

AUTOR**Adalberto Luis Val***

dalval@inpa.gov.br

* Pesquisador do
Instituto Nacional de
Pesquisas da Amazônia
(MCTIC/INPA, Brasil).

Conservação da biota aquática da Amazônia

Conservación de la biota acuática de la Amazonia

*Conservation of the Amazonian Aquatic Biota***RESUMO:**

Nas águas amazônicas existem cerca de três mil espécies de peixes conhecidas, assim como várias outras espécies aquáticas, incluindo mamíferos aquáticos, como o peixe-boi. É possível que muitas espécies estejam ainda por serem descritas pela Ciência. Os peixes desta região enfrentam condições naturais extremas em seus ambientes, como baixos níveis de oxigênio, águas ácidas e pobres em íons, altas temperaturas, secas intensas e inundações. As mudanças climáticas globais estão intensificando essas condições ambientais. Além disso, mudanças ambientais causadas pelo homem envolvendo poluentes orgânicos e inorgânicos estão ocorrendo em muitas partes dessa região. Essas condições ambientais representam desafios para todas as espécies de peixes que exibem ajustes em todos os níveis da organização biológica. Conhecer a capacidade adaptativa desses animais nos permite desenhar estratégias de conservação da biota aquática, bem como propor intervenções ambientais mais adequadas. Por fim, é fundamental considerar a importância da biota aquática para a plena implantação dos objetivos do desenvolvimento sustentável na Amazônia.

RESUMEN:

En las aguas amazónicas existen cerca de tres mil especies conocidas de peces, así como algunas otras especies acuáticas que incluyen algunos mamíferos, como el manatí. Es posible que muchas especies aún no hayan sido descritas por la ciencia. Los peces de esta región se enfrentan a condiciones naturales extremas en sus ambientes como bajos niveles de oxígeno, aguas ácidas y pobres en iones, altas temperaturas, sequías intensas e inundaciones. Los cambios climáticos globales están intensificando estas condiciones ambientales. Además, los cambios ambientales causados por el hombre, que trae consigo contaminantes orgánicos e inorgánicos, se están produciendo en muchas partes de la región. Estas condiciones ambientales representan desafíos para todas las especies de peces que exhiben ajustes en todos los niveles de la organización biológica. Conocer la capacidad adaptativa de estos animales permite diseñar estrategias de conservación de la biota acuática, así como proponer intervenciones ambientales más adecuadas. Por último, es fundamental considerar la importancia de la biota acuática para la plena implantación de los objetivos del desarrollo sostenible en la Amazonia.

ABSTRACT:

In the Amazonian waters there are about three thousand known species of fish alongside several other aquatic species, including aquatic mammals such as manatees. It is possible that many species are yet to be described by science. The fish in this region face extreme natural conditions in their environments, such as low levels of oxygen, acidic and poor water in ions, high temperatures, intense droughts and floods. Global climate change is further exacerbating these environmental challenges. In addition, man-made environmental changes involving organic and inorganic pollutants are occurring in many parts of the region. These environmental conditions pose challenges for all fish species that exhibit adjustments at all levels of the biological organization. Knowing the adaptive capacity of these animals allows the design of aquatic biota conservation strategies, as well as more appropriate environmental interventions. Finally, it is fundamental to consider the importance of aquatic biota for the full implementation of the objectives of sustainable development in the Amazon.

1. Introdução

A biodiversidade é um assunto que tem ocupado significativo espaço na agenda atual. Trata-se de um tema amplo, com várias definições. Sundland e colaboradores apresentam uma definição ampla ao informarem que “biodiversidade é a variedade estrutural e funcional das formas de vida nos níveis genético, populacional, das espécies e dos ecossistemas” (Sundland, 1992). Essa definição inclui o aspecto funcional, isto é, como os organismos respondem às condições abióticas do ambiente em que vivem e, também, como respondem aos demais componentes bióticos do ambiente. Em outras palavras, o ambiente é parte da biodiversidade. O termo diversidade biológica ou, hoje, biodiversidade, apareceu recentemente, mais especificamente em 1968, cunhado por Raymon Dassman (1968). No entanto, foi apenas nos anos 1980 que o termo “biodiversidade” ganhou o mundo e passou a integrar o vocabulário dos cientistas e biólogos preocupados com a questão ambiental e o impacto das ações antrópicas sobre o ambiente, graças ao prefácio escrito pelo reconhecido conservacionista Thomas Lovejoy para a coleção a *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*, editada por Michael Soulé e Bruce Wilcox (1980). Uma parte dessa história, muito bem revisada pelo historiador José Luiz Franco (2013), também está presente na marcante entrevista com Tom Lovejoy publicada neste volume especial. É nesse contexto que este texto se desenvolve, ao mesmo tempo que se vale do conceito amplo de biodiversidade, vale-se também do conflito entre a reconhecida necessidade de conservação ambiental, portanto, da biodiversidade da Amazônia, e a inclusão social e geração de renda para uma população humana significativa que soma, hoje, mais de 25 milhões no território amazônico brasileiro e mais de 40 milhões no bioma. Esse conflito toma contornos ainda mais significativos quando levamos em consideração a pressão mundial por água, madeira, petróleo, terras raras, etnoconhecimento, novas drogas para cura de velhas e novas doenças. Nesses contornos, não se pode desconsiderar o crescente empenho mundial para dar vida aos dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável, propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

A Amazônia de que falamos aqui tem contornos e matizes que conhecemos apenas parcialmente. Isso significa que nossa capacidade de pensar o ambiente é igualmente parcial, não pela capacidade de reflexão, mas pela falta de informações. A Amazônia se mede hoje por sua imensurabilidade, mas isso não pode significar a abdicação de usar o que aprendemos até hoje; é preciso usar as informações que possuímos, isto é, precisamos definitivamente avançar, precisamos valer-nos das sinalizações contidas nas informações que possuímos. Além disso, é preciso ter em conta que a Amazônia é um espaço anfíbio que se estende por vários países do norte da América do Sul e que os limites políticos dos diferentes países são muito tênues e mesmo insignificantes ou inexistentes para a imensa riqueza biológica existente na região. Sementes se dispersam. Peixes migram, pássaros cruzam os continentes, como o fazem as andorinhas. Ainda não falamos dos homens, mas fazemos a mesma coisa, talvez até sem conhecer as razões biológicas das andorinhas, mas andamos de um país para outro em busca de uma vida melhor.

2. A Amazônia de que falamos

2.1. O ambiente aquático

As primeiras gotas de água do sistema aquático amazônico emergem de forma singela de um dos paredões do Nevado Mismi, nos Andes peruanos. Trata-se da formação de um Eldorado ambiental, como cunhado por vários historiadores, para as civilizações passadas, presentes e, esperamos, futuras (Imagem 1). Desde esse ponto, o canal principal do rio Amazonas, que

PALAVRAS-CHAVE

Amazônia;
bioma; espécies
aquáticas.

PALABRAS CLAVE

Amazonia;
bioma; especies
acuáticas.

KEY WORDS

Amazon; biome;
aquatic species.

Recibido:
16.10.2018

Aceptado:
15.01.2019



Imagem 1. Eldorado Amazônico. Um mundo de água e floresta habitado por organismos de todas as cores e formas, que se constituem numa incomparável biodiversidade. Foto: William Milson.

recebe várias designações ao longo de seu curso, percorre 6.992 quilômetros até sua foz no Oceano Atlântico, sendo rivalizado apenas pelo rio Nilo, com seus 6.671 quilômetros. Ao longo de seu curso, o rio Amazonas recebe inúmeros tributários que nele descarregam águas drenadas de sub-bacias ao Norte e ao Sul e, juntos, formam uma malha hídrica sem precedentes. Um pequeno canal, o canal de Cassiquiari, faz a conexão dessa malha hídrica com as bacias ao Norte (rio Orinoco), e os alagados do pantanal conectam a bacia amazônica com as bacias do sul. Dada a extensão da bacia, esses dois pontos são muito singelos. Quando chega à sua foz, o rio Amazonas despeja cerca de 250.000 metros cúbicos de água por segundo no oceano, o que equivale a cerca de 20% de toda a água doce que entra nos oceanos de todo o planeta.

A referida malha hídrica se espalha por todos os países do norte e noroeste da América do Sul, ocupando uma área de mais de sete milhões de quilômetros quadrados. No Brasil, a Amazônia ocupa mais de 50% do território nacional, espalhando-se desde as regiões ecotonais do Maranhão, Tocantins e Mato Grosso para o Norte, sobre os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima. São treze mil quilômetros de fronteiras com os demais países amazônicos, que guardam um conjunto surpreendente de similaridades ambientais e desafios estruturais, entre eles, comunicação, distribuição de energia, malha viária, saúde, ciência e tecnologia, sistemas de produção e de proteção contra o desflorestamento. Necessário observar que esses desafios, principalmente aqueles relacionados ao conhecimento científico e tecnológico da região, fragilizam todas as ações de conservação do Eldorado que mencionamos acima. A transposição de informações de outras regiões biodiversas do planeta para a Amazônia não teve sucesso, dadas as características específicas dos muitos ecossistemas que compõem essa região.

A diversidade está em todos os lugares. Não precisa ser especialista para notar as fenomenais diferenças que existem nas florestas e nas águas da Amazônia. Em frente a cidade de Manaus podemos contemplar o encontro das águas pretas do rio Negro com as águas brancas do rio Solimões, que correm lado a lado, sem se misturar, por vários quilômetros, rio abaixo (Imagem 2). Além das águas pretas e brancas, há as águas claras, típicas do rio Tapajós. As cores das águas desses rios escondem, como esperado, características físico-químicas distintas. Enquanto as águas brancas do rio Solimões/Amazonas possuem pH próximo ao neutro, baixas concentrações de carbono orgânico dissolvido, altos níveis de material em suspensão e concentrações de sódio, potássio e cálcio mais altas, relativamente aos rios Negro e Tapajós; as águas do rio Negro são ácidas, com pH menores que 5, altas quantidades de carbono orgânico dissolvido que lhes dão a cor característica, e concentrações de sódio, potássio e cálcio muito baixas (Furch & Junk,



Imagem 2. Encontro das águas do rio Negro (água preta) com o rio Solimões (água branca). A partir desse ponto de encontro, essas águas correm lado a lado sem se misturar, rio abaixo, por vários quilômetros. Foto: Arvo Turvikene.

1997; Sioli 1984; Val & Almeida-Val, 1995). Evidentemente, essas diferenças abióticas se refletem sobre a vida aquática. Aqui, é adequado mencionar a imensa quantidade de sedimentos transportada pelo Rio Amazonas desde os Andes até a costa Atlântica (Lara *et al.*, 1997) que tem importante efeito sobre os processos de adaptação dos organismos nas várzeas de água doce e na maior extensão de mangue no mundo ao norte do Brasil.

Outro aspecto importante do ambiente amazônico é a dinamicidade do sistema. Pulsos de cheia e vazante fazem com que o ambiente aquático interaja profundamente com o ambiente terrestre, em função da baixa declividade do sistema. No período da vazante, a água fica contida no canal principal dos rios e igarapés, enquanto na cheia, as águas extravasam do canal principal e alcançam a floresta de forma intensa, inundando extensas áreas, chamadas de várzea ao longo dos rios de água branca e de igapós ao longo dos rios de águas pretas (Junk *et al.*, 1989). Nos últimos trinta anos, os pulsos de cheia e vazante têm sido mais extremos com consequente aumento da amplitude entre os picos de cheia e vazante (Barichivich *et al.*, 2018).

Por fim, nessa resumida consideração inicial sobre as águas da Amazônia, há que se mencionar o encontro das águas doces com o mar. A diferença de densidade e o volume de água fazem com que os dois tipos de água, doce e salgada, se movam como duas camadas; a água doce entrando no mar sobre a água salgada por muitos quilômetros, e a água salgada entrando Amazônia adentro, debaixo da água doce, por mais de mil quilômetros. Muitas são as implicações deste fenômeno que significa a troca de muitos elementos bióticos entre os dois sistemas. Por exemplo, dentre outras ocorrências, um exemplar de peixe-serra do mar (*Pristis perotteti*) foi coletado no estado do Amazonas nos anos 1990 (Santos & Val, 1998).

2.2. Diversidade da biota aquática

A origem da diversidade biológica que existe nas águas da Amazônia é uma questão que tem desafiado cientistas. Muitos pesquisadores têm visitado a Amazônia nos últimos duzentos anos (Ragazzo, 2002) e contribuído para desvendar seus mistérios. No entanto, ao longo do tempo as questões se multiplicam a uma velocidade muito maior do que as informações robustas que são produzidas sobre a diversidade da biota, em particular da biota aquática. A biota aquática amazônica é composta pela mesma diversidade de organismos que se encontra amplamente distribuída pelo mundo, ou seja, algas, plantas, poríferos, rotíferos, insetos, moluscos, crustáceos, anfíbios, répteis e mamíferos. Alguns desses organismos vivem na



Imagem 3. Espécies da biota aquática amazônica; a) *Vitoria amazonica* vitória régia (Foto: A. L. Val); *Arapaima gigas*, pirarucu (Foto: Fundação Amazonas Sustentável); c) *Scinax ruber* (Foto J. Sá); d) *Trichechus inunguis*, peixe-boi (Foto: W. Milson).

água, mas dispendem algum tempo em terra firme ou vice-versa. Sem dúvida, plantas aquáticas, peixes, répteis e mamíferos merecem destaque (Imagem 3).

As plantas aquáticas da Amazônia formam um conjunto peculiar de organismos; apenas nas regiões de várzea são contabilizadas mais de 400 espécies que fornecem abrigo, alimento e espaço para reprodução de importantes componentes da biota aquática. Nos períodos de vazante, essas plantas passam por processo de degradação resultando em condições ainda mais desafiadoras para os peixes, por exemplo, em razão da produção de dióxido de sulfeto (H_2S) e redução da disponibilidade de oxigênio (Piedade *et al.*, 2017). Entre essas plantas está a *Vitoria amazonica*, com sua folha de cerca de três metros de diâmetro. Sua flor branca ganha um tom rosáceo no segundo dia de vida e é polinizada por pequenos besouros que são mantidos presos no interior da flor por até 24 horas (Prance & Arias 1975). Distúrbios ambientais que possam interferir com a ecologia do besouro ou com a própria floração da planta colocam em risco a existência dessa emblemática macrófita aquática.

O grupo dos peixes é dos mais surpreendentes. Com cerca de três mil espécies que se distribuem desde os grupos mais basais até os mais especializados, o grupo inclui espécies diminutas como várias espécies ornamentais, entre eles o cardinal, até os gigantes pirarucu e piraíba. Essas espécies de peixes surgiram há milhões de anos em ambientes com níveis de dióxido de carbono bem mais altos dos que os níveis atuais. Também, essas mesmas espécies enfrentaram momentos com baixa disponibilidade de oxigênio que, associados com a diversidade ambiental, permitiram o desenvolvimento de um vasto conjunto de adaptações em todos os níveis da organização biológica. É possível que algumas dessas adaptações, já não mais necessárias nos momentos atuais, ainda estejam escondidas silenciosamente no DNA desses animais e possam ser úteis diante dos desafios ambientais deste antropoceno como proposto recentemente por Paul Crutzen (Crutzen, 2002; Zalasiewicz *et al.*, 2010). No entanto, estamos muito longe de conhecer o que vai escondido no DNA das muitas espécies que compõem a diversidade biológica encontrada na Amazônia em geral. Além da enorme variabilidade genética, a plasticidade fenotípica está presente e permite que uma mesma espécie possa viver em ambientes tão distintos quanto águas pretas e brancas. Por isso, é possível que algumas dessas espécies ainda conservem informações para sobreviver em ambientes com altos níveis de dióxido de carbono e temperaturas mais altas, ainda que muitas delas já vivam perto de seus limites térmicos.

As tartarugas e os jacarés se destacam pela importância histórica e cultural na alimentação humana. Muitos artigos recentes reportam novas espécies pertencentes ao grupo dos répteis. O número de espécies de tartarugas, por exemplo, não é comparável ao que ocorre na América do Norte e em outros continentes, mas até que ponto isso decorre do desconhecimento é questionado. A falta de informações sobre o grupo é significativa. Várias espécies de tartarugas e jacarés têm sido exploradas desde meados do século XIX; contudo, as crescentes pressões de pesca, destruição dos ambientes onde vivem e nidificam e a poluição aquática colocam esses animais em risco (Vogt, 2008).

Por fim, entre os mamíferos se destacam nos ecossistemas aquáticos da Amazônia a ariranha (*Pteronura brasiliensis*), o peixe-boi (*Trichechus inunguis*), a lontra (*Lontra longicaudis*), o boto-tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) e o boto-vermelho (*Inia geoffrensis*). Novas espécies têm sido descritas à medida que novas ferramentas moleculares e novos espaços amazônicos têm sido amostrados (Hrbek *et al.*, 2014). A espécie emblemática deste grupo é o peixe-boi em decorrência de sua caça histórica que visava o uso de seu couro para fabricação de correias para máquinas e de sua apreciada carne no prato conhecido regionalmente como mixira. Além disso, trata-se de um animal muito dócil, solitário, com hábitos peculiares e de grande porte, cuja caça hoje é proibida por ser uma espécie ameaçada de extinção.

3. Os desafios naturais do sistema aquático amazônico

Os pulsos de cheia e vazante se constituem na principal função de força no bioma amazônico. A inundação pode durar vários meses a cada ano e requer da vegetação de terra firme um processo robusto de adaptação. Essa interação é vital para a manutenção das cadeias alimentares ao longo de toda a bacia. Assim, nas secas intensas, quando os sistemas aquáticos podem estar reduzidos a cerca de 20% de seu volume, ocorrem distúrbios ecológicos de várias naturezas, principalmente relacionados à confinamento e isolamento da biota aquática em razão da perda de conectividade entre os diferentes corpos de água. Como resposta aos pulsos de inundação, as árvores nas áreas inundáveis, por exemplo, formam nítidos anéis em seus troncos em função da redução da taxa de crescimento (Worbes, 1997). Da mesma forma, os vários componentes da biota aquática se ajustam para enfrentar os desafios ambientais regulares e naturais impostos pelos pulsos de cheia e vazante (Val & Almeida-Val, 1995; Val *et al.*, 1998). O desenvolvimento de estratégias de conservação dessas importantes regiões inundáveis da Amazônia com base nessas informações é vital (Junk, 2000). Sem dúvida, o desmatamento e os distúrbios ambientais antropogênicos causados nesses ambientes aumentam os desafios ambientais para a biota residente.

As águas amazônicas incluem, ainda, variações significativas nos níveis de oxigênio dissolvido, na incidência de radiação ultravioleta, na temperatura e nas mudanças de pH, entre outros. As variações de oxigênio dissolvido podem ocorrer em períodos muito curtos de tempo, exigindo dos organismos flexibilidade orgânica para enfrentar tais situações. Por exemplo, os níveis de oxigênio que ultrapassam os 100% de saturação durante o dia (hiperóxia), podem chegar a zero, isto é, uma condição anóxica durante a noite; assim, os sistemas usados para a respiração precisam ser continuamente ajustados em prazo muito curto (Val *et al.*, 2015). Várias espécies de peixes da Amazônia são capazes de obter o oxigênio diretamente do ar, isto é, apresentam respiração aérea obrigatória, como é o caso do pirarucu (Salvo-Souza & Val, 1990), ou um tipo de respiração bimodal, isto é, quando tem oxigênio na água apresentam respiração branquial e, quando não tem, apresentam respiração aérea; como é o caso do tamoatá (Brauner *et al.*, 1995). Outras espécies, como o tambaqui, expandem o lábio inferior e praticam o que é conhecido como respiração na superfície aquática; essas espécies usam o lábio inferior para captar a camada superficial da coluna d'água que é mais oxigenada (Saint-Paul & Soares, 1988; Val & Almeida-Val, 1995). Ao usarem esse comportamento, esses animais acabam se expondo à radiação ultravioleta, mas são capazes de reparar os danos decorrentes da exposição, como observado para o tambaqui e pirarucu por Groff *et al.* (2009).

Apesar dos peixes da Amazônia viverem em ambientes tropicais quentes, são muito sensíveis ao aquecimento da água. Na realidade, muitas espécies de peixes da região vivem próximas ao limite térmico que permite a manutenção da homeostase orgânica, o que significa que um pequeno aumento da temperatura das águas da região pode ocasionar extensa mortalidade de peixes como consequência de distúrbios na homeostase orgânica (Campos *et al.*, 2018) ou, ainda, desestabilização das hierarquias sociais, como observado para a espécie ornamental *Apistogramma* (Kochhann *et al.*, 2015).

O baixo pH observado em águas pretas é outro desafio ambiental para os peixes. Além de ácidas, as águas pretas são ainda, como mencionado, muito pobres em íons. As águas do canal principal do rio Negro apresentam $\text{pH} < 5.0$, sendo que alguns lagos marginais apresentam $\text{pH} < 3.0$ (Walker, 1995). A acidez das águas pretas é atribuída principalmente a grupos carboxil e hidroxifenólicos que estão presentes nos ácidos húmicos e fúlvicos que ocorrem em abundância nas águas pretas, como revisado por Matsuo & Val (2003), que estudaram a singular ictiofauna presente nas águas do rio Negro, destacando que algumas das espécies de peixes que lá se encontram são endêmicas daquele ambiente peculiar. As estratégias e os efeitos do pH sobre a homeostase iônica desses peixes têm desafiado a ciência e muitos estudos têm sido desenvolvidos para entender os mecanismos fisiológicos e bioquímicos utilizados por esses organismos para se haver com essas condições ambientais extremas (Gonzalez *et al.*, 2002; Matsuo & Val, 2007; Wood *et al.*, 2003; Wood *et al.*, 2002; Wood *et al.*, 1998). A plasticidade fenotípica está também entre as estratégias para sobreviver aos desafios apresentados pelos diferentes tipos de água aos peixes, em particular aos peixes que vivem nas águas do rio Negro, como é o caso da sardinha de água doce, *Triportheus albus* (Araújo *et al.*, 2017). No entanto, tem sido aventado que o próprio carbono orgânico dissolvido tenha um papel protetor, como relatado recentemente (Duarte *et al.*, 2016).

4. Distúrbios ambientais: implicações para a conservação da ictiofauna amazônica

Como mencionado, os peixes desenvolveram múltiplas adaptações em todos os níveis da organização biológica para enfrentar os intermináveis desafios ambientais que ocorrem naturalmente nos seus habitats (Almeida-Val *et al.*, 1999). A esses desafios ambientais junta-se, nos dias de hoje, um vasto conjunto de distúrbios ambientais causados pelo homem que colocam em risco a ictiofauna amazônica. Conhecer esses distúrbios e desenhar alternativas para reduzir seus efeitos são essenciais para a conservação dos peixes da Amazônia com reflexos importantes sobre a segurança alimentar e a economia regionais (Val *et al.*, 2016). Para efeito da presente consideração, destacam-se três tipos de distúrbios ambientais: a construção de barragens, a poluição química e as mudanças ambientais.

A construção de barragens para a geração de energia elétrica é uma das mais controversas e delicadas intervenções ambientais na Amazônia. Energia elétrica é, evidentemente, essencial para o desenvolvimento regional; no entanto, o impacto ambiental é significativo, mesmo consideradas apenas as informações superficiais que têm sido produzidas (Fearnside, 2014). As grandes barragens interpõem dois grandes efeitos para os peixes: interrompe a migração e modifica habitats específicos. A migração, principalmente dos grandes bagres da Amazônia, como é o caso das espécies de *Brachyplatystoma* no rio Madeira, representa um distúrbio biológico sem paralelos, uma vez que interfere nos processos de reprodução dessas espécies (Duponchelle *et al.*, 2016). É preciso ter em conta que as espécies do gênero *Brachyplatystoma* migram mais de oito mil quilômetros ao longo da bacia. Intervenções ambientais desse tipo podem levar ao rápido desaparecimento de espécies, uma vez que não há tempo para que ajustes comportamentais e fisiológicos sejam desenvolvidos para reduzir o efeito biológico do referido desafio ambiental. As barragens causam, ainda, o desaparecimento de habitats específicos, como as corredeiras e as zonas litorâneas usadas por várias espécies de peixes para crescimento e reprodução e, por conseguinte, com toda a teia alimentar nesses ambientes. Considerando o amplo programa do governo brasileiro para novas hidrelétricas na

Amazônia e a necessidade de estratégias robustas para a conservação de espécies da biota aquática da região, é urgente um programa específico, envolvendo todos os países amazônicos, para a produção de informações robustas que permitam o desenho de estratégias de conservação da biodiversidade aquática em regiões alvo dessas intervenções.

O ambiente aquático amazônico é vulnerável a poluentes de uma maneira geral. O entorno das grandes cidades amazônicas e as regiões de mineração merecem considerações. Vários estudos têm evidenciado a fragilidade dos ecossistemas a poluentes orgânicos e inorgânicos. Entre os poluentes orgânicos destacam-se os derivados de petróleo, fármacos, detergentes, entre outros. Entre os poluentes inorgânicos, estão os metais. Além disso, derivados de petróleo, principalmente os compostos policíclicos aromáticos, são altamente cancerígenos e interferem com a homeostase orgânica dos peixes. Petróleo e seus derivados alcançam os corpos d'água por diferentes meios, mas o transporte pelos rios da região é, sem dúvida, a principal ameaça. Na Amazônia, como vimos, muitas espécies são respiradoras aéreas e o óleo presente na camada superficial da coluna d'água é prontamente ingerido, causando efeitos prejudiciais de diversas ordens. Por outro lado, os compostos solúveis são absorvidos a partir da água pelas brânquias, pelo trato digestivo ou pela pele e, igualmente, causam diversos distúrbios orgânicos (Brauner *et al.*, 1999; Sadauskas-Henrique *et al.*, 2016).

Ao lado dos derivados de petróleo, estão os metais de transição como cobre, cádmio, níquel, vanádio, prata, ferro, entre outros, igualmente tóxicos para a biota aquática. Os metais são oriundos das regiões de mineração e, no entorno das cidades, de artefatos inadequadamente descartados ou de processos industriais indevidamente contidos. Concentrações de alguns desses metais acima daquelas permitidas pela legislação brasileira já foram reportadas em pequenos igarapés da região municipal de Manaus, como para cobre, por exemplo (Duarte *et al.*, 2009). Duarte e colaboradores descreveram a sensibilidade de várias espécies de peixes ornamentais ao cobre, que variou de 12,8 $\mu\text{g Cu.l}^{-1}$ a 74,1 $\mu\text{g Cu.l}^{-1}$, em águas sem DOC, concentrações extremamente baixas comparadas com espécies de outras regiões do planeta. Duas características abióticas comuns na Amazônia interferem de forma marcante com a toxicidade de metais: a presença do carbono orgânico dissolvido e o baixo pH, ambas extensivamente presentes nas águas pretas. O carbono orgânico dissolvido contribui para tornar metais bioindisponíveis para os peixes, enquanto pHs ácidos podem estimular a incorporação do metal pelo peixe. Dessa forma, processos de mineração, quer seja de petróleo, quer seja de metais, precisam ser desenhados cuidadosamente, em particular para ambientes que já apresentam desafios para a biota aquática. Protocolos rigorosos de licenciamento de atividades de mineração em áreas sensíveis e para a contenção e transporte de minérios são fundamentais e dependem, portanto, de informações robustas. No entorno das cidades amazônicas, como em outras cidades, é importante que uma infraestrutura adequada para o tratamento de esgoto doméstico e industrial seja paulatinamente instalada de tal forma a contribuir com a conservação da biota aquática da região. Além disso, a questão dos resíduos sólidos recebe pouca atenção, sendo que os aterros sanitários produzem quantidade significativa de chorume, um material lixiviado que é tóxico e que acaba nos corpos d'água e afeta a biota aquática intoxicando e bioacumulando elementos na mesma.

No entorno das cidades, dois aspectos merecem atenção: eutrofização e descarte de medicamentos. Fósforo e nitrogênio despejados nos corpos d'água urbanos por meio do esgoto causam um processo de eutrofização do ambiente com profunda redução da disponibilidade de oxigênio. Como já mencionado acima, a falta de oxigênio nos corpos de água tem efeitos dramáticos sobre a biologia da biota aquática. Muitos peixes morrem quando expostos a ambientes hipóxicos. Por outro lado, antibióticos e anticoncepcionais, descartados sem os devidos cuidados, acabam em corpos d'água e tem profundos efeitos sobre a biota aquática, quer seja causando extensa mortalidade quer seja reduzindo os processos reprodutivos. É preciso levar em conta que muitos organismos que compõem a biota aquática são diminutos, pesando menos de um grama. Estratégias para conservação da biota aquática da Amazônia passam também por uma mudança em relação aos medicamentos, a qual deve incluir maior controle de acesso e descarte destes medicamentos e o uso de tecnologias modernas para o desenho desses novos medicamentos.

As mudanças climáticas em curso também representam um importante desafio para a conservação da biota aquática da Amazônia. As condições aquáticas que já são desafiadoras para muitas espécies de peixes se tornam mais desafiadoras ainda em face das mudanças climáticas: as águas se tornam mais quentes, mais ácidas e com menos oxigênio. Em função do instante da perturbação, os peixes, por exemplo, podem apresentar respostas adaptativas rápidas que incluem mudanças de comportamento, ajustes fisiológicos e, eventualmente, aclimatização, se tiverem desenvolvido habilidades para esses ajustes. No entanto, o que vários estudos têm evidenciado é que os peixes amazônicos estão próximos de seus limites fisiológicos para produzir tais ajustes. Estudos recentes com tambaqui e espécies ornamentais congêneras evidenciam que a exposição por períodos longos aos cenários climáticos mais extremos previstos pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) resultam na redução do crescimento, transcrição diferenciada do DNA e mortalidade diferencial para espécies congêneras (Fé-Gonçalves *et al.*, 2018; Oliveira & Val, 2017; Prado-Lima & Val, 2016). Em função da importância dos peixes para a alimentação humana em regiões como a Amazônia, é fundamental o desenvolvimento de estratégias para sua conservação e produção nos cenários ambientais previstos para o futuro. É exatamente essa questão que vem sendo estudada nas salas climáticas do laboratório de Ecofisiologia e Evolução Molecular que simulam em tempo real as condições, brandas, intermediárias e drásticas previstas pelo IPCC para o ano 2100. Essas informações precisam ser ampliadas e incorporadas nas estratégias de segurança alimentar para a população regional e para a conservação da diversidade biológica da região.

5. Conservação da biota e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A conservação da biodiversidade é de fundamental importância para a habilitação regional de cada um dos 17 ODS. Muitas ações relacionadas aos ODS são apoiadas por informações robustas já disponíveis, mas outras tantas precisam de informações para ganhar vida; informações essas que só a ciência pode proporcionar. Não se trata de fé cega na ciência, mas do único caminho possível neste caso. Por exemplo, para o ODS 1, Erradicação da pobreza, a biodiversidade oferece oportunidades para inclusão social e geração de renda. Como exemplo podemos citar a produção de peixes em canais de igarapés; empoderamento social e turismo ecológico relacionados à biota aquática, dentre outros. Para o ODS 6, Água potável e saneamento: proteção de nascentes, fibras para a purificação de água, recolonização de igarapés para redução de doenças de transmissão hídrica e sistemas biológicos para o saneamento urbano são alguns dos serviços. Para o ODS 8, Trabalho digno e crescimento econômico; nesse caso, a biota aquática pode contribuir com a economia verde com o uso de tecnologias apropriadas e o empreendedorismo sustentável. Com relação a isso, a plataforma de soluções sustentáveis que está sendo desenvolvida no âmbito da SDSN-Amazônia, é uma contribuição relevante, já que a cooperação/colaboração no compartilhamento de soluções otimiza o uso das informações disponíveis para a ampla socialização dos ODS.

Por fim, é preciso destacar que a instabilidade política e a pouca efetividade da governança, que sobressaem de maneira significativa no caso dos países amazônicos se refletem sobre a educação, a ciência e a tecnologia. A produção de informações robustas acerca da biodiversidade para o desenvolvimento sustentável depende de investimentos em C&T e a situação atual precisa ser rapidamente revista e os investimentos retomados, já que o hiato em nossa compreensão da relação entre os organismos da Amazônia, incluindo o homem, e seu meio ambiente é muito expressivo. O desconhecido excede, em muito, o que conhecemos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida-Val, V. M. F., Val, A. L. & Walker, I. (1999). Long- and short-term adaptation of Amazon fishes to varying O²-levels: intra-specific phenotypic plasticity and inter-specific variation. Em Val, A. L., Almeida-Val, V. M. F. (Eds). *Biology of Tropical Fishes*. Manaus: INPA.
- Araújo, J. D., Ghelfi, A. & Val, A. L. (2017). *Triporthus albus* Cope, 1872 in the Blackwater, Clearwater, and Whitewater of the Amazon: A Case of Phenotypic Plasticity?. *Frontiers in Genetics*, 8, 114.
- Barichivich, J., Gloor, E., Peylin, P., Brienen, R. J. W., Schöngart, J., Espinoza, J. C. & Pattayak, K. C. (2018). Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Science Advances*, 4.
- Brauner, C. J., Ballantyne, C. L., Randall, D. J. & Val, A. L. (1995). Air breathing in the armoured catfish (*Hoplosternum littorale*) as an adaptation to hypoxic, acid, and hydrogen sulphide rich waters. *Canadian Journal of Zoology*, 73, 739-744.
- Brauner, C. J., Ballantyne, C. L., Vijayan, M. M. & Val, A. L. (1999). Crude oil affects air-breathing frequency, blood phosphate levels and ion regulation in an air-breathing teleost fish, *Hoplosternum littorale*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 123C, 127-134.
- Campos, D., Almeida-Val, V. M. F. & Val, A. L. (2018). The influence of lifestyle and swimming behavior on metabolic rate and thermal tolerance of twelve Amazon forest stream fish species. *Journal of Thermal Biology*, 72, 148-154.
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of manking. *Nature*, 415, 23.
- Dasman, R. F. (1968). *A different kind of country*. New York: MacMillan Company.
- Duarte, R. M., Menezes, A. C. L., Rodrigues, L., Almeida-Val, V. M. F. & Val, A. L. (2009). Copper sensitivity of wild ornamental fish of the Amazon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 693-698.
- Duarte, R. M., Scott Smith, D. S., Val, A. L. & Wood, C. M. (2016). Dissolved organic carbon from the upper Rio Negro protects zebrafish (*Danio rerio*) against ionoregulatory disturbances caused by low pH exposure. *Scientific Reports*, 6, 20377-20386.
- Duponchelle, F. et al. (2016). Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1511-1520.
- Fearnside, P. M. (2014). Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy*, 38, 164-172.
- Fé-Gonçalves, L. M., Paula-Silva, M. N., Val, A. L. & Almeida-Val, V. M. F. (2018). Differential survivorship of congeneric ornamental fishes under forecasted climate changes are related to anaerobic potential. *Genetics and Molecular Biology*, 41, 107-118.
- Franco, J. L. A. (2013). The concept of biodiversity and the history of conservation biology: from wilderness preservation to biodiversity conservation. *História (Sao Paulo)*, 32, 21-48.
- Furch, K. & Junk, W. J. (1997). Physicochemical conditions in the floodplains. In: Junk, W. J. (ed). *The Central Amazon floodplain. Ecology of a pulsing system*, pp. 69-108. Heidelberg: Springer Verlag.
- Gonzalez, R. J., Wilson, R. W., Wood, C. M., Patrick, M. L. & Val, A. L. (2002). Diverse strategies for ion regulation in fish collected from the ion-poor, acidic Rio Negro. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75, 37-47.
- Groff, A. et al. (2009). UVA/UVB induced lesion repair and genotoxicity in the Amazonian fishes *Colossoma macropomum* and *Arapaima gigas*. *Aquatic Toxicology*, 99, 93-99.
- Hrbek, T., Silva, V. M. F., Dutra, N., Gravena, W., Martin, A. R. & Farias, I. P. (2014). A new species of river dolphin from Brazil or: How little do we know our biodiversity. *Plos One* 9.
- Junk, W. J. (2000). Neotropical floodplains: A continental-wide view. In Junk, W. J., Ohly, J. J., Piedade, M. T. F. & Soares, M. G. M. (eds). *The Central Amazon Floodplain: Actual use and options for a sustainable management*, pp. 5-24. Leiden: Backhuys Publishers.
- Junk, W. J., Bayley, P. B. & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in River-Floodplain Systems. In Dodge, D. P. (ed). *Proceedings of the International Large River Symposium*, pp 110-127. Canada: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.
- Kochhann, D., Campos, D. F. & Val, A. L. (2015). Experimentally increased temperature and hypoxia affect stability of social hierarchy and metabolism of the Amazonian cichlid *Apistogramma agassizii*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, part A, 190, 54- 60.
- Lara, L. B. L. S., Fernandes, E. A. N., Oliveira, H., Bacchi, M. A. & Ferraz, E. S. B. (1997). Amazon estuary - assessment of trace elements in seabed sediments. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 216, 279-284.
- Matsuo, A. Y. O. & Val, A. L. (2003). Fish adaptations to Amazonian blackwaters. In Val, A. L. & Kapoor, B. G. (eds). *Fish Adaptations*. Science Publishers, pp. 1-36. USA: Enfield (NH).
- Matsuo, A. Y. O. & Val, A. L. (2007). Acclimation to humic substances prevents whole body sodium loss and stimulates branchial calcium uptake capacity in cardinal tetras *Paracheirodon axelrodi* (Schultz) subjected to extremely low pH. *Journal of Fish Biology*, 70, 989-1000.

- Oliveira, A. M. & Val, A. L. (2017). Effects of climate scenarios on the growth and physiology of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Characiformes: Serrasalminidae). *Hydrobiologia*, 789, 167-178.
- Piedade, M. T., Lopes, A., Demarchi, L. O., Junk, W., Wittmann, F., Schöngart, J. & Cruz, J. (2017). *Guia de campo de herbáceas aquáticas: várzea Amazônica*. Manaus: INPA.
- Prado-Lima, M. & Val, A. L. (2016). Transcriptomic characterization of tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) exposed to three climate change scenarios. *Plos one*.
- Prance, G. T. & Arias, J. R. (1975). A study of the Floral Biology of *Victoria amazonica* (Poepp.) Sowerby (Nymphaeaceae). *Acta Amazonica*, 5, 109-139.
- Ragazzo, M. T. P. (2002). *Fishes of the rio Negro. Alfred Russel Wallace*. São Paulo: EDUSP. Imprensa Oficial do Estado.
- Sadauskas- Henrique, H., Braz- Mota, S., Duarte, R. M. & Almeida- Val, V. M. F. (2016). Influence of the natural Rio Negro water on the toxicological effects of a crude oil and its chemical dispersion to the Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 19764-19775.
- Saint- Paul, U. & Soares, G. M. (1988). Ecomorphological adaptation to oxygen deficiency in Amazon floodplains by serrasalminid fish of the genus *Mylossoma*. *Journal of Fish Biology*, 32, 231-236.
- Salvo- Souza, R. H. & Val, A. L. (1990). Pirarucu - o gigante das águas amazônicas. *Ciência Hoje*, 11, 9-12.
- Santos, G. M. & Val, A. L. (1998). Ocorrência do peixe-serra (*Pristis perotteti*) no rio Amazonas e comentários sobre sua história natural. *Ciência Hoje*, 23, 66-67.
- Sioli, H. (1984). *The Amazon. Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers.
- Soulé, M. E. & Wilcox, B. A. (1980). *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Sundland, O. T., Hindar, K. & Brown, A. (1992). *Conservation of Biology for Sustainable Development*. Oslo: Scandinavian University Press.
- Val, A. L. & Almeida- Val, V. M. F. (1995). *Fishes of the Amazon and their environments. Physiological and biochemical features*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Val, A. L., Fearnside, P. M. & Almeida-Val, V. M. F. (2016). Environmental disturbances and fishes of the Amazon. *Journal of Fish Biology*, 89, 192-193.
- Val, A. L., Gomes, K. R. M. & Almeida- Val, V. M. F. (2015). Rapid regulation of blood parameters under acute hypoxia in the Amazonian fish *Prochilodus nigricans*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 125-131.
- Val, A. L., Silva, M. N. P & Almeida- Val, V. M. F. (1998). Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. *South African Journal of Zoology*, 33, 107-114.
- Vogt, R. C. (2008). *Tartarugas da Amazônia*. Lima: Biblos.
- Walker, I. (1995). Amazonian streams and small rivers. In Tundisi, J. G., Bicudo, C. E. & Matsumura- Tundisi, T. (eds). *Limnology in Brazil*, pp. 167-193. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências.
- 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 blackwaters of the Rio Negro. *The Journal Experimental Biology*, 205, 3039-3054.
- Wood, C. M., Matsuo, A. Y. O., Wilson, R. W., Gonzalez, R. J., Patrick, M. L., Playle, R. C. & Val, A. L. (2003). Protection by natural blackwater against disturbances in ion fluxes caused by low pH exposure in freshwater stingrays endemic to the Rio Negro. *Physiological and Biochemical Zoology*, 76, 12-27.
- Wood, C. M., Wilson, R. W., Gonzalez, R. J., Patrick, M. L., Bergman, H. L., Narahara, A. & Val, A. L. (1998). Responses of an Amazonian teleost, the tambaqui (*Colossoma macropomum*) to low pH in extremely soft water. *Physiological Zoology*, 71, 658-670.
- Worbes, M. (1997). The forest ecosystem of the floodplains. Em Junk, W. J. (Ed). *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a pulsating system*. Berlin: Springer Verlag.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Steffen, W. & Crutzen, P. J. (2010). The New World of the anthropocene. *Environmental Science and Technology*, 44, 2228- 2231.