



## Composição química do plasma de peixes teleósteos de um lago de várzea na Amazônia Central

### Chemical composition of the plasma of teleosts fish from a várzea lake in the Central Amazon

Rubia Neris Machado\* & Wallace Paxiúba Duncan

Laboratório de Morfologia Funcional, Universidade Federal do Amazonas - Ufam

\*Email: rubiamachado551@gmail.com

Recebido: 14 de dezembro de 2016 / Aceito: 29 de maio de 2017 / Publicado: 8 de junho de 2017

**Resumo.** Foram analisados os níveis de proteínas totais, albumina, ureia, amônia e íons plasmáticos em dez espécies de peixes (*Pinirampus pirinampu*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Hemisorubim platyrhynchos*, *Sorubim lima*, *Ageneiosus ucayalensis*, *Pygocentrus nattereri*, *Mylossoma duriventre*, *Psectrogaster amazonica*, *Astronotus ocellatus* e *Cichla monoculus*) coletados no lago Janauacá (Amazônia Central). Observamos que as espécies piscívoras como *Pygocentrus nattereri*, *Sorubim lima*, *Astronotus ocellatus* e *Cichla monoculus* apresentaram elevados teores de amônia e sódio no plasma se comparados às demais espécies que não são carnívoras. Os níveis desses solutos plasmáticos podem estar associados à dieta com elevado teor de proteína e sais minerais. Exceto para *Sorubim lima*, as demais espécies carnívoras da ordem Siluriformes não apresentaram a mesma característica observada nos piscívoros da ordem Characiformes e Perciformes.

**Palavras-Chave:** guildas tróficas; hábito alimentar; íons plasmáticos; metabólitos do sangue.

**Abstract.** We analysed the levels of total proteins, albumin, urea, ammonia and ions in the plasma of ten fish species (*Pinirampus pirinampu*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Hemisorubim platyrhynchos*, *Sorubim lima*, *Ageneiosus ucayalensis*, *Pygocentrus nattereri*, *Mylossoma duriventre*, *Psectrogaster amazonica*, *Astronotus ocellatus* and *Cichla monoculus*) collected in Lake Janauacá (Central Amazonia). Piscivorous species such as *P. nattereri*, *S. lima*, *A. ocellatus* and *C. monoculus* presented high concentrations of ammonia and sodium in their plasma. The levels of these solutes may be associated with high protein diet and salt content. The carnivorous species of silurids, with the exception of *S. lima*, did not present the same characteristics observed in piscivorous fish belonging to the order Characiformes and Perciformes.

**Keywords:** trophic guild; diet; plasma ions; blood metabolites.

Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam - Programa Universal Amazonas, 209/2012) e pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos (PPG-Cipet/Ufam).

## Introdução

Em toda a bacia Amazônica estima-se que existam 2.320 espécies descritas de peixes (Winemiller et al., 2016). No entanto, isso pode representar apenas 30% do número total estimado para a região (Lowe-McConnell, 1999). Alguns estudos sugerem que os lagos de *várzeas* podem conter 200 a 500 espécies de peixes (Henderson & Crampton, 1997; Henderson & Robertson, 1999). As explicações para a riqueza, diversidade e abundância desses grupos taxonômicos nessas áreas incluem aspectos ecológicos e características morfométricas dos lagos (Henderson & Crampton, 1997; Petry, Bayley, & Markle, 2003; Siqueira-Souza & Freitas, 2004). Nos lagos de *várzea*, os peixes ocupam uma grande variedade de nichos ecológicos e exploram quase todos os recursos alimentares disponíveis no ambiente aquático (Pouilly, Lino, Bretenoux & Rosales, 2003). Os recursos alimentares constituem-se de materiais alóctones e autóctones, os quais incluem vegetais, sementes, larvas de insetos, insetos, peixes, crustáceos, moluscos, detritos e plâncton (Claro-Jr, Ferreira, Zuanon & Araujo-Lima, 2004).

Independentemente da categoria trófica, todos os animais necessitam de nutrientes básicos classificados como macronutrientes (proteínas, lipídeos e carboidratos) e micronutrientes (sais minerais e vitaminas). Além disso, a anatomia do trato digestório está intimamente associada ao hábito alimentar do peixe e pode influenciar na dinâmica da circulação sanguínea dos nutrientes (Grosell, 2014). Por exemplo, peixes carnívoros têm o trato digestório curto devido à alta digestibilidade do alimento, enquanto peixes herbívoros possuem intestino longo aumentando o tempo de passagem dos nutrientes nesse órgão (Clements & Raubenheimer, 2005). É provável que uma dieta rica em proteínas e sais minerais de origem animal (como nos peixes piscívoros) possa influenciar na composição química dos nutrientes que circulam no sangue do peixe. A maioria dos estudos sobre a composição dos solutos plasmáticos (íons e outros osmólitos, tais como amônia, albumina e proteínas totais) enfatizam os mecanismos osmorregulatórios (Duncan, Costa, Araujo & Fernandes, 2009; Becker et al., 2011). Tais estudos procuram entender o delicado equilíbrio entre a composição química do corpo do peixe e sua estreita relação com as características físicas e químicas do ambiente aquático. Nesse trabalho, os teores dos solutos plasmáticos serão discutidos levando em consideração o hábito alimentar de cada espécie.

Os peixes de água doce são hiperosmóticos em relação ao meio; com isso, perdem passivamente íons para o ambiente (Evans, Piermarini & Choe, 2004). Para compensar, os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Cl}^-$  são ativamente absorvidos pelas brânquias (Evans, Piermarini & Choe, 2005). No entanto, esses animais mantêm-se em balanço negativo em relação ao meio (Wood et al., 2002). Portanto, uma fração significativa desses sais é adquirida durante a alimentação (Clements & Raubenheimer, 2005). O alimento pode contribuir com 20 - 24% do total de  $\text{Na}^+$  absorvido (Grosell, 2014). Esse autor ainda sugere que a dieta pode ter um papel ainda mais importante nas espécies que vivem em águas com baixos teores de sais dissolvidos. De fato, alguns tipos de águas da bacia Amazônica (como as águas pretas e claras) têm quantidades baixíssimas de sais dissolvidos (Aucour et al., 2003). Algumas espécies de peixes que vivem nesses ambientes apresentam baixos níveis de eletrólitos plasmáticos se comparadas às populações que são encontradas em águas com maiores teores de sais (Duncan, Costa, Araújo & Fernandes, 2009). Considerando esses aspectos, esse trabalho descreve o perfil iônico e metabólitos do plasma de 10 espécies de peixes teleósteos (incluindo três ordens: Siluriformes, Characiformes e Perciformes) coletados num lago de *várzea* da Amazônia Central (Lago Janauacá). O perfil da composição química do plasma será discutido com base na categoria trófica de cada espécie.

## Material e métodos

### ÁREA DE COLETA

O Janauacá (03°23'S e 63°12'W) é um lago de *várzea* localizado a 40 km de Manaus próximo à confluência dos rios Solimões e Negro. Durante o período de enchente, o lago recebe águas do canal principal (Rio Solimões, típico rio de água branca) por meio de um estreito canal de 12 km de extensão. As coletas foram realizadas no mês de outubro de 2013 (período de vazante), quando o lago tinha como característica físico-química: pH  $6,6 \pm 0,4$ ; condutividade elétrica  $91,6 \pm 4,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ ; temperatura  $27,5 \pm 0,8$  °C; sólidos dissolvidos totais em torno de  $48,8 \pm 3,7 \text{ mg L}^{-1}$  e concentração de oxigênio dissolvido  $4,5 \pm 0,7 \text{ mg L}^{-1}$ . Essas variáveis foram analisadas por meio de um analisador multiparâmetro. Os íons da água  $\text{Na}^+$  ( $135 \pm 11,8 \mu\text{M}$ );  $\text{K}^+$  ( $16,6 \pm 2,1 \mu\text{M}$ ),  $\text{Ca}^{+2}$  ( $176,2 \pm 21,9 \mu\text{M}$ ) foram analisados por fotometria de chama.

Os peixes foram coletados utilizando quatro tipos diferentes de malhadeiras com malhas variando de 24 a 60 mm. As malhadeiras foram dispostas de maneira a capturar peixes bentônicos, bentopelágicos e pelágicos do lago. O tempo de vistoria em cada malhadeira não ultrapassou 1 hora. Apenas os peixes saudáveis, sem

sinais de lesões visíveis ou incapacidade natatória foram imediatamente removidos e mantidos em tanques contendo a mesma água do rio. As espécies capturadas foram: *Pinirampus pinirampu* Spix & Agassiz, 1829; *Pterygoplichthys pardalis* Castelnau, 1855; *Hemisorubim platyrhynchos* Valenciennes, 1840; *Sorubim lima* Bloch e Schneider, 1801; *Ageneiosus ucayalensis* Castelnau, 1855; *Pygocentrus nattereri* Kner, 1858; *Mylossoma duriventre* Cuvier, 181; *Psectrogaster amazonica* Eigenmann & Eigenmann, 1889; *Astronotus ocellatus* Agassiz, 1831 e *Cichla monoculus* Agassiz, 1831. Esses peixes foram mantidos em aeração constante durante quatro horas. Um exemplar-testemunha de cada espécie foi preservado em formol 10% tamponado e mantido no Laboratório de Morfologia Funcional da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas.

#### AMOSTRAS DE SANGUE E MÉTODOS ANALÍTICOS

Após o período de recuperação, os mesmos foram anestesiados (benzocaína 0,5%) e o sangue foi retirado por meio de punção da veia caudal utilizando seringas heparinizadas. O sangue foi centrifugado e o plasma separado para análises bioquímicas e íons. Os dados de massa, número de amostras e os nomes comuns das espécies estudadas estão apresentados na tabela 1. Os níveis de proteínas totais foram quantificados pelo método de Bradford (usando o corante azul de Coomassie G-250), enquanto os teores de albumina, ureia e os íons cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) foram analisados por meio de métodos colorimétricos utilizando kits comerciais da marca Labtest. A amônia no plasma foi analisada utilizando o reagente de Nessler (solução alcalina de tetraiodo mercurato II). Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram estimados por fotometria de chama (Digimed DM-62). A osmolalidade foi avaliada por meio de crioscopia utilizando um osmômetro (Semi-Micro K-7400).

#### ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados estão expressos como média  $\pm$  erro padrão da média. A homogeneidade das variâncias foi avaliada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. No caso de igualdade das variâncias, foi aplicada Anova seguida de o teste de comparação múltipla de Tukey (com correção de Bonferroni) para identificar quais espécies apresentavam diferenças significativas. Alternativamente, utilizou-se Anova não-paramétrica seguida de um teste de Kruskal-Wallis. As análises e os gráficos foram confeccionados utilizando um pacote estatístico Sigma-Plot v.11 (Systat Software, Inc), sendo o valor ( $p < 0,05$ ).

#### Resultados e Discussão

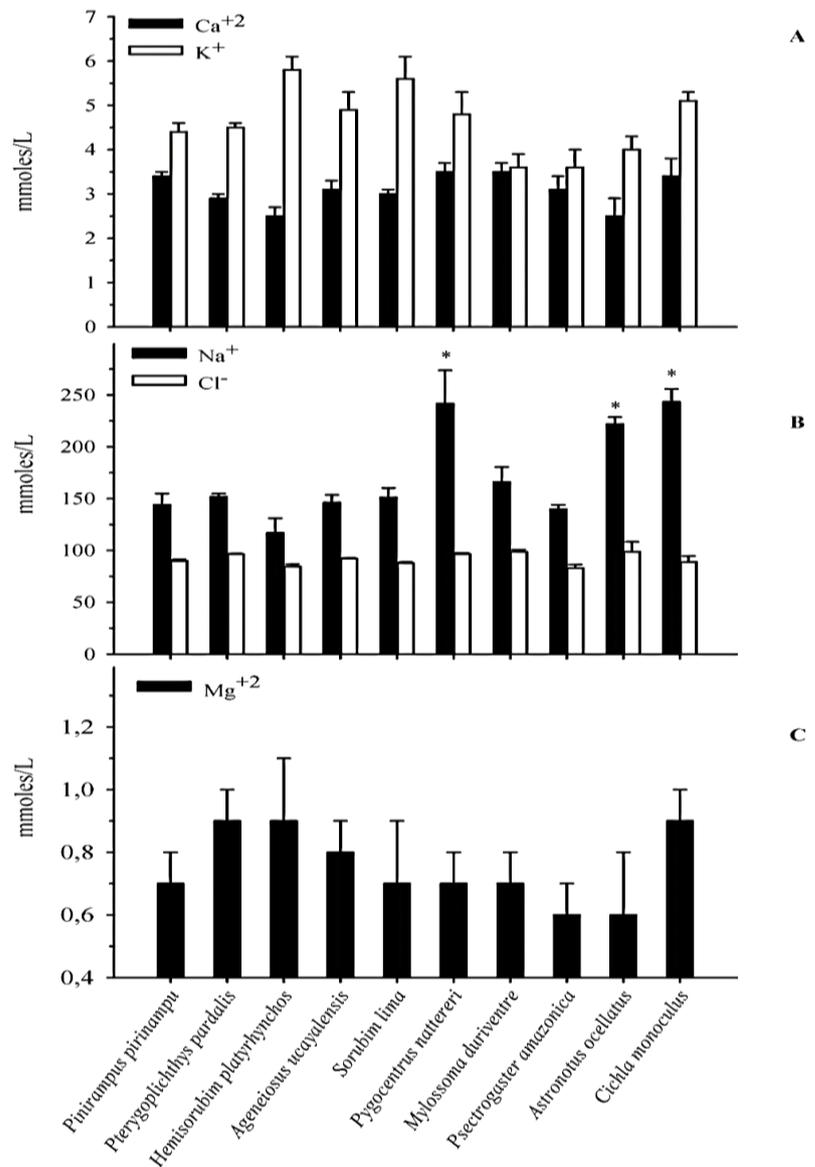
Os teores de proteínas totais, albumina, ureia e amônia plasmáticas estão apresentados na Tabela 1. O pacu-manteiga, *Mylossoma duriventre*, apresentou baixos teores de proteínas no plasma ( $p < 0,05$ ) em relação às demais espécies estudadas. Isso também refletiu em valores reduzidos de albumina no sangue desse peixe ( $p < 0,05$ ). Em geral, uma redução nos teores dessa proteína, normalmente eleva os níveis de cálcio ionizável ( $\text{Ca}^{+2}$ ), uma vez que a albumina sérica é uma importante proteína que transporta cálcio pelo sangue (Orrell, 1971). De fato, o baixo nível de albumina no plasma de *Mylossoma duriventre* não resulta em níveis reduzidos de  $\text{Ca}^{+2}$  plasmático (Figura 1A). O perfil bioquímico e dos eletrólitos do pacu-manteiga pode ser o reflexo do hábito alimentar dessa espécie. A dieta de *Mylossoma duriventre* consiste principalmente de itens alóctones, como frutos, sementes e invertebrados (Claro-Jr, Ferreira, Zuanon & Araujo-Lima, 2004). Itens completamente diferentes da dieta de outro representante da família Serrasalminidae analisado nesse estudo.

**Tabela 1** Variáveis bioquímicas (média  $\pm$  erro padrão da média) no plasma de peixes teleósteos coletados em um lago de várzea da Amazônia, Lago Janauacá.

Espécies	Peso (g)	Proteínas totais (g/dL)	Albumina (g/dL)	Ureia (mmoles/L)	Amônia (mmoles/L)
<i>Pinirampus pinirampu</i> (N=8)	312,9 $\pm$ 13,8	2,9 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,2
<i>Pterygoplichthys pardalis</i> (N=8)	151,7 $\pm$ 12,2	3,0 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,1
<i>Hemisorubim platyrhynchos</i> (N=9)	198,8 $\pm$ 10,0	2,9 $\pm$ 0,2	1,7 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,1
<i>Ageneiosus ucayalensis</i> (N=9)	241,3 $\pm$ 19,4	2,8 $\pm$ 0,1	0,9 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,2
<i>Sorubim lima</i> (N=10)	237,0 $\pm$ 17,7	3,0 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,1	2,1 $\pm$ 0,3*
<i>Pygocentrus nattereri</i> (N=7)	167,5 $\pm$ 10,4	3,6 $\pm$ 0,2	1,9 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,1	2,2 $\pm$ 0,3*
<i>Mylossoma duriventre</i> (N=8)	149,5 $\pm$ 9,5	2,3 $\pm$ 0,1*	0,8 $\pm$ 0,1*	0,8 $\pm$ 0,2	0,8 $\pm$ 0,1
<i>Psectrogaster amazonica</i> (N=8)	196,2 $\pm$ 11,7	3,2 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,2	0,7 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,1
<i>Astronotus ocellatus</i> (N=9)	67,3 $\pm$ 4,1	2,7 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,1	2,4 $\pm$ 0,2*
<i>Cichla monoculus</i> (N=7)	571,4 $\pm$ 48,6	3,1 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,2	2,5 $\pm$ 0,2*

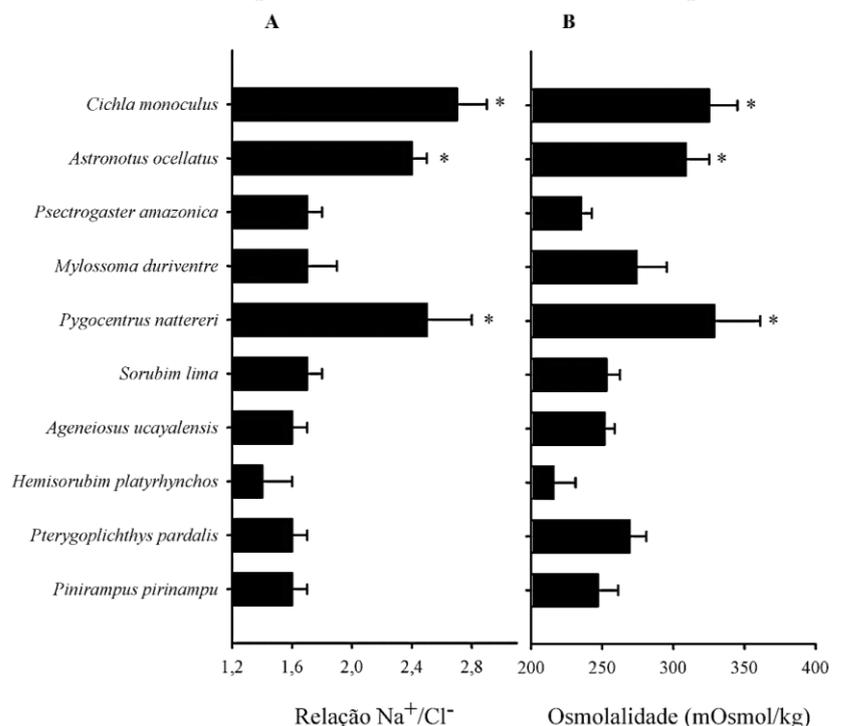
A piranha-caju (*Pygocentrus nattereri*) é um peixe piscívoro abundante nos lagos de várzea (Piorski, Alves, Machado & Correia, 2005; Ferreira, Vicentin, Costa & Suarez, 2014). Sabe-se que alimentos de origem animal são ricos em sais minerais (íons) e proteínas, e que o catabolismo das proteínas (incluindo o metabolismo dos aminoácidos) resulta na excreção de produtos nitrogenados na forma de amônia e ureia. Os níveis de amônia em *Pygocentrus nattereri*, bem como nas demais espécies carnívoras (*Astronotus ocellatus*, *Cichla monoculus* e *Sorubim lima*) foram significativamente ( $p < 0,05$ ) mais elevados ( $> 2$  mM) que nas demais. Além disso, os teores de  $\text{Na}^+$  plasmático (Figura 1A), bem como a relação  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  (Figura 2A) também foram mais elevados nas espécies piscívoras citadas anteriormente. O sódio e o cloreto são os principais eletrólitos plasmáticos que contribuem para a osmolalidade total nesse tecido. Como o perfil dos teores de potássio ( $\text{K}^+$  Figura 1A), cloreto ( $\text{Cl}^-$  Figura 1B), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ , Figura 1C) foi semelhante entre as espécies estudadas,

**Figura 1** Valores médios  $\pm$  erro padrão de íons (A) cálcio e potássio, (B) sódio e cloreto e (C) magnésio plasmáticos em dez espécies de peixes capturados no lago de várzea (Lago Janauacá, Amazônia Central).



o íon  $\text{Na}^+$  é o principal soluto que contribui substancialmente para a manutenção da osmolalidade plasmática nesses piscívoros. Isto justifica valores mais elevados de osmolalidade nessas espécies ( $p < 0,05$ ; Figura 2B). Nas outras espécies, especialmente, nos peixes Siluriformes carnívoros (*Pirirampus pirinampu*, *Hemisorubim platyrhynchos* e *Ageneiosus ucyalensis*) aparentemente não existe uma clara associação entre os parâmetros bioquímicos e eletrólitos do plasma com hábito alimentar. É provável que os perfis iônicos nesses peixes possam estar associados a

**Figura 2** Relação entre os níveis dos íons sódio/cloreto (A) e osmolalidade total do plasma (B) nos peixes capturados no Lago Janauacá (Amazônia Central).



outros aspectos fisiológicos intrínsecos. Tais processos podem ou não estar associados ao ambiente aquático, tais como as altas taxas de perda difusiva para o meio, ou ainda por meio de mecanismos de reabsorção de eletrólitos espécie-específicos (Evans, Piermarini & Choe, 2004). O perfil iônico de outros fluidos biológicos tem sido analisado em várias espécies de teleósteos. Por exemplo, Baldisserotto, López-Vasquez, Silva, Golombieski & Val et al. (2004) estudaram a composição química da bile na vesícula biliar de 23 espécies de peixes coletados no Rio Negro (bacia Amazônica). Esses autores não encontraram nenhuma relação entre os valores dos íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ) com o hábito alimentar ou com o volume do conteúdo do trato digestório nas espécies analisadas. Diferente desses autores, nossos resultados sugerem que a composição química do plasma de algumas espécies de peixes da várzea pode estar associada ao hábito alimentar dessas espécies. Uma vez que todos os peixes foram coletados no mesmo tipo de água, as características químicas do sangue aparentemente não estavam relacionadas às variáveis físicas e químicas da água do lago. No entanto, mais estudos são necessários incluindo com maior número de espécies e de várias categorias tróficas para que se possa estabelecer uma ampla associação entre a composição química do plasma e o hábito alimentar dos peixes que vivem nos lagos de várzea.

## Referências

- Aucour, A.M., Tao, F.X., Moreira-Turcq, P., Seyler, P., Sheppard, S. & Benedetti, M.F. (2003). The Amazon River: behaviour of metals (Fe, Al, Mn) and dissolved organic matter in the initial mixing at the Rio Negro/Solimões confluence. *Chemical Geology*, 197: 271-285.
- Baldisserotto, B., López-Vasquez, K., Silva, L.V.F., Golombieski, J.I. & Val, A.L. (2004). Ionic levels of the gallbladder bile of some teleosts from the Rio Negro, Amazon. *Journal Fish Biology*, 65: 287-292.
- Becker, A.G., Gonçalves, J.F., Toledo, J.A., Burns, M.D.M., Garcia, L.O., Vieira, J.P. & Baldisserotto, B. (2011). Plasma ion levels of freshwater and marine/estuarine teleosts from Southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 9: 895-900.
- Claro-Jr, L., Ferreira, E., Zuanon, J. & Araujo-Lima, C. (2004). O efeito da floresta alagada na alimentação de três espécies de peixes onívoros em lagos de várzea da Amazônia Central, Brasil. *Acta Amazonica*, 34: 133-137.
- Clements, K.D. & Raubenheimer, D. (2005). Feeding and nutrition. In: Evans, D.H. & Claiborne, J.B. (Eds.). *The Physiology of Fishes* (pp.47-82). Gainesville: CRC Press.
- Duncan, W.P., Costa, O.T.F., Araujo, M.L.G. & Fernandes, M.N. (2009). Ionic regulation and  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ -ATPase activity in gills and kidney of the freshwater stingray *Paratrygon aiereba* living in white and blackwaters in the Amazon Basin. *Journal Fish Biology*, 74: 956-960.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M. & Choe, K. (2004). Homeostasis: osmoregulation, pH regulation and nitrogen excretion. in: Carrier, J.C., Musick, J.A. & Heithaus, M.R. (Eds.). *Biology of sharks and their relatives*. (pp.247-268). Boca Raton: CRC Press.
- Evans, D.H., Piermarini, P.M. & Choe, K.P. (2005). The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous wastes. *Physiological Reviews*, 85: 97-177.
- Ferreira, F.S., Vicentin, W., Costa, F.E.S. & Suarez, Y.R. (2014). Trophic ecology of two piranha species, *Pygocentrus nattereri* and *Serrasalmus marginatus* (Characiformes, Characidae), in the floodplain of the Negro River, Pantanal. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 26: 381-391.
- Grosell, M. (2014). Intestinal transport. In: D. Evans, J.B. Claiborne & S. Currie. *The Physiology of fish*. Boca Raton: CRC Press. p. 175-204.
- Henderson, P.A. & Crampton, W.G. (1997). A comparison of fish diversity and density from nutrient rich and poor water lakes in the Upper Amazon. *Journal Tropical Ecology*, 13(2): 175-198.
- Henderson, P.A. & Robertson, B.A. (1999). On structural complexity and fish diversity in an Amazonian floodplain. In: Padoch, C., Ayres, J.M., Pinedo-Vasquez, M. & Henderson, P.A. (Eds.). *Várzea: diversity, Development, and the conservation of Amazonian's whitewaters floodplain*. (pp.45-48). New York: New York Botanical Garden Press.
- Lowe-McConnell, R.H. (1999). *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo: Edusp.
- Orrell, D.H. (1971). Albumin as an aid to the interpretation of serum calcium. *Clinica Chimica Acta*, 35: 483-489.
- Petry, P., Bayley, P.B. & Markle, D.F. (2003). Relationship between fish assemblages, macrophytes and environmental gradients in the Amazon River floodplain. *Journal Fish Biology*, 63: 547-579.

- Piorski, N.M., Alves, J.R.L., Machado, M.R.B. & Correia, M.M.F. (2005). Alimentação e ecomorfologia de duas espécies de piranhas (Characiformes: Characidae) do lago de Viana, estado do Maranhão, Brasil. *Acta Amazonica*, 35: 63-70.
- Pouilly, M., Lino, F., Bretenoux, J.G. & Rosales, C. (2003). Dietary- morphological relationships in a fish assemblage of the bolivian amazonian floodplain. *Journal Fish Biology*, 62: 1137-1158.
- Siqueira-Souza, F.K. & Freitas, C.E.C. (2004). Fish diversity of floodplain lakes on the lower stretch of the Solimões River. *Brazilian Journal of Biology*, 64(3): 501-510.
- Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., ... & Sáenz, L. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo and Mekong. *Science*, 351: 128-129.
- Wood, C.M., Matsuo, A.Y.O., Gonzalez, R.J., Wilson, R.W., Patrick, M.L. & Val, A.L. (2002). Mechanisms of ion transport in *Potamotrygon*, a stenohaline freshwater elasmobranch native to the ion-poor blackwater of the Rio Negro. *Journal of Experimental Biology*, 205: 3039-3054.