físico-químicos da água registrados nos lagos da APA Nhamundá durante as coletas dos animais estão listados na Tabela 2. Percebem-se diferenças nos parâmetros físico-químicos que distingue os de cor esverdeada (lagos Maria Raimunda e Papaurú) e os de cor branca (lagos Arrozal/Brus, Mabari e Madabá), ambos com muito sedimento.

**Tabela 2:** Médias $\pm$ DP dos índices físico-químicos das águas superficiais de diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

	Lago Maria Raimunda	Lago Arrozal/Brus	Lago Mabari	Lago Madabá	Lago Papauru
Cor	Verde	Branca	Branca	Branca	Verde
Transparência cm	29,75 $\pm$ 1,54 <sup>a</sup>	21,33 $\pm$ 1,56 <sup>b</sup>	25,00 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	18,82 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	48,83 $\pm$ 0,75 <sup>c</sup>
Profundidade m	2,42 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	1,90 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	1,75 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	1,48 $\pm$ 0,10 <sup>c</sup>	3,18 $\pm$ 0,25 <sup>d</sup>
Temperatura °C	28,85 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	31,29 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	31,73 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	31,03 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	32,73 $\pm$ 0,14 <sup>c</sup>
pH	5,95 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>	6,88 $\pm$ 0,16 <sup>b</sup>	6,95 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	6,81 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	6,13 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>
Oxigênio dissolvido mg/L	3,11 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>	3,09 $\pm$ 0,51 <sup>a</sup>	3,75 $\pm$ 0,08 <sup>b</sup>	4,82 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>	2,66 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
Condutividade $\mu$ S/cm	42,42 $\pm$ 1,71 <sup>a</sup>	49,35 $\pm$ 10,68 <sup>b</sup>	45,05 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	38,20 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	9,10 $\pm$ 0,09 <sup>c</sup>
Alcalinidade Total CaCO <sub>3</sub> mg/L	15,33 $\pm$ 0,82 <sup>a</sup>	25,50 $\pm$ 1,73 <sup>b</sup>	16,10 $\pm$ 0,23 <sup>a</sup>	24,37 $\pm$ 0,23 <sup>b</sup>	11,25 $\pm$ 0,27 <sup>c</sup>
Dureza Total CaCO <sub>3</sub> mg/L	10,33 $\pm$ 1,51 <sup>a</sup>	28,00 $\pm$ 1,48 <sup>b</sup>	12,10 $\pm$ 0,23 <sup>c</sup>	12,37 $\pm$ 0,23 <sup>c</sup>	2,10 $\pm$ 0,11 <sup>d</sup>
Amônia mg/L	0,75 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>	0,90 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	0,90 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	1,77 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	0,90 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>
Sódio mg/L	1,89 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	2,94 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>	3,97 $\pm$ 0,38 <sup>c</sup>	3,56 $\pm$ 0,38 <sup>d</sup>	2,05 $\pm$ 0,28 <sup>a</sup>
Potássio mg/L	1,00 $\pm$ 0,15 <sup>a</sup>	1,25 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	0,81 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	0,96 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	0,56 $\pm$ 0,11 <sup>c</sup>
Calcio mg/L	1,18 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	1,97 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>	2,11 $\pm$ 0,82 <sup>b</sup>	1,22 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	0,72 $\pm$ 0,26 <sup>c</sup>

O menor valor para a transparência foi observado no lago Madabá (18,82 $\pm$ 0,17 cm) e o maior no lago Papauru (48,83 $\pm$ 0,75), demonstrando valores elevados desta variável nos lagos de água esverdeada e diferindo significativamente dos de água branca. A profundidade foi bem evidenciada no lago Papauru (3,18 $\pm$ 0,25 m) enquanto que no lago Madaba (1,48 $\pm$ 0,10 m) a lamina d'água é

menor, indicando também uma diferença significativa entre os lagos de cor verde em relação aos de cor branca, sendo estes últimos de menor profundidade. O menor índice da temperatura foi observado no lago Maria Raimunda ( $28,85 \pm 0,41^\circ\text{C}$ ) e o maior no lago Papauru ( $32,73 \pm 0,14^\circ\text{C}$ ). A temperatura no lago Maria Raimunda difere significativamente das dos demais lagos apresentando índice mais baixo. O pH tem valores elevados em lagos de água branca (Arrozal/Brus, Mabari e Madabá) e baixos nos de água esverdeada (Maria Raimunda e Papauru). Os valores de oxigênio dissolvido foram menores no lago Papauru ( $2,66 \pm 0,05$  mg/L) e maiores no lago Madabá ( $4,82 \pm 0,08$  mg/L), assim como o pH, há diferenças entre os lagos de cor branca e os de cor esverdeada, sendo estes últimos os com menores índices. A condutividade elétrica foi mesurada com valores baixos no lago Papauru ( $9,10 \pm 0,09$   $\mu\text{S/cm}$ ) e altos no lago Arrozal/Brus ( $49,35 \pm 10,68$   $\mu\text{S/cm}$ ). Há diferença significativa entre o valor reduzido no lago Papauru e os valores elevados dos demais lagos, o que pode estar relacionado com a menor quantidade de íons nas águas deste ambiente aquático.

A alcalinidade e a dureza apresentaram valores médios elevados no lago Arrozal/Brus ( $25,50 \pm 1,73$  e  $28,00 \pm 1,48$   $\text{CaCO}_3$  mg/L) e inferiores no lago Papauru ( $11,25 \pm 0,27$  e  $2,66 \pm 0,05$   $\text{CaCO}_3$  mg/L). Ambas as variáveis demonstram diferença significativas entre os lagos de cor verde com índices baixos e os lagos de cor branca com valores elevados, esta variação está relacionada com a presença de certos compostos no material em suspensão nas águas destes ambientes. A amônia foi mesurada com maior teor nas águas do lago Madabá ( $1,77 \pm 0,15$  mg/L) e o menor no lago Maria Raimunda ( $0,75 \pm 0,27$  mg/L), sendo que o primeiro diferiu significativamente em relação aos demais. O sódio estava mais concentrado no lago Mabari ( $3,97 \pm 0,38$  mg/L) e menos concentrado no lago Maria Raimunda ( $1,89 \pm 0,18$  mg/L), o que demonstra concentrações maiores deste íon nos lagos de água branca (Arrozal/Brus, Mabari e Madabá) do que nos de água verde (Maria Raimunda e Papauru). O potássio apresentou valores baixos no lago Papauru ( $0,56 \pm 0,11$  mg/L) e altos no lago Arrozal/Brus ( $1,25 \pm 0,14$  mg/L), que demonstra uma concentração maior nos de coloração branca e menor nos de cor verde, com exceção do lago Maria Raimunda que apresentou valores elevados. O cálcio (Figura 3M) apresentou valores

altos no lago Mambari ( $2,11 \pm 0,82$  mg/L) e baixos no lago Papaurú ( $0,72 \pm 0,26$  mg/L), porém concentração é superior somente nos lagos Arrozal/Brus e Mabari sendo os demais com índices baixos.

As águas do rio Nhamundá e do rio Amazonas, devido à presença ou ausência de material em suspensão, provavelmente afetam os diversos ambientes aquícolas da APA (SIOLI, 1968, 1984, 1991; JUNK, 2000). Os de coloração branca, cuja origem vem do rio Amazonas, apresentam alta quantidade de sedimento argiloso, pH tendendo ao neutro e a condutividade alta. O de coloração verde, também denominados água de mistura, apresentam um padrão intermediário entre as águas descritas anteriormente e as pretas do rio Nhamundá com pouco sedimento, pH com tendência a neutralidade e baixa condutividade (MARTINELLI et al. 1993; LYONS e BIRD, 1995; GUYOT et al. 2007; BERNADI et al, 2009; SILVA et al., 2016).

### **3.2. Índices Corporais e Hematológicos**

Os valores médios dos índices corporais estão listados na Tabela 3. Há diferenças nos tamanho, peso e fator de condição, porém os valores de Kn e coeficiente de alometria não diferiram entre os ambientes. Os tamanhos maiores foram observados nos lagos Maria Raimunda ( $168,31 \pm 1,14$  cm) e Papaurú ( $155,12 \pm 8,85$  cm) e os menores nos lagos Madabá ( $115,66 \pm 30,41$  cm), Arrozal/Brus ( $134 \pm 24,01$  cm) e Mambari ( $135,58 \pm 18,27$  cm). Em relação ao peso, os animais do lago Mambari ( $828600 \pm 12234$  g), Maria Raimunda ( $55390 \pm 2938$  g) e Papauru ( $41660 \pm 6348$  g) apresentaram os índices maiores e os do lago Madabá ( $20354 \pm 15652$  g) e Arrozal/Brus ( $28213 \pm 14403$ ) possuem os menores pesos. Percebem-se diferenças entre animais de lagos de cor verde e os de lagos de cor branca, porém novos estudos de conteúdos estomacais e reprodutivos são necessários para explicara as variações.

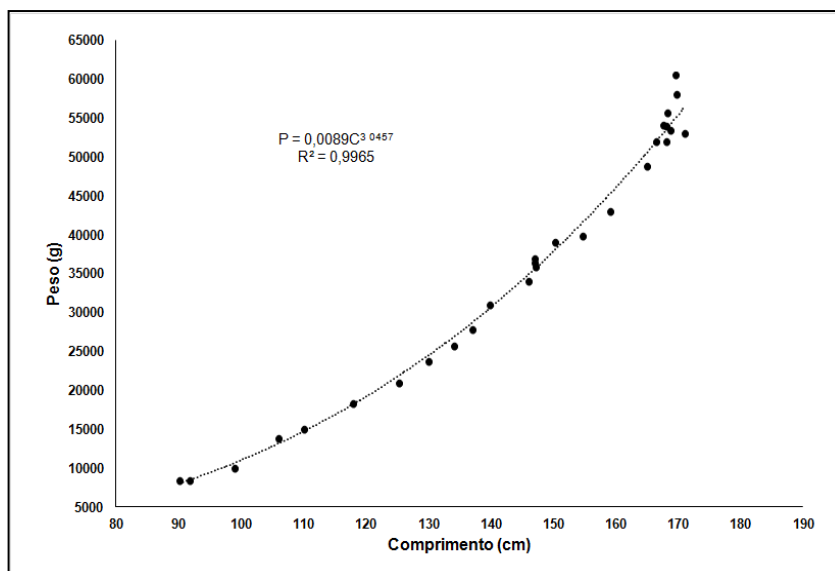
A relação peso e comprimento (RPC) está ilustrada no gráfico da figura 3 e sua fórmula é  $P = 0,0089C^{3,0457}$ . A RPC pode ser usada para estimar o peso do peixe quando o seu comprimento é conhecido e vice-versa. A equação fornece

informações importantes sobre a biomassa da espécie e permite comparações do crescimento e peso sob o efeito de diferentes fatores (TAVARES-DIAS et al., 2010). O fator de condição (coeficiente a) apresentou similaridade entre os lagos Maria Raimunda ( $0,009\pm 0,000$ ) e Arrozal/Brus ( $0,009\pm 0,000$ ) e entre os lagos Mambari ( $0,011\pm 0,000$ ) e Madabá ( $0,011\pm 0,000$ ), sendo que o lago Papauru ( $0,012\pm 0,000$ ) divergiu significativamente em relação aos demais apresentando valores maiores. O coeficiente de alometria (b) está próximo de 3 e não divergiu entre os ambientes analisados, indicando crescimento isométrico ( $b=3,0457$ ) já que há um incremento de peso e comprimento na mesma proporção, o que teoricamente é o ideal para peixes, como visualizado em outros trabalhos na literatura com animais cultivados em piscicultura (SCORVO-FILHO et al., 2004; ALCÁNTARA et al., 2005; TAVARES-DIAS et al., 2010). Por outro lado, a situação de alometria negativa ( $b<3$ ) também já foi relatada para estes animais em ambientes naturais (ALCÁNTARA e GUERRA, 1992; RUFFINO e ISAAC, 1995).

O fator de condição relativo (Kn) no presente estudo não divergiu entre os ambientes, porém os valores estão próximos de 1,0 indicando que o peso real é similar ao estimado. Estes resultados mostram boas condições hígides, pois quanto maior os valores, melhores são as condições de bem-estar dos peixes no ambiente (LE CREN, 1951) semelhante ao encontrado em pirarucus de cultivo cujos valores médios de Kn foram elevados (SCORVO-FILHO et al, 2004; TAVARES-DIAS et al., 2010).

**Tabela 3:** Médias±DP dos índices corporais de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p<0,05$ ).

	<b>Lago Maria Raimunda</b> N=7	<b>Lago Arrozal/Brus</b> N=6	<b>Lago Mambari</b> N=5	<b>Lago Madabá</b> N=5	<b>Lago Papauru</b> N=5
tamanho total cm	168,3±1,1 <sup>a</sup>	134,0±24,0 <sup>b</sup>	135,6±18,3 <sup>b</sup>	115,7±30,4 <sup>c</sup>	155,1±8,9 <sup>a</sup>
peso g	55390±2938 <sup>a</sup>	28213±14403 <sup>b</sup>	828600±12234 <sup>c</sup>	20354±15652 <sup>b</sup>	41660±6348 <sup>a</sup>
fator de condição (k)	0,009±0,000 <sup>a</sup>	0,009±0,000 <sup>a</sup>	0,011±0,000 <sup>b</sup>	0,011±0,001 <sup>b</sup>	0,012±0,000 <sup>b</sup>
fator de condição relativo (Kn)	1,03±0,04 <sup>a</sup>	0,99±0,0413 <sup>a</sup>	0,99±0,03 <sup>a</sup>	1,01±0,04 <sup>a</sup>	0,99±0,04 <sup>a</sup>
coeficiente de alometria (b)	3,05±0,01 <sup>a</sup>	3,04±0,01 <sup>a</sup>	3,04±0,01 <sup>a</sup>	3,05±0,01 <sup>a</sup>	3,04±0,01 <sup>a</sup>



**Figura 3:** Relação do peso e comprimento (RPC) e o  $R^2$  de pirarucus oriundos da APA Nhamundá.

Os índices hematológicos estão listados na tabela 4.

**Tabela 4:** Médias±DP dos índices hematológicos do sangue de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

	Lago Maria Raimunda N=7	Lago Arrozal/Brus N=6	Lago Mambari N=5	Lago Madabá N=5	Lago Papauru N=5
Hematócrito %	33,43±1,99 <sup>a</sup>	31,67±3,50 <sup>a</sup>	30,40±2,07 <sup>a</sup>	30,20±2,39 <sup>a</sup>	32,00±3,81 <sup>a</sup>
Hemoglobina g/dL	11,90±1,73 <sup>a</sup>	11,53±1,65 <sup>a</sup>	10,93±1,07 <sup>a</sup>	11,08±1,19 <sup>a</sup>	15,66±2,42 <sup>b</sup>
Eritrócitos 10 <sup>6</sup> .unid/μL	3,73±0,37 <sup>a</sup>	3,80±0,22 <sup>a</sup>	3,32±0,30 <sup>b</sup>	2,81±0,16 <sup>b</sup>	3,10±0,31 <sup>b</sup>
CHCM g/ dL	35,43±3,18 <sup>a</sup>	36,32±1,62 <sup>a</sup>	35,89±1,06 <sup>a</sup>	36,66±1,91 <sup>a</sup>	48,77±2,02 <sup>b</sup>
HCM pg/célula	31,80±1,75 <sup>a</sup>	30,24±2,88 <sup>a</sup>	32,91±0,91 <sup>a</sup>	39,40±2,56 <sup>b</sup>	50,31±3,24 <sup>b</sup>
VCM fL	90,01±4,01 <sup>a</sup>	83,13±4,81 <sup>a</sup>	91,73±2,71 <sup>a</sup>	107,45±3,08 <sup>b</sup>	103,08±2,54 <sup>b</sup>
Leucócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	25,27±1,05 <sup>a</sup>	27,23±1,57 <sup>a</sup>	24,69±1,21 <sup>a</sup>	25,65±1,97 <sup>a</sup>	29,27±2,86 <sup>b</sup>
Trombócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	5,15±0,77 <sup>a</sup>	5,35±0,62 <sup>a</sup>	6,89±0,71 <sup>b</sup>	4,95±1,12 <sup>a</sup>	7,15±1,03 <sup>b</sup>
Linfócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	14,08±0,54 <sup>a</sup>	14,96±1,02 <sup>a</sup>	13,21±0,55 <sup>a</sup>	14,00±1,33 <sup>a</sup>	16,22±1,51 <sup>b</sup>
Neutrófilo 10 <sup>4</sup> .unid/μL	6,51±0,40 <sup>a</sup>	7,18±0,22 <sup>b</sup>	7,09±0,35 <sup>b</sup>	6,80±0,17 <sup>b</sup>	7,19±0,67 <sup>b</sup>
Eosinófilo 10 <sup>4</sup> .unid/μL	1,55±0,07 <sup>a</sup>	1,59±0,14 <sup>a</sup>	1,41±0,11 <sup>a</sup>	1,55±0,27 <sup>a</sup>	1,98±0,35 <sup>b</sup>
Monócito 10 <sup>4</sup> .unid/μL	2,17±0,14 <sup>a</sup>	2,49±0,17 <sup>a</sup>	2,13±0,16 <sup>a</sup>	2,34±0,35 <sup>a</sup>	2,73±0,28 <sup>b</sup>
CGE 10 <sup>4</sup> .unid/μL	0,96±0,08 <sup>a</sup>	1,01±0,11 <sup>a</sup>	0,85±0,16 <sup>a</sup>	0,97±0,14 <sup>a</sup>	1,16±0,24 <sup>a</sup>
Glicose mg/dL	81,81±5,9a	98,25±8,9b	89,48±13,8b	77,69±7,3a	72,85±8,1a
Proteínas totais g/dL	3,20±0,5a	3,29±0,3a	3,20±0,4a	3,02±0,5a	3,03±0,6a
Albumina g/dL	0,80±0,3a	0,66±0,2b	0,83±0,3a	0,72±0,1a	0,74±0,2a
Triglicerídeos mg/dL	258,4±9,7a	226,1±27,9b	221,8±21,8b	198,4±10,9c	234,1±28,3b
Colesterol total mg/dL	166,1±15,9a	162,7±11,3a	155,9±19,9a	135,4±15,5a	148,6±26,9a

HDL mg/dL	15,64±1,3a	15,36±0,9a	14,78±1,7a	13,07±1,3b	14,17±2,3a
LDL mg/dL	98,80±14,4a	102,12±14a	96,72±21,9a	82,68±14,3b	87,60±22,9a
VLDL mg/dL	51,67±1,9a	45,22±5,6b	44,35±4,4b	39,68±2,2c	46,81±5,7b
Cortisol ng/mL	53,11±9,4 <sup>a</sup>	82,66±23,3 <sup>b</sup>	82,86±18,5 <sup>b</sup>	91,53±22,3 <sup>b</sup>	64,15±14,1 <sup>a</sup>
Ácido úrico mg/dL	2,38±1,2 <sup>a</sup>	2,64±0,9 <sup>a</sup>	2,52±1,2 <sup>a</sup>	2,69±0,5 <sup>a</sup>	4,13±2,8 <sup>b</sup>
Uréia mg/dL	15,33±2,8 <sup>a</sup>	16,57±2,9 <sup>a</sup>	15,87±2,1 <sup>a</sup>	18,00±0,5 <sup>a</sup>	16,41±2,8 <sup>a</sup>
Creatinina mg/dL	0,66±0,3 <sup>a</sup>	0,96±0,6 <sup>b</sup>	0,69±0,5 <sup>a</sup>	0,85±0,3 <sup>b</sup>	0,93±0,5 <sup>b</sup>
Sódio mmol/L	174,86±27,17 <sup>a</sup>	212,5±37,2 <sup>b</sup>	175,4±23,74 <sup>a</sup>	214,6±18,15 <sup>b</sup>	199±34,28 <sup>a</sup>
Potássio mmol/L	8,11±2,13 <sup>a</sup>	9,30±3,25 <sup>a</sup>	9,16±1,89 <sup>a</sup>	11,24±1,29 <sup>b</sup>	11,56±2,71 <sup>b</sup>
Cálcio mmol/L	1,14±0,22 <sup>a</sup>	1,37±0,22 <sup>a</sup>	1,29±0,29 <sup>a</sup>	1,43±0,2 <sup>a</sup>	1,72±0,22 <sup>b</sup>
Amônia mmol/L	0,88±0,48 <sup>a</sup>	0,81±0,42 <sup>a</sup>	0,67±0,15 <sup>b</sup>	0,90±0,38 <sup>a</sup>	0,86±0,52 <sup>a</sup>
Cloretos mmol/L	82,21±17,4 <sup>a</sup>	94,87±14,2 <sup>b</sup>	83,57±15,21 <sup>a</sup>	85,13±17,95 <sup>a</sup>	87,17±20,5 <sup>a</sup>

O hematócrito apresentou valores maiores no lago Maria Raimunda (33,43±1,99%) e menor no lago Madabá (30,20±2,39%), contudo não houve diferenças significativas entre os ambientes. A concentração da hemoglobina variou de 10,93±1,07 g/dL no lago Mabari a 15,66±2,42 g/dL no lago Papaurú, sendo que este último divergiu significativamente em relação aos demais. O número de eritrócitos (RBC) apresentou valores altos nos lago Maria Raimunda (3,73±0,37 10<sup>6</sup>.unid/μL) e Arrozal/Brus (3,80±0,22 10<sup>6</sup>.unid/μL) os quais divergiram dos lagos Mambari (3,32±0,30 10<sup>6</sup>.unid/μL), Madabá (2,81±0,16 10<sup>6</sup>.unid/μL) e Papaurú (3,10±0,31 10<sup>6</sup>.unid/μL) que apresentaram valores menores. A concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM) teve índices elevados no lago Papaurú (48,77±2,02 g/dL) diferenciando-se dos demais ambientes que apresentaram valores menores. A hemoglobina corpuscular média (HCM) e o volume corpuscular médio (VCM) tiveram seus valores maiores nos lagos Madabá (39,40±2,56 pg/células e 107,45±3,08 fl) e Papaurú (50,31±3,24 pg/células e 103,08±2,54 fl) divergindo dos demais ambientes que tiveram índices menores.

A avaliação dos índices hematológicos possibilita uma rápida detecção do efeito de fatores ambientais na homeostase animal, tanto de ambientes naturais como em cultivo, sendo que estes podem ser usados com referências no controle do estado fisiológico de peixes padronizando condições ideais para o cultivo (TAVARES-DIAS et al., 2007; DRUMOND et al., 2010). As modificações nas variáveis hematológicas observadas no Lago do Madabá, provavelmente estão relacionadas às condições do ambiente como elevada concentração de amônia, baixa transparência, alcalinidade/dureza, que podem ter influência sobre as

flutuações de pH (capacidade tampão do ambiente) e conseqüentemente influenciando na toxicidade por amônia. Da mesma forma no Lago do Papauru, onde os níveis de oxigênio chegaram a 2,66 mg/L, dureza de 2,10 mg/L, houve o aumento da hemoglobina, CHCM e HCM e a diminuição do número de Eritrócitos.

Na contagem de células brancas foram encontrados trombócitos, linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e células granulocíticas especiais (CGE) com características morfológicas similares aquelas descritas por Tavares-Dias et al. (2007) e Drumond et al. (2010). Os leucócitos totais apresentaram valores maiores no lago Papaurú ( $29,27 \pm 2,86 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$ ) e menor no lago Mambari ( $24,69 \pm 1,21 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$ ), sendo que o primeiro divergiu em relação aos demais ambientes. Os trombócitos variaram de  $4,95 \pm 1,12 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$  no lago Madabá a  $7,15 \pm 1,03 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$  no lago Papaurú, sendo que este último e o lago Mabari ( $6,89 \pm 0,71 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$ ) apresentaram diferenças significativas em relação aos demais. O número de linfócitos variou de  $13,21 \pm 0,55 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$  no lago Mambari a  $16,22 \pm 1,51 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$  no lago Papauru, sendo este último apresentando valores bem elevados em relação aos demais ambientes. Na contagem de neutrófilos os valores foram menor no lago Maria Raimunda ( $6,51 \pm 0,40 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$ ) diferenciando-o dos demais ambientes os quais apresentaram valores maiores. Os eosinófilos e monócitos tiveram seus valores bem elevados no lago Papaurú ( $1,98 \pm 0,35 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$  e  $2,73 \pm 0,28 \cdot 10^4 \cdot \text{unid}/\mu\text{L}$ , respectivamente) divergindo significativamente dos demais ambientes que tiveram índices menores. As células granulocíticas especiais (CGE) não divergiram em suas médias nos pirarucus dos ambientes amostrados. Pode-se observar que no Lago do Papauru todas as variáveis apresentaram médias superiores, provavelmente seja uma resposta ao ambiente, já que foram observados pH ácido, baixa dureza e alcalinidade, o que pode ser interpretado como um fator estressante, onde o animal pode ficar vulnerável à ação de patógenos, e apresenta modificações no seu sistema imunitário refletindo no aumento dos números dos leucócitos totais, trombócitos, linfócitos, neutrófilos, eosinófilos e monócitos. Por outro lado, os lagos de água branca apresentaram valores inferiores equivalentes aos do lago Maria Raimunda. Os resultados aqui apresentados estão próximos aos descritos na literatura em pirarucus de cultivo e



também para outras espécies, os quais relacionam o aumento destas células como respostas imunológicas a fatores ambientais e parasitários (TAVARES-DIAS e MATAQUEIRO, 2004; TAVARES-DIAS et al., 2007; DRUMOND et al., 2010). Você precisa correlacionar com as condições do ambiente.

A glicose variou de  $72,85 \pm 8,1$  mg/L no lago Papaurú a  $98,25 \pm 8,9$  mg/L no lago Arrozal/Brus, sendo este último e o lago Mambari ( $89,48 \pm 13,8$  mg/L) os de maiores valores divergindo significativamente em relação aos demais. As proteínas totais variaram de  $3,02 \pm 0,5$  g/dL no lago Madabá a  $3,29 \pm 0,3$  g/dL no lago Arrozal/Brus, não havendo diferenças entre os ambientes analisados. A albumina variou de  $0,66 \pm 0,2$  g/dL no lago Arrozal/Brus a  $0,83 \pm 0,3$  g/dL no lago Mambari, houve diferenças significativas entre o primeiro e os outros ambientes que apresentaram valores bem elevados (Figura 7C). A quantificação de triglicerídeos demonstrou valores altos nos lago Maria Raimunda ( $258,37 \pm 9,7$  mg/L) e baixos no lago Madabá ( $198,43 \pm 10,9$ ), sendo que ambos divergiram significativamente em relação aos demais lagos que apresentaram valores intermediários. O colesterol total variou de  $135,44 \pm 15,5$  mg/dL no lago Madabá a  $166,11 \pm 15,9$  mg/dL no lago Maria Raimunda, houve diferença significativa somente do primeiro em relação aos pirarucus de outros lagos. As lipoproteínas de alta densidade (HDL) variaram de  $13,07 \pm 1,3$  mg/dL no lago Madabá a  $15,64 \pm 1,3$  mg/dL no lago Maria Raimunda, havendo diferença significativa do primeiro em relação aos valores dos animais dos outros lagos, os quais apresentaram números superiores. As lipoproteínas de baixa densidade (LDL) variaram de  $82,68 \pm 14,3$  mg/dL no lago Madabá a  $102,12 \pm 14$  mg/dL no lago Arrozal/Brus, também havendo diferença significativa do primeiro em relação aos valores dos peixes dos outros ambientes, os quais se apresentaram bem elevados. As lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL) demonstraram valores altos nos lago Maria Raimunda ( $51,67 \pm 1,9$  mg/L) e índices menores no lago Madabá ( $39,68 \pm 2,2$  mg/L), sendo que ambos divergiram significativamente em relação aos valores dos pirarucus dos demais ambientes que apresentaram valores intermediários. Observa-se que a água verde do lago Papaurú alterou ( $p < 0,05$ ) diminuindo os níveis de glicose, albumina, triglicerídeos, colesterol total, HDL, LDL e VLDL, por outro lado aumentou os valores de ácido úrico, uréia e creatinina. Os

índices de proteínas totais, amônia e cloretos não variaram entre os ambientes. Estas mudanças nas variáveis são reflexos de adaptações aos ambientes analisados, confirmando os resultados de Bezerra et al. (2013) e Ramos et al. (2013). Estudos também descreveram diferenças nos índices de proteínas totais, glicose, triglicerídeos, colesterol e uréia entre alevinos e juvenis de pirarucus em cultivo diretamente relacionadas ao crescimento dos tecidos do sistema imunológico como resposta a estressores ambientais, principalmente em indivíduos mais jovens (TAVARES et al. 2010; DRUMOND et al., 2010; RAMOS et al, 2013, 2014).

A quantificação do cortisol demonstrou valores que variaram de  $53,11 \pm 9,4$  ng/mL no lago Maria Raimunda a  $91,53 \pm 22,3$  ng/mL no lago Madabá, sendo que o primeiro e o lago Papaurú ( $64,15 \pm 14,1$  ng/mL) apresentaram valores significativamente baixos em relação aos demais. O Ácido úrico variou de  $2,38 \pm 1,2$  mg/dL no lago Maria Raimunda a  $4,13 \pm 2,8$  mg/dL no lago Papaurú, este último tem valores superiores aos demais se diferenciando significativamente. A creatinina apresentou valores baixos nos lago Maria Raimunda ( $0,66 \pm 0,3$  mg/L) e lago Mabari ( $0,69 \pm 0,5$  mg/L) e valores elevados nos lago Arrozal/Brus ( $0,96 \pm 0,6$  mg/L), Madabá ( $0,85 \pm 0,3$  mg/L) e Papaurú ( $0,93 \pm 0,5$ ), havendo diferenças significativas entre os dois primeiros e os outros três ambientes. Na quantificação do Sódio os índices foram elevados nos lagos Arrozal/Brus ( $212,5 \pm 37,2$  mmol/L) e Madabá ( $214,6 \pm 18,15$  mmol/L) diferenciando-se dos demais ambientes que apresentaram valores menores. A concentração de potássio tem valores elevados nos lagos Madabá ( $11,24 \pm 1,29$  mmol/L) e Papaurú ( $11,56 \pm 2,71$  mg/L) diferenciando-se dos demais ambientes que apresentaram valores inferiores. Os índices de cálcio foram superiores no lago Papauru ( $1,72 \pm 0,22$  mmol/L) diferenciando-se dos demais ambientes que tiveram valores inferiores. A amônia variou de  $0,90 \pm 0,38$  mmol/L no lago Madabá a  $0,67 \pm 0,15$  mmol/L no lago Mabari, sendo este último significativamente diferente dos outros ambientes que tiveram índices superiores. Os cloretos variaram de  $82,21 \pm 17,4$  mmol/L no lago Maria Raimunda a  $94,87 \pm 14,2$  mmol/L no Arrozal/Brus, sendo este último significativamente diferente dos outros ambientes que tiveram índices inferiores. As águas verdes do lago Papaurú afetaram ( $p < 0,05$ ) a diminuição dos níveis de cortisol e o aumento dos de sódio, potássio e cálcio. Os índices de

amônia e cloretos não variaram entre os ambientes. De acordo com Bezerra et al. (2013), o cortisol é uma resposta primária de estresse ambiental afetando diretamente os níveis de glicose, lipídeos e sais na corrente sanguínea. Outros estudos também descrevem este efeito em pirarucus quando em transporte, elevadas concentrações de amônia ou em cultivo semi-intensivo (BRANDÃO et al., 2006; GOMES et al., 2006; DRUMOND et al., 2010; RAMOS et al., 2014).

### 3.3. Atividade enzimática da LDH e MDH

Os dados das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em seis tecidos de pirarucus da APA Nhamundá estão listados na tabela 5.

As brânquias apresentaram valores de LDH que variaram de  $0,29 \pm 0,11$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Papaurú a  $0,51 \pm 0,17$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Mambari, percebe-se um aumento da atividade oxidativa neste órgão nos lagos de água branca, com exceção do lago Madabá ( $0,42 \pm 0,17$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e o lago Maria Raimunda ( $0,48 \pm 0,19$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) que apresentaram valores intermediários. A atividade da MDH variou de  $0,35 \pm 0,10$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda a  $0,53 \pm 0,12$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Madabá os divergiram significativamente em relação aos animais dos outros lagos que apresentaram valores intermediários. A atividade da MDH neste órgão foi inferior a da LDH nos lagos Maria Raimunda ( $0,35 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), Arrozal/Brus ( $0,40 \pm 0,08$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e Mambari ( $0,44 \pm 0,08$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), assim como foi superior nos lagos Madabá ( $0,53 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e Papaurú ( $0,38 \pm 0,1$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), sendo que estes últimos possuem atividade oxidativa elevada pela influência da plasticidade fisiológica que o peixe apresenta em relação ao ambiente (DUNCAN e MARCON, 2009; RAMOS et al., 2013, 2014).

No fígado observou-se uma atividade enzimática maior nos lagos Maria Raimunda ( $0,37 \pm 0,12$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e Madabá ( $0,36 \pm 0,22$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), valores intermediários nos lagos Arrozal/Brus ( $0,31 \pm 0,17$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e Mambari ( $0,30 \pm 0,18$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), assim como, atividade menor nos animais do Papaurú ( $0,25 \pm 0,01$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) influenciados por fatores ambientais, pois estes lagos são de coloração branca. A atividade da MDH neste órgão foi superior a

da LDH em todos os ambientes amostrados, sendo que esta variou de  $0,35 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda e  $0,77 \pm 0,14$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no Papaurú a  $1,16 \pm 0,29$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lagos Madabá,  $1,11 \pm 0,15$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no Arrozal/Brus e  $0,99 \pm 0,15$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no Mambari. Estes demonstram diferenças significativas entre os de água branca (índices maiores) e os de água verde (índice menores), refletindo influencia que os animais têm em relação ao ambiente (DUNCAN e MARCON, 2009).

No músculo esquelético a atividade da LDH é superior à atividade da MDH em todos os ambientes. O índice de atividade enzimática da LDH apresentou valores baixos no lago Madabá ( $5,31 \pm 1,25$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), intermediário nos lagos Arrozal/Brus ( $7,91 \pm 1,52$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e Mambari ( $7,20 \pm 1,61$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e altos nos lagos Papaurú ( $8,94 \pm 0,58$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e Maria Raimunda ( $8,45 \pm 0,91$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ). A MDH tem sua atividade reduzida no músculo cujos valores variam de  $2,28 \pm 0,63$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Madabá,  $1,51 \pm 0,50$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Arrozal/Brus e  $1,57 \pm 0,56$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Mabari a  $3,74 \pm 1,48$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda e  $3,44 \pm 0,60$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Papaurú. Observam-se diferenças significativas entre os ambientes de água verde e os de água branca, estas se devem a capacidade deste órgão de utilizar a glicólise para obtenção de ATPs no processo de fermentação láctica (DUNCAN e MARCON, 2009).

No estômago os valores da atividade da LDH variou de  $0,47 \pm 0,27$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Arrozal/Brus e  $0,49 \pm 0,27$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Mambari a  $0,81 \pm 0,09$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda,  $0,77 \pm 0,32$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Madabá e  $0,74 \pm 0,14$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago papaurú. A MDH neste órgão tem sua atividade variando de  $0,33 \pm 0,07$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Papaurú a  $0,61 \pm 0,30$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Madabá e  $0,56 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda, sendo os lagos Arrozal/Brus ( $0,47 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e Mabari ( $0,45 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) de valores intermediários. Há uma distinção na atividade destas enzimas em relação ao tipo de água, com diminuição dos valores nas águas brancas e aumento nos ambientes de

cor verde, provavelmente relacionado à atividade trófica deste animal (DUNCAN e MARCON, 2009).

Na bexiga de gás a atividade da LDH variou de  $0,44 \pm 0,19$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda,  $0,47 \pm 0,13$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Papaurú e  $0,50 \pm 0,24$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Madabá a  $0,56 \pm 0,16$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago mambari e  $0,55 \pm 0,17$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Arrozal/Brus. A MDH tem sua atividade variando de  $0,39 \pm 0,11$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda e  $0,40 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Mabari a  $0,59 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Madabá, sendo os lagos Papaurú ( $0,49 \pm 0,14$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e Arrozal/Brus ( $0,52 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) de valores intermediários. O aumento ou diminuição da atividade das enzimas metabólicas neste órgão está relacionado com a respiração aérea (DUNCAN e MARCON, 2009; FERNANDES et al., 2012).

No coração a atividade da LDH variou de  $2,73 \pm 2,11$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Papaurú e  $2,81 \pm 1,80$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda a  $0,48 \pm 0,22$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Arrozal/Brus,  $0,44 \pm 0,15$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Mambari e  $0,32 \pm 0,10$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$  no lago Madabá. A MDH tem sua atividade variando de  $2,19 \pm 1,05$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  Arrozal/Brus e  $2,73 \pm 0,76$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Madabá a  $3,30 \pm 0,81$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Maria Raimunda,  $3,28 \pm 0,84$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Mabari e  $3,33 \pm 0,37$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$  no lago Papaurú. A atividade da MDH no coração é superior a LDH em todos os ambientes estudados (DRIEDZIC e ALMEIDA-VAL, 1996).

**Tabela 5:** Médias $\pm$ DP das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em seis tecidos de pirarucus coletados em diferentes lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p < 0,05$ )

	Lago Maria Raimunda N=7	Lago Arrozal/Brus N=6	Lago Mambari N=5	Lago Madabá N=5	Lago Papauru N=5
<b>LDH <math>\mu\text{moles Py/g PT/minuto}</math></b>					
Brânquias	$0,48 \pm 0,19a$	$0,50 \pm 0,10a$	$0,51 \pm 0,17a$	$0,42 \pm 0,17b$	$0,29 \pm 0,11c$
Fígado	$0,37 \pm 0,12c$	$0,31 \pm 0,17c$	$0,30 \pm 0,18c$	$0,36 \pm 0,22c$	$0,25 \pm 0,01c$
Músculo	$8,45 \pm 0,91a$	$7,91 \pm 1,52b$	$7,20 \pm 1,61b$	$5,31 \pm 1,25b$	$8,94 \pm 0,58a$
Estômago	$0,81 \pm 0,09a$	$0,47 \pm 0,27b$	$0,49 \pm 0,27b$	$0,77 \pm 0,32^a$	$0,74 \pm 0,14a$
Bexiga de gás	$0,44 \pm 0,19a$	$0,55 \pm 0,17c$	$0,56 \pm 0,16c$	$0,50 \pm 0,24^a$	$0,47 \pm 0,13a$
Coração	$2,81 \pm 1,80a$	$0,48 \pm 0,22c$	$0,44 \pm 0,15c$	$0,32 \pm 0,10c$	$2,73 \pm 2,11a$
<b>MDH <math>\mu\text{moles Oxa/g PT/minuto}</math></b>					
Brânquias	$0,35 \pm 0,10b$	$0,40 \pm 0,08b$	$0,44 \pm 0,08b$	$0,53 \pm 0,12^a$	$0,38 \pm 0,1ba$
Fígado	$0,77 \pm 0,20^a$	$1,11 \pm 0,15b$	$0,99 \pm 0,15b$	$1,16 \pm 0,29b$	$0,77 \pm 0,14a$

Músculo	3,74±1,48c	1,51±0,50d	1,57±0,56d	2,28±0,63d	3,44±0,60c
Estômago	0,56±0,12c	0,47±0,12b	0,45±0,10b	0,61±0,30c	0,33±0,07d
Bexiga de gás	0,39±0,11b	0,52±0,12a	0,40±0,12b	0,59±0,12c	0,49±0,14a
Coração	3,30±0,81b	2,19±1,05d	3,28±0,84b	2,73±0,76 <sup>a</sup>	3,33±0,37b

O resultado da razão MDH/LDH das atividades enzimáticas em cada tecido analisado de pirarucus da APA Nhamundá estão listados na tabela 6. As brânquias apresentaram valores que variam de 0,76±0,12 no lago Maria Raimunda a 1,51±0,90 no lago Madabá, houve diminuição da atividade oxidativa nos lagos Maria Raimunda, Arrozal/Brus e aumento nos lagos Madabá e Papaurú. No fígado a atividade aeróbica foi maior nos animais do lago Arrozal/Brus (4,15±1,25), Mabari (4,37±2,30) e Madabá (4,32±2,80) influenciados por fatores ambientais, pois estes lagos são de coloração branca, provavelmente pela maior oferta de alimento. No músculo esquelético houve uma redução drástica da atividade oxidativas cujos valores variaram de 0,19±0,06 no lago Arrozal/Brus a 0,44±0,16 no lago Maria Raimunda, esta redução deve-se a capacidade deste órgão de utilizar a anaerobiose para obtenção de ATPs, já que a atividade da LDH é bem superior a da MDH. No estômago a razão variou de 0,46±0,16 no lago Papaurú a 1,39±1,85 no lago Madabá demonstrando também um aumento da aerobiose nos pirarucus coletados em águas brancas e diminuição nos ambientes de águas verdes. A bexiga de gás apresentou uma razão que variou de 0,74±0,22 no lago Mambari a 1,35±0,49 no lago Madabá, sendo que a atividade oxidativa deste último é significativamente superior aos demais, provavelmente relacionado com a atividade da respiração aérea obrigatória. Observam-se no coração que a atividade da aerobiose é superior aos demais órgãos variando de 2,75±3,11 no lago Maria Raimunda a 9,50±4,71 no lago Madabá e 8,60±4,78 no lago Mabari, sendo os lagos Arrozal/Brus (5,92±4,55b) e Papaurú (4,25±5,97) de valores intermediários. Os valores aqui observados são similares aos descritos por Driedzic e Almeida-Val (1996).

**Tabela 6:** Médias±DP da relação MDH/LDH em sete tecidos de pirarucus coletados em diferente lagos da APA Nhamundá. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas ( $p<0,05$ ). Valores altos indicam metabolismo oxidativo.

	Lago Maria Raimunda N=7	Lago Arrozal/Brus N=6	Lago Mambari N=5	Lago Madabá N=5	Lago Papauru N=5
brânquias	0,76±0,12a	0,85±0,34a	0,94±0,27a	1,51±0,90b	1,34±0,45b
fígado	2,21±0,70a	4,15±1,25b	4,37±2,30b	4,32±2,80b	3,06±0,59c
músculo	0,44±0,16a	0,19±0,06b	0,23±0,11b	0,44±0,13a	0,39±0,08a
estômago	0,69±0,12a	1,20±0,52b	1,10±0,46b	1,39±1,85b	0,46±0,16a
Bexiga de gás	0,96±0,22a	0,98±0,24a	0,74±0,22b	1,35±0,49c	1,07±0,27a
Coração	2,75±3,11a	5,92±4,55b	8,60±4,78c	9,50±4,71c	4,25±5,97b

#### 4. Conclusão

A descrição e análise dos aspectos ecofisiológicos destes animais em ambientes naturais (cor verde e branca) demonstram diferenças e similaridades nos índices corporais, hematológicos e enzimáticos, possivelmente relacionados a fatores presentes nos ambientes. Os animais apresentaram isometria positiva indicando acréscimo de peso em relação ao tamanho. Varáveis como a dureza, pH, transparência e oxigênio das águas verdes do lago Papaurú influenciaram o aumento da hemoglobina, CHCM, HCM, VCM, leucograma, trombograma, ácido úrico, uréia, creatinina, sódio, potássio e cálcio, por outro lado, favoreceram a diminuição da RBC, glicose, albumina, triglicerídeos, colesterol total, HDL, LDL, VLDL e cortisol. O hematócrito, proteínas totais, amônia e cloretos não variaram entre os ambientes. A atividade da LDH e MDH também foram influenciadas pelo ambiente. As águas verdes aumentaram as atividades no músculo, estômago e coração e diminuíram nas brânquias, fígado e bexiga de gás. Possivelmente, as variações nos índices hematológicos e enzimáticos estão relacionadas a capacidade adaptativa destes animais aos estessore ambientais e que refletem respostas fisiológicas a fatores presentes nas águas da APA Nhamundá. Os resultados são próximos aos descritos na literatura e podem servir como referência para trabalhos futuros.

#### Agradecimentos

A FAPEAM (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas) pelo apoio financeiro através do Edital Universal (011/2011) e da bolsa de doutorado

cedida a Adailton Moreira da Silva. A DEUC – Departamento Estadual de Unidades de Conservação pela autorização da pesquisa na APA Nhamundá. Ao PPG-CIPET pela oportunidade de realizar esta pesquisa. 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.

### **Referências bibliográficas**

ALCÁNTARA, F.B.; GUERRA, H.F. Cultivo de paiche, *Arapaima gigas*, utilizando bujurqui, *Cichlassoma bimaculatum*, como presa. **Folia Amazonica**, v. 4, p. 133-144, 1992.

ALCÁNTARA, F.B.; ALDEA, M.G.; ARRARTE, P.R.; VEINTEMILLA, C.V.; DEL CASTILLO, D.T.; TELLO, M.S. Cultivo de paiche, *Arapaima gigas* en estanques de productores en Loreto, Perú. In: **Biología de las Poblaciones de Peces de la Amazonía y Piscicultura. Comunicaciones del Primer Coloquio Internacional de la Red de Investigación sobre la Ictiofauna Amazónica, Iquitos, Perú**. RENNO J.F.; GARCÍA, C.; DUPONCHELLE, F.; NUÑEZ, J. (Eds). Iquitos: RIA. 2005. pp.163-168.

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**, 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.



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.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S.. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: MCT; IDSM; CNPq, 2007.

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 Biochemistry**, n. 34, p. 405-412, 2008.

BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA R.; MANZATTO, BASTOS, A.G.; W.R. Aplicação da análise dos componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p.079-090, 2009.

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.

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 & Neurobiology**, v. 184, n. 3, p.293-300, 2012.

BRADFORD, M.M. A dye binding assay for protein. **Analytical Biochemistry**, n. 72, p. 248-254,1976.

CARNEIRO, P.C.F.; URBINATI, E.C. Salt as a stress response mitigator of matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther), during transport. **Aquaculture Research**, 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, Arapaimatidae), using laparoscopy. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 3, p. 415-419, 2011.

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

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.

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.

CEUC, Centro Estadual de Unidades de Conservação. **Relatório Parcial: Levantamento dos aspectos sócio-econômicos e organizacionais das comunidades da APA Estadual Nhamundá**, 2010.

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 $\beta$ -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology and Biochemistry**, 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.

DRIEDZIC, W.R.; ALMEIDA-VAL, V.M.F. Enzymes of cardiac energy metabolism in amazonian teleosts and the freshwater stingray (*Potamotrygon hystrix*). **Journal of Experimental Zoology**, v. 274A, n. 1, p.327-333, 1996.

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.

DUNCAN, W.P.; MARCON, J.L. Enzymes of energy metabolism in hatchlings of amazonian freshwater turtles (Testudines, Podocnemididae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 2, p.319-325, 2009.

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**. Porto Alegre: Edipucrs, 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.

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.; ARAUJO-LIMA, C.A.R.M.; ROUBACH, R.; CHIPPARI-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. **The Journal of Photochemistry and Photobiology B**, n. 99, p. 93-99, 2010.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**, v. 71, p.340-356, 2007.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa Nº. 113/2006**. Manaus: IBAMA, 2006.

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

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. Neotropical floodplains: a continental-wide view. In: JUNK, W.J.; OHLY, J.; PIEDADE, M.T.F.; SOARES, M.G.M. (Eds.). **The Central Amazonian floodplain ecosystems: actual use and options for sustainable management**. Leiden: Backhuys Publishers, 2000. p. 5-24.

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.

LYONS, W.B.; BIRD, D.A. Geochemistry of the Madeira River, Brazil: comparison of seasonal weathering reactions using a mass balance approach. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, p. 97-101, 1995.

MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEMATTE, J.L.I.; RICHEY, J.E.; DEVOL, A.H. Chemical and Mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments. Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 8, p.391-402, 1993

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**, 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: Jonh 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.; 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.

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.

RUFFINO, M.L.; ISAAC, V.J. Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish species. **Naga**, v. 18, p. 41-45, 1995.

SCORVO-FILHO, J.D.; ROJAS, N.E.T; SILVA, C.M; KONOIKE, T. Criação de *Arapaima gigas* (teleostei osteoglossidae) em estufa e sistema fechado de circulação de água, no Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 30, p. 161–170, 2004.

SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**,v.3, p.267-277, 1968.

SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr W. Junk Publishers. 1984.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais**, 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1991.

SILVA, M.S.R., MIRANDA, S.A.F.; SANTANA, G.P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versus Resolução N° 357/CONAMA/20051. **Scientia Amazonia**, v. 6, n.2, p. 83-90, 2016.

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. Hematological parameters for the *Brycon orbignyanus*, 1850 (Osteichthyes: Characidae) intensively bred. **Hidrobiológica**, v. 16, n. 3, p. 273-276, 2006.

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, 2007.

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 Zociências**, v. 12, n. 1, p. 59-65, 2010.

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

WINTROBE, M.M. Variations in the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. **Folia Haematologica**, n. 51, p. 32-49, 1934.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 2<sup>a</sup> Ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall International. Inc., 1999.



## CAPITULO IV

### Valores hematológicos e atividade enzimática da LDH e MDH de alevinos de pirarucu (*Arapaima gigas*) submetidos a diferentes ambientes

Adailton Moreira da Silva<sup>1,2</sup>; Wallice Luiz Paxiúba Duncan<sup>3</sup>

#### Resumo

O presente estudo tem como objetivo descrever e analisar os aspectos ecofisiológicos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Índices corporais, hematológicos, bioquímicos do plasma e atividade enzimática da LDH e MDH foram estimados em 30 alevinos de pirarucus adquiridos em uma piscicultura regional. Há diferenças nos parâmetros físico-químicos que distingue os ambientes: viveiro em Parintins de água verde com muito sedimento, pH alcalino e dureza alta; rio Nhamundá de águas pretas e com pouco sedimento, pH ácido de dureza baixa; e canal Capitão de águas brancas com muitos sedimentos, pH com tendência ao neutro e dureza elevada. Nos índices corporais, os tamanhos variaram de 14 a 30 cm e o peso de 10 a 180 g. A RPC ( $P=0,0013C^{3,4231}$ ) demonstrou alometria positivas ( $b>3$ ). Houve variação no hematócrito, hemoglobina, RBC, CHCM, HCM, VCM, leucograma, trombograma, albumina, HDL, cortisol, ácido úrico, uréia, creatinina, sódio, potássio, cálcio, amônia e cloretos. Há possível relação da variação dos valores fisiológicos com as diferenças físico-químicas dos ambientes. A glicose, proteínas totais, triglicerídeos, colesterol total, LDL e VLDL não variaram entre os ambientes. A atividade da LDH variou em equivalência a MDH nas brânquias, músculo e fígado, indicado um equilíbrio na atividade oxidativa nestes órgãos em alevinos, provavelmente influenciada por fatores presentes nos ambientes. Porém a MDH foi superior a LDH no estômago, intestino, bexiga de gás, encéfalo e coração proporcionando uma aerobiose elevada nestes órgãos. Os resultados confirmam a plasticidade fisiológica que estes animais apresentam em relação a mudanças ambientais. Novos trabalhos são necessários para verificar os efeitos sazonais dos parâmetro físico-químico das águas nos indicadores fisiológicos destes animais.

**Palavras-chaves:** Adaptação, *Arapaima*, Osmorregulação, Resposta Fisiológicas.

---

<sup>1</sup>Doutorando do PPG em Ciências Pesqueiras nos Trópicos, FCA, UFAM

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>Professor Doutor do Laboratório de Morfologia Funcional, Instituto de Ciências Biológicas, UFAM. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Japiim, 69077-000, Manaus, AM

## Abstract

The present study aims to describe and analyze the ecophysiological aspects of pirarucu fingerlings (*Arapaima gigas*) submitted to 7 and 14 days in different environments. Body, hematological, biochemical indexes and LDH and MDH enzyme activity were estimated in 30 pirarucus fingerlings acquired in a fish farm. There are differences in physico-chemical parameters that distinguish: viveiro-Parintins of green water with very sediment, alkaline pH and high hardness; rio Nhamundá of black waters and with little sediment, acid pH of low hardness; and canal Capitão of white waters with much sediment, pH with tendency to neutral and high hardness. In the corporal indices, the sizes varied 14 a 30 cm and the weight 10 a 180 g. The RPC ( $P=0.0013C^{3.4231}$ ) with positive allometry ( $b>3$ ). There was variation ( $p < 0.05$ ) in hematocrit, hemoglobin, RBC, CHCM, HCM, VCM, leukogram, thrombogram, albumin, HDL, cortisol, uric acid, urea, creatinine, sodium, potassium, calcium, ammonia and chlorides. There is a possible relation between the variation of the physiological values and the physical-chemical differences of the environments. Glucose, total proteins, triglycerides, total cholesterol, LDL and VLDL did not vary between environments. LDH activity varied in MDH equivalence in gills, muscle and liver, indicated an equilibrium in the oxidative activity in these organs in fingerlings, influenced by factors present in the environments. However, MDH was superior to LDH in the stomach, intestine, gas bladder, encephalon and heart providing a high aerobiosis in these organs. The results confirm the physiological plasticity of these animals in relation to environmental changes. New work is needed to verify the seasonal effects of each physical-chemical parameter of the waters on the physiological indicators of *Arapaima*.

**Key words:** Adaptation, *Arapaima*, Osmoregulation, Physiological Response.

## 1. Introdução

O pirarucu (*Arapaima gigas*) é um animal com grande potencialidade para a piscicultura em criações semi-intensiva e intensiva devido à grande rusticidade, rendimento, reprodução e proteção da prole (IMBIRIBA, 2001; PEREIRA-FILHO et al., 2003; CAVERO et al., 2004; CRESCÊNCIO et al., 2005; ITUASSÚ et al., 2005). É um peixe de intensa coloração avermelhada, encontrado nas várzeas da Amazônia e muito estudado em seus aspectos biológicos, porém, ainda existe muito a ser investigado sobre o metabolismo e fisiologia adaptativa deste peixe (CASTELLO, 2004, 2008; OLIVEIRA et al, 2005; BRANDÃO et al., 2006; ARANTES et al., 2010; MONTEIRO et al., 2010; WATSON et al., 2013; ARARIPE et al., 2013).

São peixes de crescimento rápido e ciclo de vida passando por fases denominadas de ovos fertilizados, larvas e pós-larvas, juvenis e adultos, sendo que a maturidade é atingida entre quatro e cinco anos de idade exibindo características sexuais secundárias no período reprodutivo, como a intensa coloração avermelhada

nos machos, desova parcelada, formação de casais, construção de ninhos e proteção da prole (ONO et al., 2003; GODINHO et al., 2005; COUTINHO et al., 2010; CHU-KOO et al., 2009; CARREIRO et al., 2011). O adulto tem um corpo cilíndrico e comprido, cabeça achatada na região dos olhos, boca grande e oblíqua, nadadeira caudal arredondada e grandes escamas ciclóides ricas em colágeno (HILTON et al., 2007; LIN et al., 2011; TORRES et al., 2008, 2012).

O conhecimento dos parâmetros sanguíneos é importante na avaliação do estado fisiológico dos peixes tanto no ambiente natural como em cativeiro (TAVARES-DIAS e MORAES, 2004; TAVARES-DIAS et al., 2004, 2007a, 2007b). Um sistema de cultivo inadequado oferece estresse ao animal e resultando na interrupção do crescimento e suscetibilidades a doenças, porém, o pirarucu é resistente a estressores ambientais gerando respostas fisiológicas diferentes em sua intensidade e duração (SHOEMAKER et al., 2000; GOULDING et al., 2003; ANDRADE et al., 2007). O transporte, uso de sal, densidade de estocagem, concentração de amônia, radiação ultravioleta, manipulação em cativeiro afeta o cortisol, hematócrito, glicose, lactato, osmorregulação, aumento de peso, crescimento, danos no DNA (CARNEIRO e URBINATI, 2001; BRANDÃO et al., 2006, 2008; GOMES et al., 2003, 2006; CAVERO et al., 2004; GROFF et al., 2010; GOMES, 2007). Indicadores secundários como glicose, triglicerídeos, colesterol total e frações apresentam variação sazonal ocasionada pela transformação no metabolismo e osmorregulação contribuindo para manutenção do balanço fisiológico (BEZERRA et al., 2013).

O pirarucu é considerado de respiração aérea obrigatória, pois sobe a superfície a cada 20 minutos para obter ar atmosférico resultante de uma forte alteração morfológica na fisiologia das brânquias cujo espaço inter-lamelar é preenchido com células ricas em mitocôndrias (MR), deixando apenas filamentos em forma de colunas, e também na bexiga natatória com a formação de uma rede de capilares na superfície interior da mesma onde acontece a troca gasosa com o ar (BRAUNER et al., 2004).

A área de superfície respiratória é 2,79 vezes e capacidade da difusão 88 vezes maior na bexiga natatória do que nas brânquias, sendo que esta última são essencialmente íon-regulatórias e respiração secundária (FERNANDES et al., 2012; BRAUNER e ROMBOUGH, 2012). A exposição de pirarucus a diferentes pH afeta a osmorregulação, porém, qualquer dificuldade na entrada e saída de íons é facilmente convertida ou solucionada e esta capacidade é relacionada ao seu habitat natural já que é exposto a extremas variações no pH (BALDISSEROTTO et al., 2008). Outros fatores, como o uso de sal de cozinha no transporte (GOMES et al., 2003) e estressores sazonais em tanques de piscicultura (BEZERRA et al., 2013) afetam pirarucus causando distúrbio osmorregulatório, porém esta espécie apresenta uma plasticidade na íon-regulação através da atuação das brânquias num compromisso osmorrespiratório (GOMES et al., 2006; BRANDÃO et al., 2008).

As brânquias são consideradas órgão multifuncional responsável pelas trocas gasosas, regulação iônica, regulação ácido-base e excreção de compostos nitrogenados (EVANS et al., 2005). O compromisso osmorrespiratório é um intrínseco balanço entre a demanda de oxigênio e a regulação osmótica em brânquias (RAMOS et al., 2014). Estes animais apresentam diferenças na morfologia branquial entre alevinos e juvenis deixando a mesma como íon-regulatória, porém, o compromisso osmorrespiratório não é alterado devido ao desenvolvimento da bexiga de gás como órgão essencial no comportamento da respiração aérea obrigatória (GONZALEZ et al., 2010; RAMOS et al., 2013; 2014). Bezerra et al. (2013) descrevem variação na osmorregulação quando pirarucus estão sujeitos a estressores ambientais sazonais na piscicultura, sendo que o balanço osmorregulatório vem das catecolaminas, glicose e lipídeos no plasma tendo as brânquias como um órgão equilibrador de íons.

Ramos et al. (2014), ao analisar a fisiologia de espécimes de pirarucu submetidos a diferentes tipos de água, afirmam que a íon regulação é maior em sistemas de água branca pelo acréscimo de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  presente no ambiente. Por outro lado, sistema de água preta não é barreira à dispersão do pirarucu, pois a perda momentânea de íons não parece ser um problema já que o mesmo apresenta plasticidade no seu mecanismo íon regulatório. Assim, estes animais são um

interessante modelo para estudos quando submetidos a diferentes tipos de água identificando as variações nos parâmetros plasmáticos e hematológicos, bem como, estudar as transformações no compromisso osmorrespiratório em ambientes diversos ou entre espécies (FERNANDES et al., 1999; RAMOS et al. 2013, 2014). 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 (BALDISSEROTTO et al., 2008; DUNCAN e FERNANDES, 2010).

Mesmo diante dos trabalhos expostos acima, ainda persiste a necessidade de descrever os aspectos ecofisiológicos de alevinos de pirarucu em ambientes diferentes gerando novos conhecimentos sobre as mudanças fisiológicas do peixe com perspectiva para uma piscicultura sustentável (TAVARES-DIAS et al. 2007b; DRUMOND et al., 2010). Assim, o presente estudo tem como objetivo descrever os aspectos ecofisiológicos de alevinos de pirarucus submetidos a diferentes ambientes aquáticos.

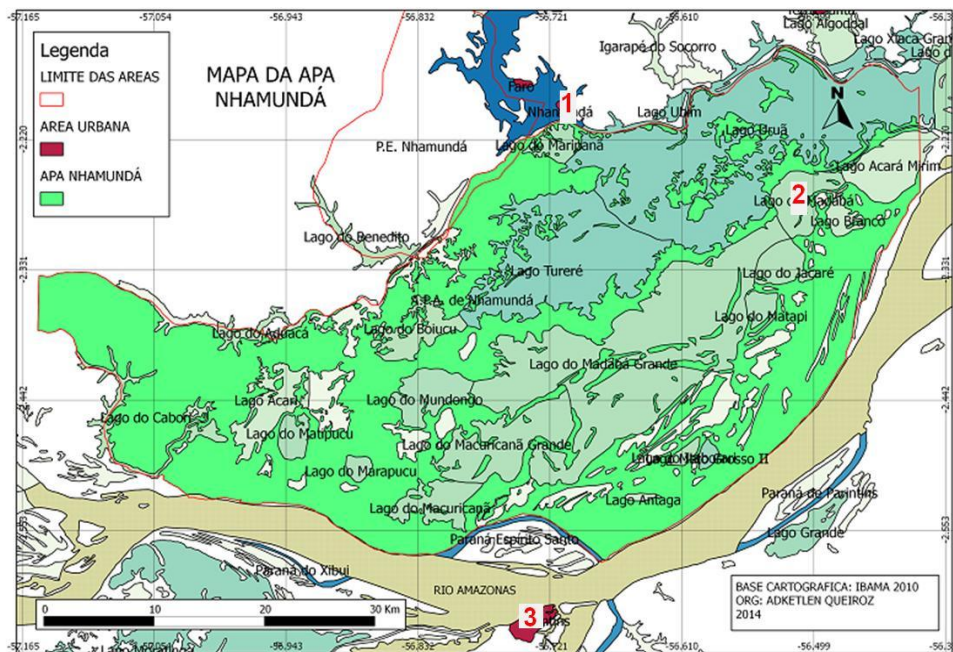
## 2. Metodologia

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi executado em três ambientes com águas de cor verde (viveiro em Paintins), preta (rio Nhamundá) e branca (canal do capitão) (Figura 1). A tabela 1 lista os locais, suas coordenadas e o número amostral utilizados no presente estudo. Houve autorização prévia do SISBIO/IBAMA (número 34649-3) e do DEUC (número 69/2014) para a realização do estudo nos ambientes dentro da Área de Proteção Ambiental Nhamundá.

**Tabela 1:** Locais dos experimentos, coordenadas e número amostral de alevinos de pirarucus. T1 = sete dias; T2= quatorze dias.

Ambiente	Tipo de água	Coordenadas	N amostral	
			T1	T2
Viveiro Parintins	Verde	2°34'19.1"S 56°40'22.4"W	5	5
Canal Capitão	Branca	2°16'13.4"S 56°31'06.2"W	5	5
Rio Nhamundá	Preta	2°10'31.0"S 56°30'24.7"W	5	5
Total			15	15



**Figura 1:** Mapa ilustrativo dos locais onde foram executados os experimentos: 1- rio Nhamundá (água preta); 2- lago Madabá/Capitão (água branca); 3- Viveiro em Parintins (água verde). **Fonte:** base cartográfica IBAMA (2010).

## 2.2. Amostragem e delineamento experimental

Foram adquiridos 30 alevinos (Figura 3) de pirarucu em criadouros da região de Santarém (PA). Estes alevinos foram mantidos por 40 dias em viveiro de tanque escavado em uma piscicultura na cidade de Parintins para aclimação até a execução do experimento. O arrojamento foi realizado 3x ao dia com 40% de proteína bruta. Após aclimação, os animais foram transferidos para gaiolas padronizadas (80cmx60cmx120cm com tampa e boia) e mantidos em ambientes diferentes (viveiro, água branca e água preta). Em cada gaiola foram colocadas cinco espécimes, sendo duas em cada ambiente. Os animais foram mantidos nas gaiolas por 7 e 14 dias com alimentação 3x ao dia utilizando ração com 40% de proteínas. Após cada período, com 24 horas de jejum, uma das gaiolas foi retirada e os animais foram anestesiados com eugenol (0,2 g/L) por gotejamento na água com o intuito de obter as amostras de sangue, medições biométricas e tecidos após sacrifício por banho de gelo. As amostras teciduais foram congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Alguns

procedimentos laboratoriais foram executados no local do experimento utilizando a casa de um morador local. As análises hematológicas foram executadas no Laboratório de Biologia do CESP/UEA e a atividade enzimática foi realizada no Laboratório de Morfologia Funcional da UFAM (ICB). A posição geográfica do local do experimento foi registrada por meio de um GPS Garmin modelo Summit. Também, foi realizado o monitoramento diário das características físico-químicas da água dos locais de experimento.



**Figura 2:** Foto ilustrativa de alevinos adquiridos em pisciculturas regionais e utilizados na inserção em diferentes ambientes. **Fonte:** arquivo do autor.

### 2.3. Dados biométricos

Os dados biométricos foram determinados utilizando fita métrica (ictiômetro) para o comprimento total (cm), bem como balanças de mesa (precisão de 1g) para o peso corpóreo (g). A relação peso-comprimento (RPC) de todos os animais foi estimada utilizando a expressão  $P=a.C^b$ , onde  $P$ = peso,  $C$ = comprimento,  $a$ = intercepto e  $b$ = coeficiente angular. Os valores de  $a$  e  $b$  foram estimados por regressão linear após transformação logarítmica dos dados de peso e comprimento. Coeficiente de alometria ( $b$ ) foi calculado para cada indivíduo utilizando a fórmula  $b=\ln(P/a)/\ln(C)$ , onde  $b$ = coeficiente de alometria,  $P$ = peso,  $a$ = intercepto e  $C$ = comprimento. O fator de condição relativo também foi calculado utilizando a

expressão  $K_n = P_o/P_e$ , onde  $K_n$  = fator de condição relativo,  $P_o$  = peso observado na amostra,  $P_e$  = peso estima pela relação peso-comprimento (LE CREN, 1951).

#### **2.4. Análises hematológicas**

Após os animais serem anestesiados, amostras de sangue foram obtidas por punção no vaso caudal, com auxílio de seringas descartáveis de 3 a 5 mL contendo heparina. O sangue foi imediatamente usado na preparação das extensões sanguíneas, hematócrito, diluição em solução de Drabkin para a concentração de hemoglobina e diluição em formol-citrato para a contagem de eritrócitos. Após estes procedimentos, o sangue foi submetido à centrifugação para obtenção do plasma sanguíneo para as análises bioquímicas e íons plasmáticos (congelado a  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

A determinação da contagem de eritrócitos (RBC,  $10^6$ .unid/ $\mu\text{L}$ ) foi realizada em câmara de Neubauer após diluição de  $10\mu\text{L}$  de sangue em 2 mL de solução de formol-citrato-azul de toluidina. O hematócrito (Ht, %) foi mensurado pelo método do microhematócrito, onde capilares de vidro foram preenchidos com sangue, uma da extremidade vedada com massa e centrifugados a 6000 rpm por 10 minutos. Os valores do hematócrito foram obtidos medindo o valor total de células multiplicando este por 100 e dividindo o resultado pelo valor da medição total do sangue. A concentração de hemoglobina (Hb, g/dL) foi determinada pelo método da cianometahemoglobina utilizando solução de Drabkin previamente elaborada. Tubos de ensaio contendo 2ml de solução de Drabkin foram incubados com  $10\mu\text{L}$  de sangue da amostra por no mínimo 30 minutos. Em seguida a absorbância da solução foi lida em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540nm utilizando a solução de Drabkin como branco.

Os valores da RBC, hematócrito e hemoglobina foram utilizados para calcular o volume corpuscular médio (VCM, fl), a hemoglobina corpuscular média (HCM, pg/célula) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM, g/dL), seguindo as recomendações de Wintrobe (1934).

Extensões sanguíneas foram confeccionadas e coradas com uma combinação de May Grunwald-Giemsa-Wright seguindo as recomendações de Tavares-Dias e



Moraes (2003). As extensões foram utilizadas para a contagem total de leucócitos ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L), contagem total de trombócitos ( $10^4$ .unid / $\mu$ L) e diferencial de leucócitos (neutrófilos, eosinófilos, monócitos, linfócitos e células granulocíticas especiais  $10^4$ .unid / $\mu$ L) seguindo as recomendações de Tavares-Dias e Moraes (2006).

Amostras do plasma foram utilizados para a determinação da concentração da glicose (mg/dL), das proteínas totais (g/dL), albumina (g/dL), triglicerídeos (mg/dL), , colesterol total (mg/dL), HDL (mg/dL), LDL (mg/dL), VLDL (mg/dL), creatinina (mg/dL), ácido úrico (mg/dL) e uréia (mg/dL) utilizando kits comerciais (In Vitro Diagnóstica). Para a Amônia (mmol/L) foi utilizado o reagente de Nessler com leitura em espectrofotômetro ( $\lambda$ 420nm). Para quantificação das proteínas totais, tanto do plasma quanto dos tecidos homogeneizados para análises enzimáticas, foi utilizado o método de Bradford (1976) com amostra (10  $\mu$ L) diluída em regente de cor (190  $\mu$ L) e lida em espectrofotômetro ( $\lambda$ 540nm). Os cloretos (mmol/L) e o cálcio (mmol/L) foram mesurados os seus valores utilizando kit comercial da Labtest. Os valores de íons  $\text{Na}^+$  (mmol/L) e  $\text{K}^+$  (mmol/L) foram obtidos utilizando o equipamento de fotometria de chama (Digimed DM-62) após a diluição 1:100 do plasma em água mili-Q. Os índices de cortisol (ng/mL) foram determinados pelo método de Elisa (DRG Cortisol).

## **2.5. Taxa de enzimas metabólicas LDH e MDH**

De todos os espécimes foram coletadas amostras de diferentes tecidos (brânquias, coração, fígado, estômago, intestino, bexiga de gás, encéfalo e músculo) que foram imediatamente congeladas a  $-20^\circ\text{C}$ . Os tecidos foram picotados e homogeneizados em recipientes plásticos com 1,5mL de Tris-HCl 75 mM, pH 7.4, utilizando um homogeneizador de tecido a 15000 rpm por 2 minutos a  $4^\circ\text{C}$ . O homogeneizado foi centrifugado por 10 minutos a 10000 rpm a  $4^\circ\text{C}$ . O sobrenadante aquoso obtido foi transferido para tubos de microcentrifuga onde foram congelados a  $-20^\circ\text{C}$  para serem utilizados no ensaio enzimático.

O ensaio enzimático com a lactato desidrogenase (LDH, E.C. 1.1.1.27) e a malato desidrogenase (MDH, E.C. 1.1.1.37) foi realizado de acordo com o descrito

por Driedzic e Almeida-Val (1996) e por Duncan e Marcon (2009). A atividade enzimática foi determinada obtendo-se a variação da densidade ótica a  $\lambda=340\text{nm}$  para oxidação ou formação de NADH (coeficiente de extinção milimolar,  $\epsilon = 6,22$ ). Toda a reação do ensaio enzimático foi medida em espectrofotômetro GBC 910 UV a  $30^{\circ}\text{C}$  durante um minuto de tempo ( $\mu\text{moles}$  de substrato/g PT/minuto). Cada ensaio teve as seguintes condições: 1) Lactato desidrogenase (LDH): 50 mM de imidazol, pH 7.2; 0,2 mM de NADH; 1 mM de piruvato; 2) Malato desidrogenase (MDH): 50 mM de imidazol, pH 7,2, 0,2 mM de NADH, 0,5 mM oxaloacetato. Foi calculada a razão MDH/LDH, a qual indica que valores altos há uma ativação do metabolismo oxidativo, enquanto que valores baixos indicam uma regulação da capacidade oxidativa.

## **2.6. Análise Físico-química da Água**

A avaliação das propriedades físico-químicas, como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ ) e oxigênio dissolvido ( $\text{mg/L}$ ), foram determinados no local de captura de cada animal utilizando o aparelho digital multiparâmetro AKSO (precisão  $\pm 0,1$ ). A dureza ( $\text{CaCO}_3 \text{ mg/L}$ ), alcalinidade ( $\text{CaCO}_3 \text{ mg/L}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3 \text{ mg/L}$ ) foram analisados utilizando kits comerciais da ALFAKIT. Os níveis de sódio ( $\text{mmol/L}$ ), potássio ( $\text{mmol/L}$ ) e cálcio ( $\text{mmol/L}$ ) foram analisados por fotometria de chama (DIGIMED) (BOYD e TUCKER, 1992).

## **2.7. Análise Estatística**

Todos os dados foram tabulados e organizados por ambientes e variáveis a serem analisadas. Foram utilizados o programa de livre acesso BioEstat 5.0 (AYRES et al., 2007). Foi obtida a estatística descritiva através das médias e desvio padrão. Foi executado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Quando paramétricos, os valores foram comparados empregando a Análise de Variância (ANOVA) e quando necessário o teste Tukey a *posteriori* admitindo o intervalo de confiança 5% ( $p < 0,05$ ). Quando não-paramétricos, os valores foram

comparados empregando o teste Kruskal-Wallis seguido, se necessário, do teste de Student-Newman-Keuls com o intervalo de confiança 5% ( $p < 0,05$ ) (ZAR, 1999).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Aspectos físico-químicos das águas

Os valores médios para os parâmetros físico-químicos das águas dos ambientes durante o experimento estão listados na Tabela 2. Há diferenças que distinguem os mesmos em cor esverdeada (viveiro em Parintins), cor preta (rio Nhamundá) e de cor branca (canal Capitão), com presença de sedimentos no primeiro e no último, sendo que esta característica afeta o ecossistema aquícola em cada ambiente amostrado (SIOLI, 1968, 1984, 1991).

**Tabela 2:** Médias $\pm$ DP dos índices físico-químicos das águas superficiais dos ambientes de inserção dos alevinos. Letras desiguais na mesma linha indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

	Viveiro Parintins		Rio Nhamundá		Canal Capitão	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Cor	Verde	Verde	Preta	Preta	Branca	Branca
Transparência cm	24,7 $\pm$ 1,9	25,1 $\pm$ 1,5	97,6 $\pm$ 2,8	96,4 $\pm$ 2,6	20,3 $\pm$ 1,3	19,7 $\pm$ 1,3
Profundidade m	2,2 $\pm$ 0,2	2,1 $\pm$ 0,2	2,2 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,2	2,0 $\pm$ 0,2	2,0 $\pm$ 0,2
Temperatura °C	32,8 $\pm$ 1,5	32,7 $\pm$ 1,0	32,3 $\pm$ 0,1	32,5 $\pm$ 0,3	31,4 $\pm$ 0,4	31,3 $\pm$ 0,4
pH	7,5 $\pm$ 0,5	7,6 $\pm$ 0,4	4,9 $\pm$ 0,2	4,7 $\pm$ 0,2	6,8 $\pm$ 0,2	6,8 $\pm$ 0,2
Oxigênio dissolvido mg/L	3,0 $\pm$ 0,4	3,0 $\pm$ 0,4	4,7 $\pm$ 0,2	4,7 $\pm$ 0,2	3,6 $\pm$ 0,5	3,4 $\pm$ 0,5
Condutividade $\mu$ S/cm	53,8 $\pm$ 9,1	50,5 $\pm$ 7,1	6,3 $\pm$ 0,1	6,4 $\pm$ 0,1	41,3 $\pm$ 0,8	41,5 $\pm$ 1,2
Alcalinidade CaCO <sub>3</sub> mg/L	25,7 $\pm$ 2,1	25,4 $\pm$ 2,0	11,9 $\pm$ 1,0	11,9 $\pm$ 0,8	21,0 $\pm$ 0,6	21,2 $\pm$ 0,8
Dureza CaCO <sub>3</sub> mg/L	13,1 $\pm$ 2,8	12,6 $\pm$ 2,5	1,3 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,3	12,6 $\pm$ 0,7	13,2 $\pm$ 1,3
Amônia mg/L	2,4 $\pm$ 0,5	2,3 $\pm$ 0,5	0,7 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,1
Na <sup>+</sup> mg/L	6,6 $\pm$ 3,0	6,1 $\pm$ 2,6	2,3 $\pm$ 2,0	2,7 $\pm$ 1,8	5,2 $\pm$ 1,0	4,9 $\pm$ 0,8
K <sup>+</sup> mg/L	2,3 $\pm$ 1,1	2,2 $\pm$ 1,0	0,8 $\pm$ 0,4	0,9 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,3	1,6 $\pm$ 0,2
Ca <sup>+</sup> mg/L	1,9 $\pm$ 0,4	1,8 $\pm$ 0,5	0,2 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1	0,5 $\pm$ 0,1

Os menores valores para a transparência foram observados no canal Capitão (20,3 $\pm$ 1,3 e 20,3 $\pm$ 1,3 cm) e no viveiro (24,7 $\pm$ 1,9 e 25,1 $\pm$ 1,5 cm). Os valores maiores foram encontrados no rio Nhamundá (97,6 $\pm$ 2,8 e 96,4 $\pm$ 2,6 cm). Esta diferença está relacionada à quantidade de sedimentos presentes (SIOLI, 1991). A profundidade foi similar em ambos os ambientes. O menor índice da temperatura foi encontrado no canal Capitão (31,4 $\pm$ 0,4 e 31,3 $\pm$ 0,4 °C) e os maiores no viveiro (32,8 $\pm$ 1,5 e 32,7 $\pm$ 1,0 °C) e no rio Nhamundá (32,3 $\pm$ 0,1 e 32,5 $\pm$ 0,3 °C).

O pH tem valores elevados no viveiro ( $7,5\pm0,5$  e  $7,6\pm0,4$ ), intermediários no canal Capitão ( $6,8\pm0,2$  e  $6,8\pm0,2$ ) e ácidos no rio Nhamundá (7 dias  $4,9\pm0,2$  e 14 dias  $4,7\pm0,2$ ). Os valores de oxigênio dissolvido foram menores no viveiro ( $3,0\pm0,4$  e  $3,0\pm0,4$ mg/L), intermediários no canal Capitão ( $3,6\pm0,5$  e  $3,4\pm0,5$ mg/L) e mais elevados no rio Nhamundá ( $4,7\pm0,2$  e  $4,7\pm0,2$ mg/L), assim como o pH, há diferenças significativas entre os ambientes. A condutividade elétrica foi mesurada com valores baixos no rio Nhamundá ( $6,3\pm0,1$  e  $6,4\pm0,1$ μS/cm) e elevados no viveiro ( $53,8\pm9,1$  e  $50,5\pm7,1$ μS/cm) e no canal Capitão ( $41,3\pm0,8$  e  $41,5\pm1,2$ μS/cm), estas diferenças estão relacionadas com a quantidade de íons presente nas águas (SIOLI, 1991).

Os menores índices da dureza foram determinados no rio Nhamundá ( $1,3\pm0,1$  e  $1,1\pm0,3$  CaCO<sub>3</sub> mg/L) e os maiores no viveiro ( $13,1\pm2,8$  e  $12,6\pm2,5$  CaCO<sub>3</sub> mg/L) e no canal Capitão ( $12,6\pm0,7$  e  $13,2\pm1,3$  CaCO<sub>3</sub> mg/L). A alcalinidade também apresentou medições elevadas no viveiro ( $25,7\pm2,1$  e  $25,4\pm2,0$  CaCO<sub>3</sub> mg/L) e canal Capitão ( $21,0\pm0,6$  e  $21,2\pm0,8$  CaCO<sub>3</sub> mg/L), porém inferiores no rio Nhamundá ( $11,9\pm1,0$  e  $11,9\pm0,8$  CaCO<sub>3</sub> mg/L). As diferenças estão relacionadas com a presença de certos compostos no material em suspensão (SIOLI, 1991). A amônia foi mesurada com maior teor nas águas do viveiro ( $2,4\pm0,5$  e  $2,3\pm0,5$  mg/L), intermediário no canal Capitão ( $1,7\pm0,1$  e  $1,7\pm0,1$ mg/L) e menor no rio Nhamundá ( $0,7\pm0,2$  e  $0,7\pm0,2$  mg/L).

O sódio estava mais concentrado no viveiro ( $6,6\pm3,0$  e  $6,1\pm2,6$ mg/L), intermediário no canal Capitão ( $5,2\pm1,0$  e  $4,9\pm0,8$  mg/L) e menos concentrado no rio Nhamundá ( $2,3\pm2,0$  e  $2,7\pm1,8$  mg/L). O potássio apresentou valores baixos no rio Nhamundá ( $0,8\pm0,4$  e  $0,9\pm0,4$ mg/L), intermediário no canal capitão ( $1,5\pm0,3$  e  $1,6\pm0,2$ mg/L) e altos no viveiro ( $2,3\pm1,1$  e  $2,2\pm1,0$ mg/L). O cálcio tem valores elevados no viveiro ( $1,9\pm0,4$  e  $1,8\pm0,5$ mg/L) e baixos no rio Nhamundá ( $0,2\pm0,1$  e  $0,2\pm0,1$  mg/L) e canal capitão ( $0,5\pm0,1$  e  $0,5\pm0,1$ mg/L). Estas diferenças estão relacionadas à origem das águas, a de cor branca vem diretamente do rio Amazonas com muito sedimento argiloso; as pretas do rio Nhamundá com pouco sedimento; e a verde do viveiro devido à alta quantidade de material orgânico em suspensão e material advindo do solo ao redor do tanque (BOYD e TUCKER, 1992; SILVA et al., 2016).

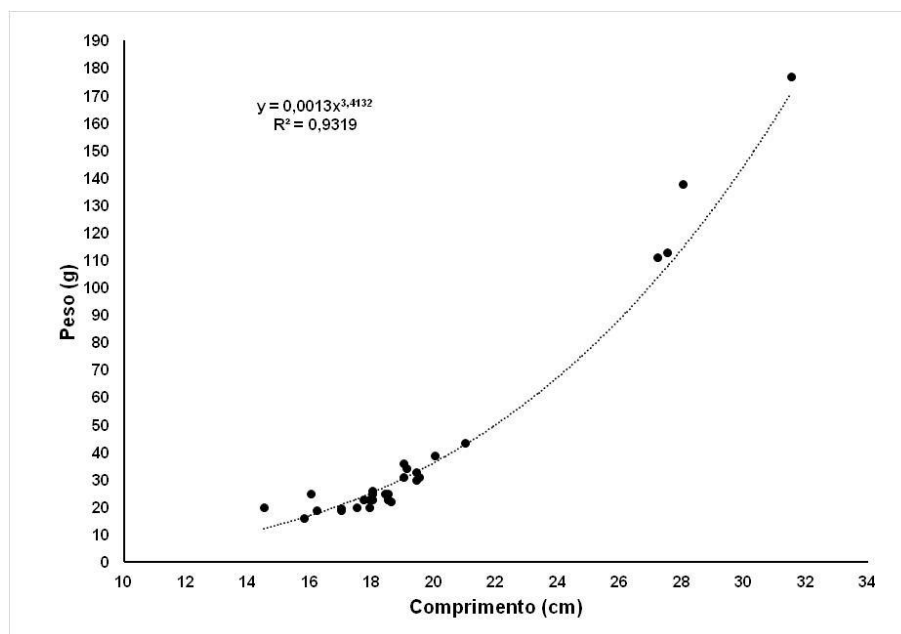
### 3.2. Índices Corporais e Hematológicos

As médias para os índices corporais de alevinos de pirarucus utilizados no experimento estão listados na Tabela 3. Há diferenças nos tamanho e peso, mas os valores de Kn e coeficiente de alometria não diferiram. Os tamanhos e pesos, respectivamente, variaram de 15,9±0,9 cm e 19,9±3,2g anos animais de 7 dias no viveiro a 23,2±5,8 cm e 74,8±67,4g naqueles submetidos há 7 dias no canal do Capitão. A relação peso e comprimento (RPC) estão ilustrados no gráfico da figura 4 e sua fórmula é  $P=0,0013C^{3,4132}$ . A RPC pode ser usada para estimar o peso quando o seu comprimento é conhecido fornecendo informações importantes sobre a biomassa da espécie e permitindo comparações sob o efeito de diferentes fatores (TAVARES-DIAS et al., 2010).

O coeficiente de alometria (b) está acima de 3 e não divergiu entre os ambientes analisados, indicando crescimento alométrico positivo ( $b=3,041327$ ) já que há um incremento de comprimento em relação ao peso, sendo este resultado similar a outros trabalhos descritos na literatura (TAVARES-DIAS et al., 2010). O fator de condição relativo (Kn) no presente estudo não divergiu entre os ambientes, porém os valores estão próximos de 1,0 indicando que o peso real é similar ao estimado demonstrando boas condições higidez (LE CREN, 1951; ALCANTARA e GUERRA, 1992).

**Tabela 3:** Médias±DP dos índices corporais de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ ).

	Viveiro Parintins		Rio Nhamundá		Canal Capitão	
	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5
tamanho total cm	15,9±0,9a	22,1±5,2b	18,0±0,6c	19,5±0,9c	23,2±5,8b	18,2±1,0c
peso g	19,9±3,2a	63,7±57,1b	22,6±2,5a	35,5±4,9c	74,8±67,4b	26,0±7,5a
Kn	1,2±0,3a	1,0±0,2a	0,9±0,1a	1,1±0,1a	1,0±0,1a	1,0±0,1a
coeficiente b	3,48±0,09a	3,40±0,06a	3,38±0,04a	3,44±0,03a	3,41±0,03a	3,40±0,03a



**Figura 3:** Relação do peso e comprimento (RPC) de alevinos de pirarucus utilizados no presente estudo.

Os índices hematológicos estão apresentados na tabela 4.

**Tabela 4:** Médias±DP dos índices hematológicos do sangue de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

	Viveiro Parintins		Rio Nhamundá		Canal Capitão	
	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5
Hematócrito %	24,4±1,4a	27,9±4,2b	21,2±1,5c	21,6±1,0c	27,8±4,7b	24,1±3,8a
Hemoglobina g/dL	8,1±2,9a	8,3±1,7 <sup>a</sup>	2,2±0,7b	3,3±0,5b	5,2±1,4c	4,3±1,5c
Eritrócitos 10 <sup>6</sup> .unid/μL	1,4±0,1a	1,4±0,1 <sup>a</sup>	1,3±0,1b	1,3±0,0b	1,3±0,1b	1,3±0,1b
CHCM g/dL	33,4±12,2a	29,7±5,1 <sup>a</sup>	10,4±3,0b	15,3±2,3b,c	18,6±4,6c	17,3±4,1c
HCM pg/célula	58,9±24,3a	59,4±15,3 <sup>a</sup>	17,2±5,1b	25,6±4,4b,c	40,3±9,1c	32,9±10,6c
VCM fl	175±11a	200±41b	165±8 <sup>a</sup>	167±10a	219±37b	187±24a
Leucócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	10,5±1,7a	10,4±1,2 <sup>a</sup>	15,1±1,5b	14,5±5,1b	7,6±1,7a	5,8±2,8a
Trombócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	3,4±0,7a	2,1±0,5b	3,9±0,8 <sup>a</sup>	4,1±1,9a	1,3±0,2b	1,1±0,7b
Linfócitos 10 <sup>4</sup> .unid/μL	7,8±1,3a	7,0±0,9 <sup>a</sup>	6,0±0,6 <sup>a</sup>	6,5±2,2a	3,7±0,9b	2,8±1,4b
Neutrófilo 10 <sup>4</sup> .unid/μL	1,6±0,3a	1,8±0,2 <sup>a</sup>	4,5±0,5b	3,8±1,3b	1,9±0,4a	1,6±0,8a
Eosinófilo 10 <sup>4</sup> .unid/μL	0,7±0,1a	0,8±0,1 <sup>a</sup>	2,8±0,2b	2,1±0,9b	1,1±0,2a	0,7±0,4a

Monócito 10 <sup>4</sup> .unid/ $\mu$ L	0,2 $\pm$ 0,0a	0,4 $\pm$ 0,0b	1,0 $\pm$ 0,1c	1,0 $\pm$ 0,3c	0,5 $\pm$ 0,2b	0,4 $\pm$ 0,2b
CGE 10 <sup>4</sup> .unid/ $\mu$ L	0,3 $\pm$ 0,0a	0,3 $\pm$ 0,0a	0,9 $\pm$ 0,1b	1,0 $\pm$ 0,3b	0,4 $\pm$ 0,1a	0,3 $\pm$ 0,1a
Glicose mg/dL	98,7 $\pm$ 30,5a	88,2 $\pm$ 10,2 <sup>a</sup>	78,9 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	81,3 $\pm$ 7,8a	82,7 $\pm$ 8,8a	84,8 $\pm$ 10,2a
Proteínas totais g/dL	5,6 $\pm$ 2,1a	4,8 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>	5,2 $\pm$ 0,7 <sup>a</sup>	4,4 $\pm$ 0,2a	4,9 $\pm$ 0,9a	4,7 $\pm$ 0,4a
Albumina g/dL	0,4 $\pm$ 0,1a	0,8 $\pm$ 0,2b	0,2 $\pm$ 0,0a	0,6 $\pm$ 0,1c	1,7 $\pm$ 0,2d	0,5 $\pm$ 0,1c
Triglicerídeos mg/dL	200 $\pm$ 14a	186 $\pm$ 13 <sup>a</sup>	193 $\pm$ 12 <sup>a</sup>	208 $\pm$ 13a	209 $\pm$ 13a	202 $\pm$ 14a
Colesterol total mg/dL	144 $\pm$ 16a	139 $\pm$ 17 <sup>a</sup>	138 $\pm$ 18 <sup>a</sup>	132 $\pm$ 14a	132 $\pm$ 16a	135 $\pm$ 14a
HDL mg/dL	1,3 $\pm$ 0,4a	1,5 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	1,8 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	3,0 $\pm$ 1,5a	10,2 $\pm$ 1,8b	0,9 $\pm$ 0,3a
LDL mg/dL	103 $\pm$ 15a	100 $\pm$ 16 <sup>a</sup>	98 $\pm$ 17 <sup>a</sup>	88 $\pm$ 13a	80 $\pm$ 19a	94 $\pm$ 15a
VLDL mg/dL	40,1 $\pm$ 2,8a	37,2 $\pm$ 2,6 <sup>a</sup>	38,7 $\pm$ 2,5 <sup>a</sup>	41,5 $\pm$ 2,6a	41,8 $\pm$ 2,7a	40,5 $\pm$ 2,8a
Cortisol ng/mL	56,9 $\pm$ 13,4a	64,8 $\pm$ 14,5 <sup>a</sup>	33,7 $\pm$ 8,2b	37,7 $\pm$ 4,4b	49,1 $\pm$ 12,3c	45,0 $\pm$ 11,7c
Ácido úrico mg/dL	1,1 $\pm$ 0,2a	1,3 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	1,0 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	1,0 $\pm$ 0,2a	4,2 $\pm$ 0,7b	1,9 $\pm$ 0,3a
Uréia mg/dL	33,2 $\pm$ 33,6a	19,6 $\pm$ 12,5b	10,8 $\pm$ 2,6c	12,2 $\pm$ 1,9c	21,8 $\pm$ 11,2b	8,5 $\pm$ 2,5c
Creatinina mg/dL	2,1 $\pm$ 0,1a	2,7 $\pm$ 0,2b	3,2 $\pm$ 0,3c	3,2 $\pm$ 0,2c	3,6 $\pm$ 0,2c	2,4 $\pm$ 0,2a
Sódio mmol/L	187 $\pm$ 11a	162 $\pm$ 6b	209 $\pm$ 24c	232 $\pm$ 14c	159 $\pm$ 29b	199 $\pm$ 27a
Potássio mmol/L	6,5 $\pm$ 1,0a	16,0 $\pm$ 1,9b	8,9 $\pm$ 2,9c	5,3 $\pm$ 1,1a	10,0 $\pm$ 2,7c	5,9 $\pm$ 0,8a
Cálcio mmol/L	0,7 $\pm$ 0,1a	1,4 $\pm$ 0,5b	4,0 $\pm$ 0,7c	2,0 $\pm$ 0,7b	2,1 $\pm$ 0,7b	1,0 $\pm$ 0,1a
Amônia mmol/L	0,5 $\pm$ 0,2a	1,5 $\pm$ 0,7 <sup>a</sup>	0,5 $\pm$ 0,3b	0,5 $\pm$ 0,3c	2,2 $\pm$ 0,5b	0,8 $\pm$ 0,6c
Cloretos mmol/L	65,9 $\pm$ 9,1a	60,1 $\pm$ 6,8b	34,9 $\pm$ 10,4 <sup>a</sup>	22,2 $\pm$ 3,8a	38,8 $\pm$ 9,4b	24,1 $\pm$ 2,8a

Quando comparados entre os tempos, houve elevação do hematócrito no viveiro (24,4 $\pm$ 1,4% a 27,9 $\pm$ 4,2%) e diminuição no canal Capitão (27,8 $\pm$ 4,7% a 24,1 $\pm$ 3,8%). Os valores do rio Nhamundá (21,2 $\pm$ 1,5% e 21,6 $\pm$ 1,0%) não diferiram entre os tempos. Porém, os valores do viveiro e canal Capitão são bem elevados em relação os do rio Nhamundá. A concentração da hemoglobina não variou entre os tempos, contudo os índices encontrados no viveiro (8,1 $\pm$ 2,9 e 8,3 $\pm$ 1,7g/dL) são superiores aos do rio Nhamundá (2,2 $\pm$ 0,7 e 3,3 $\pm$ 0,5 g/dL) e canal Capitão (5,2 $\pm$ 1,4 e 4,3 $\pm$ 1,5 g/dL), sendo este último com valores intermediários. O número de eritrócitos (RBC) também não diferiu entre os tempos, mas os valores foram altos no viveiro (1,4 $\pm$ 0,1 e 1,4 $\pm$ 0,1 10<sup>6</sup>.unid/ $\mu$ L) em relação aos do rio Nhamundá (1,3 $\pm$ 0,1b e 1,3 $\pm$ 0,0 10<sup>6</sup>.unid/ $\mu$ L) e canal Capitão (1,3 $\pm$ 0,1 e 1,3 $\pm$ 0,1 10<sup>6</sup>.unid/ $\mu$ L) que diferiram entre si. A concentração da hemoglobina corpuscular média (CHCM) teve índices elevados no viveiro (33,4 $\pm$ 12,2 e 29,7 $\pm$ 5,1 g/dL) diferenciando-se dos no rio Nhamundá (10,4 $\pm$ 3,0 e 15,3 $\pm$ 2,3 g/dL) que apresentou valores menores e do canal Capitão (18,6 $\pm$ 4,6 e

17,3±4,1 g/dL) que tem índices intermediários. A hemoglobina corpuscular média (HCM) apresentou valores maiores no viveiro (58,9±24,3 e 59,4±15,3 pg/células) diferindo dos no rio Nhamundá (17,2±5,1 e 25,6±4,4 pg/células) que tem índices menores e no canal Capitão (40,3±9,1 e 32,9±10,6c g/dL) que tem valores intermediários. O volume corpuscular médio (VCM) elevou entre os tempos no viveiro (175±11 a 200±41 fl) e diminuiu no canal Capitão (219±37 a 187±24 fl) e não diferindo no rio Nhamundá (165±8 e 167±10 fl), sendo que, entre os ambientes, este ultimo apresentou os menores valores.

A avaliação dos índices hematológicos possibilita uma rápida detecção do efeito de fatores ambientais na homeostase animal, tanto de ambientes naturais como em cultivo, sendo que estes podem ser usados com referências no controle do estado fisiológico de peixes padronizando condições ideais para o cultivo (TAVARES-DIAS et al., 2007b; DRUMOND et al., 2010). Percebe-se que as água verdes do viveiro alcalinas influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) no aumento do hematócrito, hemoglobina, número de eritrócitos, CHCM, HCM e VCM, por outro lado, as águas pretas e ácidas do rio Nhamundá favoreceu a diminuição dos valores destes índices hematológicos, o que pode estar relacionada à adaptação dos animais aos fatores ambientais presentes em cada local.

Na contagem de células brancas foram identificados trombócitos, linfócitos, monócitos, neutrófilos, eosinófilos e células granulocíticas especiais (CGE) com características morfológicas similares aquelas descritas por Tavares-Dias et al. (2007b) e Drumond et al. (2010).

O número de leucócitos totais não variou entre os tempos, porém apresentou valores maiores no rio Nhamundá (15,1±1,5 e 14,5±5,1  $10^4$ .unid/ $\mu$ L) e menores no viveiro (10,5±1,7 e 10,4±1,2  $10^4$ .unid/ $\mu$ L) e canal Capitão (7,6±1,7 e 5,8±2,8  $10^4$ .unid/ $\mu$ L), sendo que os dois últimos não divergiram significativamente. O número de trombócitos diminuiu no viveiro (3,4±0,7 a 2,1±0,5  $10^4$ .unid/ $\mu$ L) e não variou no canal Capitão (1,3±0,2 e 1,1±0,7  $10^4$ .unid/ $\mu$ L) e no rio Nhamundá (3,9±0,8 e 4,1±1,9  $10^4$ .unid/ $\mu$ L), porém este último apresentou valores bem elevados em relação aos demais ambientes. O número de linfócitos não variou entre os tempos, contudo o



viveiro ( $7,8 \pm 1,3$  e  $7,0 \pm 0,9 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) e rio Nhamundá ( $6,0 \pm 0,6$  e  $6,5 \pm 2,2 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) apresentaram valores maiores quando comparados com o canal Capitão ( $3,7 \pm 0,9$  e  $2,8 \pm 1,4 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L). Na contagem de neutrófilos não houve variação entre os tempos, mas os valores do viveiro ( $1,6 \pm 0,3$  e  $1,8 \pm 0,2 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) e canal Capitão ( $1,9 \pm 0,4$  e  $1,6 \pm 0,8 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) foram bem menores do que os encontrados no rio Nhamundá ( $4,5 \pm 0,5$  e  $3,8 \pm 1,3 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L). Os eosinófilos não diferiram entre os tempos, contudo a contagem nos animais do viveiro ( $0,7 \pm 0,1$  e  $0,8 \pm 0,1 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) e canal Capitão ( $1,1 \pm 0,2$  e  $0,7 \pm 0,4 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) foram inferiores aos observados nos do rio Nhamundá ( $2,8 \pm 0,2$  e  $2,1 \pm 0,9 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L). Os monócitos apresentaram elevação em seu número no viveiro ( $0,2 \pm 0,0$  e  $0,4 \pm 0,0 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) enquanto não houve divergência no rio Nhamundá ( $10^4$ .unid/ $\mu$ L) e canal Capitão ( $0,5 \pm 0,2$  e  $0,4 \pm 0,2 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L), sendo estes últimos de valores intermediários entre o rio Nhamundá que tem índices maiores e o viveiro com valores menores. As células granulocíticas especiais (CGE) também apresentaram valores maiores no rio Nhamundá ( $0,9 \pm 0,1$  e  $1,0 \pm 0,3 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) dos que os obtidos no viveiro ( $0,3 \pm 0,0$  e  $0,3 \pm 0,0 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L) e canal capitão ( $0,4 \pm 0,1$  e  $0,3 \pm 0,1 \cdot 10^4$ .unid/ $\mu$ L), não divergindo entre os tempos.

Há influência das águas pretas do rio Nhamundá gerou um aumento dos números dos leucócitos totais, trombócitos, linfócitos, neutrófilos, eosinófilos, monócitos e CGE. Por outro lado, o ambiente de água branca do canal do Capitão possibilitou a diminuição dos valores, mas demonstraram serem equivalentes aos encontrados no ambiente de água verde do viveiro, com exceção na quantificação de linfócitos que quantificações maiores no viveiro do que nos demais ambientes. Estes valores estão semelhantes aos descritos na literatura em pirarucus de cultivo, e também para outras espécies, os quais relacionam o aumento destas células como respostas imunológicas a fatores ambientais e parasitários (TAVARES-DIAS et al., 2007b; DRUMOND et al., 2010).

Os índices de glicose, proteínas totais, triglicérides, colesterol total, LDL e VLDL não apresentaram diferenças significativas tanto entre os tempos quanto entre os ambientes. Os valores de albumina apresentaram elevação significativa no viveiro ( $0,4 \pm 0,1$  a  $0,8 \pm 0,2$  g/dL) e no rio Nhamundá ( $0,2 \pm 0,0$  a  $0,6 \pm 0,1$  g/dL) e redução no

canal Capitão ( $1,7\pm 0,2$  a  $0,5\pm 0,1$  g/dL), porém índices dos animais de 7 dias no canal Capitão foram superiores a todos os demais. As lipoproteínas de alta densidade (HDL) apresentaram divergência somente nos valores do canal Capitão, onde os animais de 7 dias ( $10,2\pm 1,8$  mg/dL) têm números maiores ao dos de 14 dias ( $0,9\pm 0,3$  mg/dL), divergindo também aos demais ambientes. O cortisol não apresentou diferenças significativas entre os tempos, mas os animais do viveiro ( $56,9\pm 13,4$  e  $64,8\pm 14,5$  ng/mL) apresentaram valores bem elevados em relação aos do rio Nhamundá ( $33,7\pm 8,2$  e  $37,7\pm 4,4$  ng/mL) e canal Capitão ( $49,1\pm 12,3$  e  $45,0\pm 11,7$  ng/mL), sendo este último de valores intermediários.

Observa-se que os três ambientes apenas atuaram nos valores da albumina, HDL e cortisol, permanecendo os demais inalterados, sendo que estas mudanças podem ser reflexos fisiológicos ao estresse na adaptação ao local amostrado (BEZERRA et al., 2013; RAMOS et al., 2013). O HDL apresenta valores bastante inferiores ao LDL, porém esta situação é comum nestes animais como descrito na literatura em indivíduos adultos (BABIN e VERNIER, 1989; BEZERRA et al., 2013). Alguns estudos descrevem diferenças nos índices de proteínas totais, glicose, triglicerídeos, colesterol e uréia entre alevinos e juvenis de pirarucus em cultivo diretamente relacionadas ao crescimento dos tecidos do sistema imunológico como resposta a estressores ambientais, principalmente em indivíduos mais jovens (DRUMOND et al., 2010; RAMOS et al., 2013, 2014). De acordo com Bezerra et al. (2013), o cortisol é uma resposta primária de estresse ambiental afetando diretamente os níveis de glicose, lipídeos e sais na corrente sanguínea.

O Ácido úrico apresentou variação apenas no canal Capitão, onde os animais com 7 dias ( $4,2\pm 0,7$  mg/L) demonstraram índices maiores aos de 14 dias ( $1,9\pm 0,3$  mg/L), sendo que este valor divergiu significativamente em relação aos dos demais ambientes. A uréia apresentou redução dos valores entre os tempos do viveiro ( $33,2\pm 33,6$  a  $19,6\pm 12,5$  mg/dL) e do canal Capitão ( $21,8\pm 11,2$  a  $8,5\pm 2,5$  mg/dL), contudo os animais do rio Nhamundá ( $10,8\pm 2,6$  e  $12,2\pm 1,9$ ) não diferiram significativamente entre os tempos, mas houve diferença em relação aos ambientes já que este último apresentou valores inferiores em relação aos outros ambientes. A creatinina aumentou no viveiro ( $2,1\pm 0,1$  a  $2,7\pm 0,2$  mg/dL) e diminuiu no canal

Capitão ( $3,6\pm0,2$  a  $2,4\pm0,2$  mg/dL), mas os animais do rio Nhamundá ( $3,2\pm0,3$  e  $3,2\pm0,2$  mg/dL) não alteraram seus valores entre os tempos, porém este último apresentou valores superiores aos demais ambientes, com exceção aqueles de 7 dias no canal Capitão com os quais demonstrou similaridade. Na quantificação do Sódio os índices reduziram no viveiro ( $187\pm11$  a  $162\pm6$  mg/dL) mmol/L) e se elevaram no canal Capitão ( $159\pm29$  a  $199\pm27$  mmol/L) permanecendo inalterado no rio Nhamundá ( $209\pm24$  e  $232\pm14$  mmol/L), sendo este último diferenciando-se dos demais por apresentar valores superiores. A concentração de potássio aumentou significativamente no viveiro ( $6,5\pm1,0$  a  $5,3\pm1,1$  mmol/L) e diminuiu no rio Nhamundá ( $16,0\pm1,9$  a  $8,9\pm2,9$  mg/L) e no canal Capitão ( $10,0\pm2,7$  a  $5,9\pm0,8$  mmol/dL), sendo o primeiro com valores superiores aos dois últimos que não diferiram entre si. Os índices de cálcio aumentaram no viveiro ( $0,7\pm0,1$  a  $1,4\pm0,5$  mmol/L) e diminuíram no rio Nhamundá ( $4,0\pm0,7$  a  $2,0\pm0,7$  mmol/L) e canal Capitão ( $2,1\pm0,7$  a  $1,0\pm0,1$  mmol/L), sendo que os animais retirados no sétimo dia no rio Nhamundá apresentaram valores bem elevados diferindo significativamente em relação aos demais. Os valores de cloretos diminuíram no rio Nhamundá ( $34,9\pm10,4$  a  $22,2\pm3,8$  mmol/L) e canal Capitão ( $38,8\pm9,4$  a  $24,1\pm2,8$  mmol/L) permanecendo sem alteração no viveiro ( $65,9\pm9,1$  a  $60,1\pm6,8$  mmol/L), contudo existem diferenças significativas entre a concentração mais elevado no viveiro em relação aos índices observados no rio Nhamundá e canal Capitão. A amônia aumentou nos peixes do viveiro ( $0,5\pm0,2$  a  $1,5\pm0,7$  mil/L) e diminuiu no canal Capitão ( $2,2\pm0,5$  a  $0,8\pm0,6$  mil/L) sem alteração entre os tempos no rio Nhamundá ( $0,5\pm0,3$  e  $0,5\pm0,3$  mmol/L), porém, quando comparados entre os ambientes, os pirarucus inseridos no rio Nhamundá apresentaram os menores valores com similaridade aos daqueles retirados no décimo quarto dia no canal Capitão.

As águas dos três ambientes afetaram ( $p<0,05$ ) no aumento ou na diminuição dos níveis de ácido úrico, uréia, creatinina, sódio, potássio, cálcio, cloretos e amônia. Estes resultados demonstram a plasticidade que os pirarucus apresentam como respostas fisiológicas aos estressores ambientais. Outros estudos também descrevem este efeito em pirarucus quando analisados em transporte, exposição à

alta concentração amônia ou em cultivo semi-intensivo (BRANDÃO et al., 2006; GOMES et al., 2006; DRUMOND et al., 2010; RAMOS et al., 2014).

### 3.3. Atividade enzimática da LDH e MDH

Os dados das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em oito tecidos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em águas de diferentes ambientes estão listados na tabela 5.

**Tabela 5:** Médias±DP das atividades das enzimas metabólicas LDH e MDH em sete tecidos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo, local e enzima indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p < 0,05$ ).

	Viveiro Parintins		Rio Nhamundá		Canal Capitão	
	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5	T1 N=5	T2 N=5
<b>LDH <math>\mu\text{moles Py/g PT/minuto}</math></b>						
Brânquias	0,21±0,14a	0,14±0,06c	0,32±0,22d	0,07±0,05b	0,10±0,03b	0,68±0,20d
Fígado	0,25±0,09a	0,42±0,18b	0,07±0,04c	0,18±0,10d	0,32±0,35a	0,15±0,08d
Músculo	0,30±0,05a	0,23±0,03c	0,37±0,22b	0,44±0,19b	0,62±0,30d	0,30±0,08a
Estômago	0,10±0,01a	0,15±0,08c	0,09±0,02a	0,02±0,00e	0,13±0,06c	0,10±0,02a
Intestino	0,01±0,00a	0,01±0,00a	0,04±0,02c	0,00±0,00a	0,02±0,00a	0,03±0,02c
Bexiga de gás	0,11±0,00a	0,11±0,02a	0,08±0,03a	0,10±0,02a	0,12±0,08a	0,10±0,01a
Encéfalo	0,16±0,03a	0,08±0,01c	0,08±0,05c	0,10±0,03c	0,19±0,11a	0,18±0,06a
Coração	0,04±0,01a	0,04±0,01a	0,01±0,00a	0,02±0,01a	0,04±0,02a	0,01±0,00a
<b>MDH <math>\mu\text{moles Py/g PT/minuto}</math></b>						
Brânquias	0,06±0,04b	0,15±0,05c	0,08±0,06b	0,14±0,09c	0,07±0,04b	0,07±0,02b
Fígado	0,26±0,10a	0,32±0,12a	0,27±0,15a	0,94±0,47e	0,91±0,43e	0,34±0,21a
Músculo	0,39±0,15b	0,21±0,09c	0,41±0,29b	0,14±0,10c	0,37±0,31b	0,34±0,10a
Estômago	0,24±0,06b	0,34±0,13d	0,31±0,05d	0,15±0,08c	0,37±0,15d	0,32±0,11d
Intestino	0,08±0,03b	0,03±0,01c	0,10±0,07b	0,05±0,03d	0,08±0,08b	0,12±0,01e
Bexiga de gás	0,20±0,04b	0,28±0,06c	0,18±0,05b	0,27±0,10c	0,28±0,24c	0,18±0,05b
Encéfalo	0,24±0,06b	0,32±0,07d	0,27±0,12d	0,30±0,05d	0,32±0,11d	0,35±0,09d
Coração	0,10±0,03b	0,22±0,10c	0,14±0,05b	0,36±0,18d	0,34±0,08d	0,13±0,03b

Nas brânquias os valores da atividade enzimática da LDH diminuiu nos animais do viveiro (0,21±0,14 a 0,14±0,06  $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e do rio Nhamundá (0,32±0,22 a 0,07±0,05  $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), aumentando no canal do Capitão (0,10±0,03 a 0,68±0,20  $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) entre os tempos, por outro lado, a MDH aumentou no viveiro (0,06±0,04 a 0,15±0,05  $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e rio Nhamundá (0,08±0,06 a 0,14±0,09  $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) permanecendo inalterada no canal Capitão (0,07±0,04 e 0,07±0,02  $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ). Percebe-se um aumento da atividade oxidativa neste órgão no viveiro de águas alcalinas e no rio Nhamundá de

ácidas e diminuição dessa capacidade no canal Capitão Madabá com tendência ao neutro. Estas diferenças são possivelmente influenciadas pela plasticidade fisiológica que o peixe apresenta em relação ao ambiente e sua composição iônica (DUNCAN e MARCON, 2009; RAMOS et al., 2013, 2014).

No fígado observou-se um aumento entre os tempos da atividade enzimática da LDH no viveiro ( $0,25 \pm 0,09$  a  $0,42 \pm 0,18$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e rio Nhamundá ( $0,07 \pm 0,04$  a  $0,18 \pm 0,10$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) com diminuição no canal Capitão ( $0,32 \pm 0,35$  a  $0,15 \pm 0,08$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), enquanto que os valores da MDH elevou-se no rio Nhamundá ( $0,27 \pm 0,15$  a  $0,94 \pm 0,47$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e no canal do Capitão ( $0,91 \pm 0,43$  a  $0,34 \pm 0,21$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) permanecendo sem alteração no viveiro ( $0,26 \pm 0,10$  e  $0,32 \pm 0,12$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), sendo que as taxas do décimo quarto dia do rio Nhamundá se equivale à taxa do sétimo dia no canal do Capitão diferindo significativamente das de outros animais. A atividade da MDH neste órgão foi superior a da LDH tanto entre os tempos quanto em locais, com exceção do viveiro que no sétimo dia a taxas foram similares e no décimo quarto dia houve decréscimo, demonstrando com isso a influência dos fatores ligados aos ambientes de coloração branca e preta na atividade oxidativa do fígado (DUNCAN e MARCON, 2009).

No músculo esquelético a atividade da LDH diminuiu entre os tempos no viveiro ( $0,30 \pm 0,05$  a  $0,23 \pm 0,03$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e no canal Capitão ( $0,62 \pm 0,30$  a  $0,30 \pm 0,08$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), não havendo alteração significativa no rio Nhamundá ( $0,37 \pm 0,22$  e  $0,44 \pm 0,19$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), sendo que os valores deste último e do canal Capitão são bem elevados em relação aos do viveiro. A MDH também diminuiu entre os tempos no viveiro ( $0,39 \pm 0,15$  a  $0,21 \pm 0,09$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), no rio Nhamundá ( $0,41 \pm 0,29$  a  $0,14 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e no canal Capitão ( $0,37 \pm 0,31$  a  $0,34 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), sendo que seus valores entre os ambientes são similares com exceção do décimo quarto dia no canal Capitão que demonstrou atividade diferente em relação aos demais ambientes. A atividade da MDH é superior a LDH no dia 7 do viveiro e inferior no dia 14 do rio Nhamundá e 7 do canal Capitão. Estatisticamente, os valores do décimo quarto dia no viveiro e no canal Capitão são similares, assim como, no sétimo dia do rio Nhamundá. As

diferenças e similaridades podem estar relacionadas à atividade e crescimento do músculo em alevinos durante sua inserção em diferentes ambientes, prevalecendo à atividade anaeróbica nos ambientes de coloração preta e branca, pois este órgão tem a capacidade de utilizar a glicólise para obtenção de ATPs no processo de fermentação láctica (ALMEIDA-VAL et al., 1991; DUNCAN e MARCON, 2009).

No estômago os valores entre os tempos da atividade da LDH aumentaram no viveiro ( $0,10 \pm 0,01$  a  $0,15 \pm 0,08$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e diminuíram no rio Nhamundá ( $0,09 \pm 0,02$  a  $0,02 \pm 0,00$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e canal Capitão ( $0,13 \pm 0,06$  a  $0,10 \pm 0,02$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), sendo que os valores entre os ambientes são similares com exceção dos animais do décimo quarto dia no rio Nhamundá que apresentara atividade da LDH bem reduzida. A MDH demonstrou aumento da atividade no viveiro ( $0,24 \pm 0,06$  a  $0,34 \pm 0,13$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e redução no rio Nhamundá ( $0,31 \pm 0,05$  a  $0,15 \pm 0,08$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e canal Capitão ( $0,37 \pm 0,15$  a  $0,32 \pm 0,11$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), porém os peixes inseridos no rio Nhamudá demonstraram redução significativa no décimo quarto dia em relação aos demais ambientes que possuem taxas similares. Há uma distinção na atividade MDH que é superior a LDH tanto entre os tempos quanto nos ambientes, demonstrando uma atividade oxidativa neste órgão, sendo esta atividade afetada por fatores presentes nos ambientes de água preta (redução) e branca (aumento), como a atividade trófica no ambiente (DUNCAN e MARCON, 2009).

No intestino o valor entre os tempos da atividade da LDH aumentou no canal Capitão ( $0,02 \pm 0,00$  a  $0,03 \pm 0,02$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), diminuiu no rio Nhamundá ( $0,04 \pm 0,02$  a  $0,00 \pm 0,00$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e permaneceu sem alteração no viveiro ( $0,01 \pm 0,00$  a  $0,01 \pm 0,00$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), sendo que os valores entre os ambientes são similares com exceção dos animais do sétimo dia do rio Nhamundá e do canal do Capitão que tem valores elevados e no décimo quarto dia no rio Nhamundá que apresenta atividade da LDH reduzida. A MDH demonstrou aumento da atividade no canal do Capitão ( $0,08 \pm 0,08$  a  $0,12 \pm 0,01$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e redução no rio Nhamundá ( $0,10 \pm 0,07$  a  $0,05 \pm 0,03$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e viveiro ( $0,08 \pm 0,03$  a  $0,03 \pm 0,01$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), porém os peixes inseridos no canal Capitão têm valores elevados, os do rio Nhamundá tem índices intermediários e dos viveiros as

menores taxas. Há uma distinção na atividade MDH que é superior a LDH tanto entre os tempos quanto nos ambientes, demonstrando uma atividade oxidativa elevada neste órgão, sendo esta afetada por fatores presentes nos ambientes de água preta, branca e do viveiro (DUNCAN e MARCON, 2009).

Na bexiga de gás a atividade entre os tempos da LDH não variam no viveiro ( $0,11 \pm 0,00$  e  $0,11 \pm 0,02$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), rio Nhamundá ( $0,08 \pm 0,03$  e  $0,10 \pm 0,02$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e canal Capitão ( $0,12 \pm 0,08$  e  $0,10 \pm 0,01$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), sendo também similar entre os ambientes. A atividade entre os tempos da MDH aumentou no viveiro ( $0,20 \pm 0,04$  a  $0,28 \pm 0,06$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e no rio Nhamundá ( $0,18 \pm 0,05$  a  $0,27 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e diminuiu no canal Capitão ( $0,28 \pm 0,24$  a  $0,18 \pm 0,05$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), sendo que os valores das taxas não variaram entre os ambientes. A MDH é superior a LDH tanto entre os tempos como entre os ambientes, demonstrando que este órgão tem atividade oxidativa e que o aumento ou diminuição da atividade metabólica está relacionado com a respiração aérea e não com fatores presentes nas águas brancas, pretas e do viveiro (DUNCAN e MARCON, 2009; FERNANDES et al., 2012).

No encéfalo os valores entre os tempos da atividade da LDH diminuíram no viveiro ( $0,16 \pm 0,03$  a  $0,08 \pm 0,01$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e não variou no rio Nhamundá ( $0,08 \pm 0,05$  e  $0,10 \pm 0,03$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e no canal Capitão ( $0,19 \pm 0,11$  e  $0,18 \pm 0,06$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), sendo que os valores entre os ambientes são elevados no canal Capitão, o qual não diferiu da taxa observada no sétimo dia no viveiro, por outro lado, os valores são reduzidos no rio Nhamundá, similares aos analisados no décimo quarto dia no viveiro. A MDH entre os tempos demonstrou aumento da atividade no viveiro ( $0,24 \pm 0,06$  a  $0,32 \pm 0,07$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e permaneceu inalterado no rio Nhamundá ( $0,27 \pm 0,12$  e  $0,30 \pm 0,05$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e canal Capitão ( $0,32 \pm 0,11$  e  $0,35 \pm 0,09$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), há similaridade nos valores da atividade enzimática dos peixes entre os ambientes, com exceção dos retirados no dia 7 do viveiro que apresentaram valores reduzidos. A atividade MDH é superior a LDH neste órgão, tanto entre os tempos quanto nos ambientes, demonstrando uma atividade oxidativa elevada e que não é afetada pelos

fatores presentes nos ambientes de água preta e viveiro, por outro lado efeito do ambiente de água branca (DUNCAN e MARCON, 2009; ASSIS et al., 2012, 2015).

No coração a atividade entre os tempos da LDH permaneceu estatisticamente inalterada no viveiro ( $0,04 \pm 0,01$  e  $0,04 \pm 0,01$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), rio Nhamundá ( $0,01 \pm 0,00$  e  $0,02 \pm 0,01$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ) e canal Capitão ( $0,04 \pm 0,02$  e  $0,01 \pm 0,00$   $\mu\text{molesPy/gPt/min}$ ), assim como não houve variação entre os ambientes. A MDH apresentou entre os tempos aumento de atividade no viveiro ( $0,10 \pm 0,03$  a  $0,22 \pm 0,10$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ) e rio Nhamundá ( $0,14 \pm 0,05$  a  $0,36 \pm 0,18$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ), por outro lado, diminuiu no canal Capitão ( $0,34 \pm 0,08$  a  $0,13 \pm 0,03$   $\mu\text{molesOxa/gPt/min}$ ). Entre os ambientes, os animais do décimo quarto dia no rio Nhamundá e os do sétimo dia no canal Capitão demonstraram índices maiores, sendo os demais similares. A atividade da MDH no coração é superior a LDH em todos os ambientes estudados, demonstrando que este órgão tem atividade oxidativa bem elevada sofrendo influências de fatores presentes nos ambientes de água preta e branca (ALMEIDA-VAL et al., 1991; DRIEDZIC e ALMEIDA-VAL, 1996).

O resultado da razão MDH/LDH em cada tecido de alevinos de pirarucus submetidos a diferentes ambientes estão listados na tabela 6. As brânquias apresentaram, entre os tempos T1 e T2, elevação da atividade oxidativa no viveiro ( $0,45 \pm 0,41$  a  $1,03 \pm 0,16$ ) e no rio Nhamundá ( $0,44 \pm 0,56$  a  $2,37 \pm 0,67$ ) com diminuição no canal do Capitão ( $0,74 \pm 0,31$  a  $0,11 \pm 0,06$ ), sendo os animais do rio Nhamundá os com os maiores valores. No fígado a atividade aeróbica entre os tempos não variou no viveiro ( $1,20 \pm 0,70$  e  $0,85 \pm 0,41$ ), no rio Nhamundá ( $4,47 \pm 2,74$  a  $5,45 \pm 0,92$ ) e no canal Capitão ( $6,84 \pm 4,88$  e  $2,38 \pm 1,07$ ) com as maiores razões encontradas nos peixes do rio Nhamundá. No músculo esquelético, entre os tempos, não houve alteração da razão no viveiro ( $1,27 \pm 0,34$  e  $0,91 \pm 0,38$ ), mas houve redução no rio Nhamundá ( $1,03 \pm 0,30$  a  $0,29 \pm 0,18$ ) e aumento no canal Capitão ( $0,51 \pm 0,26$  a  $1,15 \pm 0,25$ ) com os maiores valores nos animais do rio Nhamundá. No estômago a razão permaneceu inalterada entre os tempos no viveiro ( $2,53 \pm 0,80$  e  $2,40 \pm 0,67$ ) e no canal Capitão ( $3,15 \pm 1,89$  e  $3,48 \pm 1,39$ ) com aumento no rio Nhamundá ( $3,64 \pm 0,98$  a  $10,67 \pm 7,10$ ), sendo este último apresentando valores bem maiores do que os demais ambientes. No intestino a atividade oxidativa do órgão permaneceu



inalterada entre os tempos no canal Capitão ( $5,26\pm6,09$  e  $4,94\pm2,91$ ), mas diminuiu no viveiro ( $5,87\pm1,79$  a  $3,14\pm0,98$ ) e aumentou no rio Nhamundá ( $2,80\pm2,12$  a  $12,76\pm4,57$ ), sendo que este último apresentou as maiores razões entre os ambientes. A bexiga de gás, entre os tempos, apresentou uma razão que se elevou no viveiro ( $1,81\pm0,40$  a  $2,49\pm0,61$ ), permaneceu sem variação no rio Nhamundá ( $2,31\pm0,54$  e  $2,65\pm0,56$ ) e reduziu no canal Capitão ( $3,53\pm4,50$  a  $1,96\pm0,56$ ), sendo os maiores valores encontrados nos indivíduos inseridos no rio Nhamudá. O encéfalo apresentou aumento da aerobiose, entre os tempos, no viveiro ( $1,59\pm0,75$  a  $3,78\pm0,90$ ), inalteração no rio Nhamundá ( $3,68\pm1,3$  e  $3,08\pm0,53$ ) e redução no canal Capitão ( $3,36\pm3,94$  a  $2,04\pm0,72$ ), sendo os maiores valores similares entre os ambientes. No coração a atividade oxidativa aumentou no viveiro ( $2,47\pm0,51$  a  $6,39\pm2,84$ ), no rio Nhamundá ( $9,77\pm3,55$  a  $19,17\pm10,87$ ) e no canal do Capitão ( $9,77\pm4,95$  a  $10,13\pm3,96$ ) com os animais inseridos no rio Nhamundá os com razão bem elevadas, cujos valores indicam que a aerobiose neste órgão é superior aos demais (ALMEIDA-VAL et al., 1991; DRIEDZIC e ALMEIDA-VAL, 1996).

**Tabela 6:** Médias $\pm$ DP da relação MDH/LDH em sete tecidos de alevinos de pirarucus submetidos a 7 e 14 dias em diferentes ambientes. Viveiro = águas verdes, rio Nhamundá = águas pretas, canal do Capitão = águas brancas. Letras desiguais tanto entre tempo e local indicam que há diferenças significativas entre as médias ( $p<0,05$ ).

	Viveiro Parintins		Rio Nhamundá		Canal Capitão	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
	N=5	N=5	N=5	N=5	N=5	N=5
Brânquias	0,45 $\pm$ 0,41a	1,03 $\pm$ 0,16b	0,44 $\pm$ 0,56a	2,37 $\pm$ 0,67c	0,74 $\pm$ 0,31b	0,11 $\pm$ 0,06d
Fígado	1,20 $\pm$ 0,70a	0,85 $\pm$ 0,41a	4,47 $\pm$ 2,74c	5,45 $\pm$ 0,92c	6,84 $\pm$ 4,88c	2,38 $\pm$ 1,07c
Músculo	1,27 $\pm$ 0,34a	0,91 $\pm$ 0,38a	1,03 $\pm$ 0,30a	0,29 $\pm$ 0,18b	0,51 $\pm$ 0,26b	1,15 $\pm$ 0,25a
Estômago	2,53 $\pm$ 0,80a	2,40 $\pm$ 0,67a	3,64 $\pm$ 0,98b	10,67 $\pm$ 7,10c	3,15 $\pm$ 1,89b	3,48 $\pm$ 1,39b
Intestino	5,87 $\pm$ 1,79a	3,14 $\pm$ 0,98b	2,80 $\pm$ 2,12b	12,76 $\pm$ 4,57c	5,26 $\pm$ 6,09a	4,94 $\pm$ 2,91a
Bexiga de gás	1,81 $\pm$ 0,40a	2,49 $\pm$ 0,61b	2,31 $\pm$ 0,54b	2,65 $\pm$ 0,56b	3,53 $\pm$ 4,50c	1,96 $\pm$ 0,56a
Encéfalo	1,59 $\pm$ 0,75a	3,78 $\pm$ 0,90b	3,68 $\pm$ 1,3b	3,08 $\pm$ 0,53b	3,36 $\pm$ 3,94b	2,04 $\pm$ 0,72a
Coração	2,47 $\pm$ 0,51a	6,39 $\pm$ 2,84b	9,77 $\pm$ 3,55c	19,17 $\pm$ 10,87d	9,77 $\pm$ 4,95c	10,13 $\pm$ 3,96c

#### 4. Conclusão

A descrição dos índices hematológicos e ezimáticos de alevinos inseridos durante 7 e 14 dias em águas de cor verde (viveiro em Parintins), preta (rio

Nhamundá) e branca (canal Capitão) demonstram diferenças e similaridades influenciadas por variáveis como o pH, oxigênio dissolvido, concentração de sais, amônia, dureza e alcalinidade. As variações nos aspectos fisiológicos de alevinos indicam, possivelmente, uma adaptação plástica em relação a fatores e estressores ambientais. Os dados aqui descritos podem ser utilizados como referência para novos trabalhos futuros, inclusive os que podem verificar os efeitos sazonais das águas nos indicadores fisiológicos.

### **Agradecimentos**

A FAPEAM (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Amazonas) pelo apoio financeiro através do Edital Universal (011/2011) e da bolsa de doutorado cedida a Adailton Moreira da Silva. Ao DEUC – Departamento Estadual de Unidades de Conservação pela autorização da pesquisa na APA Nhamundá. Ao PPG-CIPET pela oportunidade de realizar esta pesquisa. Ao Laboratório de Morfologia Funcional da Universidade Federal do Amazonas, pelo ambiente intelectual durante a confecção do trabalho. À Universidade do Estado do Amazonas pela concessão financeira e institucional.

### **Referências bibliográficas**

ALCANTARA, F.B.; GUERRA, H.F. Cultivo de paiche, *Arapaima gigas*, utilizando bujurqui, *Cichlassoma bimaculatum*, como presa. **Folia Amazonica**, n. 4, p.133- 144, 1992.

ALMEIDA-VAL, V.M.F.; SCHWANTES, M.L.B.; VAL, A.L. LDH isozymes in amazon fish—II: temperature and pH effects on LDH kinetic properties from *Mylossoma duriventris* and *Colossoma macropomum* (Serrasalminidae). **Comparative Biochemistry and Physiology – Part B**, v. 98, n. 1, pp. 79-86, 1991.

ALMEIDA-VAL, V.M.F.; VAL, A.L.; WALKER, I. Long-and short-term adaptation of Amazon fishes to varying O<sub>2</sub>-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**, 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.

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.

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.

ASSIS, C.R.D.; LINHARES, A.G.; OLIVEIRA, V.M.; FRANÇA, R.C.P.; SANTOS, J.F.; CARVALHO, E.V.M.M.; BEZERRA, R.S.; CARVALHO JR, L.B. Effect of ions on the activity of brain acetylcholinesterase from tropical fish. **Journal of Coastal Life Medicine**, v. 3, n. 7, p. 505-514, 2015.

AYRES, M.A.; JÚNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: MCT; IDSM; CNPq, 2007. 364 p.

BABIN, P.J.; VERNIER, J.M. Plasma lipoproteins in fish. **Journal of Lipid Research**, n. 30, p. 647-689, 1989.

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 Biochemistry**, n. 34, p. 405-412, 2008.

BECKER, A.G.; BALDISSEROTTO, B. Regulação osmótica e iônica. In: BALDISSEROTTO, B.; CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C. **Biologia e fisiologia de peixes neotropicais de água doce**. Jaboticabal: FUNEP; UNESP, 2014. p. 253-264.

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.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Water quality and pond soil analyses for aquaculture**. Auburn: Auburn University, 1992. 183p.

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 & Neurobiology**, v. 184, n. 3, p.293-300, 2012.

BRADFORD, M.M. A dye binding assay for protein. **Analytical Biochemistry**, n. 72, p. 248-254, 1976.

CARNEIRO, P.C.F.; URBINATI, E.C. Salt as a stress response mitigator of matrinxã, *Brycon cephalus* (Günther), during transport. **Aquaculture Research**, 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, Arapaimatidae), 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 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.

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.

CEUC, Centro Estadual de Unidades de Conservação. **Relatório Parcial: Levantamento dos aspectos sócio-econômicos e organizacionais das comunidades da APA Estadual Nhamundá**, 2010.

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 $\beta$ -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. **Fish Physiology and Biochemistry**, 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.

DRIEDZIC, W.R.; ALMEIDA-VAL, V.M.F. Enzymes of cardiac energy metabolism in amazonian teleosts and the freshwater stingray (*Potamotrygon hystrix*). **Journal of Experimental Zoology**, v. 274A, n. 1, p.327-333, 1996.

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.

DUNCAN, W.P.; MARCON, J.L. Enzymes of energy metabolism in hatchlings of amazonian freshwater turtles (Testudines, Podocnemididae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 2, p.319-325, 2009.

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.

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.

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.; CHIPPARI-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**, 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.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística Pesqueira do Amazonas e Pará**. Manaus: IBAMA/PRO-VÁRZEA, 2003.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa Nº. 113/2006**. Manaus: IBAMA, 2006.

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

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.

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.

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.

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.

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

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.

RAMOS, C.A.; FERNANDES M.N.; COSTA, O.T.F.; DUNCAN, W.P. Implications for Osmorepiratory 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.

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



SILVA, A.O.F.; MARTINEZ, C.B.R. Acute effects of cadmium on osmoregulation of the freshwater teleost *Prochilodus lineatus*: Enzymes activity and plasma ions. **Aquatic Toxicology**, v. 156, p 161-168, 2014.

SILVA, M.S.R., MIRANDA, S.A.F.; SANTANA, G.P. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versos Resolução N° 357/CONAMA/20051. **Scientia Amazonia**, v. 6, n.2, p. 83-90, 2016.

SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**,v.3, p.267-277, 1968.

SIOLI, H. **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr W. Junk Publishers. 1984.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos de ecologia da maior região de florestas tropicais**, 2. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1991.

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 teleósteos**. 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., 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.

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 and 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 and Engineering C**, v. 32, n. 8, p. 2212-2214, 2012.

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.

WINTROBE, M.M. Variations in the size and hemoglobin content of erythrocytes in the blood of various vertebrates. **Folia Haematologica**, n. 51, p. 32-49, 1934.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. 2<sup>a</sup> Ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall International. Inc., 1999.