



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GIA/05

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - XI**

**GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

**MORTALIDADE EM LARVAS DE PEIXES ASSOCIADAS À PASSAGEM DESCENDENTE POR BARRAGENS  
HIDRELÉTRICAS: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO E ESTUDO DE CASO DE UMA USINA COM TURBINAS TIPO  
BULBO NA AMAZÔNIA**

**Diego Corrêa Alves(\*)  
UEM**

**Lilian Paula Vasconcelos  
UEM**

**Luís Fernando da Câmara  
NEOTROPICAL**

**Lisiane Hahn,  
NEOTROPICAL**

**Luciana Fugimoto Assakawa,  
NEOTROPICAL**

**Angelo Antonio Agostinho  
UEM**

**RESUMO**

Reservatórios hidrelétricos, comumente, desconectam habitats de desova e criadouros de peixes, sendo necessária a passagem do icteoplâncton pelas estruturas hidráulicas da usina. Este trabalho propõe um protocolo que permite avaliar *in situ* o risco desta passagem ao icteoplâncton e subsidiar regras operativas que minimizem este risco. Esta abordagem é aplicada a um estudo de caso na UHE Santo Antônio, na Amazônia. A proposta se destaca pela fácil execução e baixo custo, além de atender possíveis condicionantes ambientais. Resultados provenientes da execução sistemática desta proposta em empreendimentos diversos poderão subsidiar a elaboração de projetos de novos empreendimentos ecologicamente mais amigáveis.

**PALAVRAS-CHAVE**

Avaliação de impacto, transposição, peixes migradores, ovos e larvas, deriva larval

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A implementação de reservatórios hidrelétricos em um corpo fluvial interrompe sua conectividade natural, desconectando habitats que são indispensáveis para o ciclo de vida de diversas espécies de peixes. As espécies que realizam migrações reprodutivas merecem atenção especial pois, além de apresentarem notável importância econômica e ecossistêmica, são as mais afetadas por esta fragmentação de habitats. Em geral, os peixes migradores se deslocam rio acima em direção a áreas de desova no início do período chuvoso, desovam na corrente do corpo hídrico, e, em seguida, os ovos derivam passivamente a jusante para habitats que proporcionam condições favoráveis de abrigo e alimento, geralmente as áreas adjacentes, sazonalmente inundadas (Agostinho et al., 2007a). Assim, o sucesso reprodutivo destas espécies depende de ambientes íntegros com áreas de desova e de criadouros conectadas, possibilitando tanto movimentos ascendente ativos dos potenciais reprodutores quanto descendente passivo de ovos e larvas para completarem o seu ciclo de vida (Agostinho et al., 2007b).

Comumente, com intuito de mitigar este impacto, sistemas de transposições de peixes são construídos, como parte de condicionantes ambientais, para permitir os movimentos ascendentes dos reprodutores. No entanto, para a real efetivação deste mecanismo, é fundamental que ocorra a deriva passiva do icteoplâncton (ovos e larvas de peixes) no sentido montante- jusante. A passagem descendente do icteoplâncton envolve tanto a passagem pelo reservatório quanto pelas estruturas hidráulicas da usina, que têm potencial de injuriar e matar estes organismos. O conhecimento a respeito desta passagem pelas barragem é crucial para o desenvolvimento de estratégias efetivas de conservação, e conseqüentemente, exigido através de condicionantes ambientais. Nos países da América do Norte e Europa há diversos estudos que avaliam o processo da passagem descendente dos peixes pelas

(\*) Avenida Colombo, n° 5790 – sala 216 - Bloco E90 – CEP 87020-900 Maringá, Paraná – Brasil  
Tel: (+55 44) 9 9852-2427 – Email: dalveszoo@gmail.com

barragens, predominantemente para juvenis e adultos de espécies de salmão e truta (Roscoe e Hinch, 2010), que fogem da realidade dos ambientes neotropicais. Os principais métodos utilizados nestes estudos são bioensaios laboratoriais (Deng et al., 2010), estudos de campo (Cada, 2001), modelos de impactos nas pás das turbinas (*blade-strike models*) e modelos ecohidráulicos (Cada et al., 2006). Contudo, métodos eficientes para a avaliação *in situ* da associação entre a passagem descendente e a condição de larvas de peixes são escassos ou mesmo ausentes no caso da região neotropical.

Nesse contexto, este trabalho visa contribuir para o preenchimento das atuais lacunas no conhecimento acerca do impacto das barragens hidrelétricas na viabilidade de larvas de peixes que passam por seus componentes hidráulicos. Nela é apresentado e discutido um delineamento amostral e analítico capaz de avaliar os efeitos da passagem de larvas pelas barragens, subsidiando alternativas de manejo das estruturas hidráulicas para a redução da mortalidade e inferir sobre a efetividade das estratégias de transposição de peixes. Esta proposta foi aplicada a um estudo de caso na usina hidrelétrica de Santo Antônio (UHESA), rio Madeira, Amazônia brasileira.

## 2.0 - PROPOSTA DE PROTOCOLO

A ideia geral desta proposta é associar a condição da larva (larvas mortas/injuriadas ou vivas/integras) à passagem descendente pelas estruturas hidráulicas da barragem. As causas de injúrias e mortalidade de larvas em uma amostra de ictioplâncton recém-coletada são muitas, e dependem do ambiente percorrido por elas. As principais vias de passagem do ictioplâncton pelas barragens de usinas hidrelétricas são os vertedouros e as turbinas, aos quais é possível associar mecanismos responsáveis por injúrias e mortalidade de peixes. Os indivíduos expostos à passagem através dos vertedouros são ameaçados por danos físicos como impactos e abrasões contra a base e o concreto da estrutura, turbulência e forças de cisalhamento na bacia de dissipação, supersaturação gasosa e embolia (Agostinho et al., 2007a). Entre os principais mecanismos de mortalidade e injúrias de indivíduos que passam por turbinas hidrelétricas, por outro lado, estão a brusca queda de pressão, cavitação, estresse de cisalhamento, turbulência, impactos e macerações (Cada, 2001; Agostinho et al., 2007a).

É impossível discriminar a contribuição relativa de cada fonte de injúrias e mortalidade nas amostras de ictioplâncton coletadas em campo, senão em experimentos laboratoriais (Deng et al., 2010). Contudo, visando avaliar a sobrevivência e/ou presença de injúrias em larvas frente às passagens descendentes através das estruturas hidráulicas de uma barragem hidrelétrica, a elaboração de um delineamento amostral que torne desnecessária a discriminação desta participação relativa de cada fonte de injúria e mortalidade nas larvas partiria dos pressupostos que: *i)* a contribuição do estresse decorrente dos processos de amostragem na mortalidade e injúrias é desconhecida, porém, equivalente nas diferentes unidades amostrais variando aleatoriamente entre elas; *ii)* as larvas amostradas imediatamente a jusante da barreira são impreterivelmente provenientes do trecho a montante; *iii)* as larvas amostradas imediatamente a jusante da barreira, logo após terem realizado a passagem descendente através dela, não possuem outras novas fontes de mortalidade e injúrias (com relação às larvas amostradas a montante), além daquelas provenientes da própria passagem.

Com base nesses pressupostos considera-se que a proporção de larvas mortas e injuriadas nas amostras obtidas imediatamente a jusante da barragem equivale à proporção de larvas mortas e injuriadas a montante mais o somatório dos efeitos das diferentes fontes de injúrias e mortes durante a passagem descendente através da barreira. Portanto, a diferença esperada na proporção de larvas injuriadas ou mortas entre a montante e a jusante da barragem é relativa à passagem descendente pela mesma. Assim, é importante que o delineamento amostral compreenda dois transectos transversais em cada estrutura hidráulica a ser avaliada, um a montante e outro a jusante, que representem bem os dois ambientes. Estes pontos devem estar alocados o mais próximo possível das estruturas, garantindo que as amostragens filtrem a água que entra e sai em cada estrutura hidráulica. O número de pontos amostrais dependerá da quantidade e alocação das estruturas do empreendimento e da densidade de ictioplâncton na área estudada. As amostragens deverão ocorrer, de preferência, simultaneamente entre os pontos paralelos dos transectos a montante e a jusante. Os dados da operação hidrológica de cada unidade geradoras e vertedouro correspondentes ao momento das amostragens devem ser obtidos e utilizados para indexar a passagem descendente por cada estrutura. O transecto a montante representará o risco basal de injúrias e morte de larvas que deverão transpassar para jusante. O transecto a jusante, por sua vez, fornecerá informações sobre o risco relativo (RR) à passagem descendente por cada estrutura. É importante que se consiga representar um amplo espectro de variabilidade das covariáveis (vazões efluídas pelas estruturas hidráulicas). Então, como elas tendem a variar diária e sazonalmente, conforme vazão afluente, recomenda-se amostragens em diferentes turnos do dia e ao longo de todos os meses correspondentes à reprodução dos peixes. Portanto, é indicado que o estudo seja realizado, inicialmente, de forma intensiva (e.g. em conjunto com o comissionamento das unidades geradoras), e extensivamente através de programas de monitoramento do ictioplâncton.

Com relação ao delineamento analítico, propõem-se a avaliação da associação entre injúrias e passagem descendente através da estatística Risco Relativo, em que os riscos são estimados através de ajustes dos modelos lineares generalizados. As condições hidrológicas no momento das coletas devem ser registradas para que possam ser associadas às injúrias das larvas. Assim, as vazões afluente e efluente por cada estrutura hidráulica da barragem são variáveis independentes nos modelos. Outra variável independente que deve entrar no modelo é a

velocidade de filtragem durante as amostragens, isto é, o quociente entre o volume filtrado em cada coleta pela área da boca da rede. Esta variável deverá controlar possíveis efeitos do processo amostral.

### 3.0 - ESTUDO DE CASO (INJÚRIAS DE LARVAS NA UHE SANTO ANTÔNIO)

#### 3.1 Área de estudo

O rio Madeira é o principal tributário do rio Amazonas em área, transporte de sedimentos e vazão, que chega a mais de 40 mil litros de água por segundo no período chuvoso, sendo o sexto maior rio do mundo em termos de vazão. No trecho médio deste rio, a 7 km de Porto Velho-RO, está localizada a barragem da UHE Santo Antônio, que opera desde março de 2012. Com 421,56 km<sup>2</sup> de área de reservatório, incluindo a calha natural do rio, atualmente operam na usina quatro grupos geradores (GGs) e dois vertedouros, um principal e um complementar, além de um vertedouro de troncos e um sistema de transposição de peixes. O grupo gerador 1 (GG1), com oito turbinas (unidades geradoras), está localizado na margem direita do rio, enquanto os GG2 e GG3, com 12 turbinas cada, estão localizados na margem esquerda. O quarto grupo gerador, com 18 turbinas, não é considerado neste trabalho, pois no período estudado, este grupo ainda estava em processo de instalação no leito do rio. Entre os dois vertedouros totalizam-se 18 comportas (15 do vertedouro principal) dimensionadas para permitir a passagem de até 84 mil m<sup>3</sup> de água por segundo. As turbinas pertencentes aos grupos geradores são do tipo bulbo, horizontais e movidas através da vazão de água. Os vertedouros, de superfície, operam com comportas de segmento escoando a vazão não turbinada do rio.

#### 3.2 Coleta de dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes do Subprograma de Ictioplâncton, parte do Programa de Conservação da Ictiofauna da empresa Santo Antônio Energia executado pela Neotropical Consultoria Ambiental (Contrato PC.DS.150.2013, Autorização do IBAMA nº 83/2012) em cumprimento ao monitoramento necessário para o atendimento dos objetivos e metas propostos no Projeto Básico Ambiental nas condicionantes da Licença de Operação da UHE. Para este estudo foram considerados os dados obtidos nos dois pontos de amostragem mais próximos à barragem da UHE Santo Antônio, um a aproximadamente 9 km a montante dela (ponto SAM) e outro 2,5 km a jusante da usina (ponto SAJ).

As amostragens do icteoplâncton foram realizadas mensalmente de dezembro de 2013 a dezembro de 2014. As capturas foram feitas com utilização de uma rede de icteoplâncton medindo 500 µm de malha e 1,5 m de comprimento, armada em um aro de 50 cm de diâmetro, com um fluxômetro no centro para estimar o volume de água filtrada. Além disso, à rede foi acoplado um defletor metálico de 10 kg que garante estabilidade e peso para submersão da rede. Para as amostragens o barco, com a proa voltada para a montante do rio, foi mantido com o motor ligado em baixa velocidade fazendo com que se mantivesse praticamente parado. A rede de icteoplâncton foi posicionada contra a correnteza e mantida em processo de filtragem por 5 minutos. Em cada ponto de coleta as amostragens foram realizadas nas margens direita e esquerda e no centro do rio. Em cada um destes transectos redes foram operadas na subsuperfície, no fundo, e de maneira integrada por toda a coluna d'água. As amostragens integradas foram feitas a partir da determinação da profundidade da coluna d'água e posterior divisão deste valor em cinco partes iguais. Cada uma destas partes então correspondeu a um estrato a ser amostrado de um em um minuto. O material filtrado pela rede que ficou retido no copo coletor foi retirado e fixado em formol a 10% em recipientes plásticos devidamente identificados. Em laboratório foi registrada a condição das larvas quanto à presença ou ausência de sinais de injúria. As médias diárias das variáveis hidrológicas de vazões afluente e efluente por cada estrutura hidráulica (grupos geradores e vertedouro) foram fornecidas pelo setor responsável pela operação e manutenção da Santo Antônio Energia (Usina Hidrelétrica Santo Antônio).

#### 3.3 Análises dos dados

O delineamento analítico desta proposta considera que a diferença esperada na proporção de larvas injuriadas entre as unidades amostrais a montante (SAM) e a jusante (SAJ) é relativa à passagem descendente pelas estruturas hidráulicas da UHESA. Dessa forma, é possível analisar a associação entre injúrias e a passagem descendente pela barragem da UHESA através da estatística Risco Relativo (RR). Os RR foram estimados através de ajustes de regressões log-binomiais, que correspondem a modelos lineares generalizados (McCullagh e Nelder, 1983), variável resposta com distribuição de probabilidade binomial e função de ligação logaritmo.

O primeiro modelo ajustado para este estudo foi o modelo nulo (M0), ou seja, considerando apenas o intercepto. Assim, considera-se neste cenário que a probabilidade de se amostrar uma larva injuriada independe de quaisquer variáveis; e o único parâmetro contemplado, se aplicado à função exponencial, fornece a proporção média de larvas injuriadas em todas as unidades amostrais.

O segundo modelo (M1) objetivou controlar parte do efeito do processo de amostragem sobre a ocorrência de injúrias. Para isto, foi incluída uma covariável que expressa a velocidade de filtragem na rede de icteoplâncton no momento da coleta ( $X_{Vel}$ ), resultando no seguinte preditor linear:  $\eta_{M1} = \beta_0 + \beta_{Vel} X_{Vel}$ . Esta variável ( $X_{Vel}$ ) foi obtida

pela razão do quociente entre o volume de água filtrada ( $m^3$ ) em cada unidade amostral e a área da boca da rede de icteoplâncton ( $0,19635 m^2$ ) com o tempo de filtragem (segundos).

Já os modelos M2 e M3 consistiram na adição do efeito da passagem descendente ao modelo M1, sendo que no M3 foi considerada a possibilidade deste efeito ser distinto entre as margens do rio (esquerda – ME, direita – MD e centro – C). Os preditores lineares destes modelos foram:

$$\eta_{M2} = \beta_{SAM} + \beta_{Vel} X_{Vel} + \beta_{RR_{SAJ}} X_{SAJ}$$

$$\eta_{M3} = \beta_{SAM} + \beta_{Vel} X_{Vel} + \beta_{RR_{SAJ_{ME}}} X_{SAJ_{ME}} + \beta_{RR_{SAJ_{JC}}} X_{SAJ_{JC}} + \beta_{RR_{SAJ_{MD}}} X_{SAJ_{MD}}$$

Onde, o exponencial do parâmetro  $\beta_{SAM}$  representa o risco de injúrias no ponto SAM quando a velocidade de filtragem é hipoteticamente igual a zero. O valor zero é atribuído para todos os pontos nas variáveis binárias  $X_{SAJ}$ ,  $X_{SAJ_{ME}}$ ,  $X_{SAJ_{JC}}$  e  $X_{SAJ_{MD}}$ , com exceção dos pontos SAJ, apenas os pontos da margem esquerda, centro e direita do SAJ, respectivamente, a que foram atribuídos o valor 1. Dessa forma, o exponencial dos parâmetros  $\beta_{RR_{SAJ}}$ ,  $\beta_{RR_{SAJ_{ME}}}$ ,  $\beta_{RR_{SAJ_{JC}}}$  e  $\beta_{RR_{SAJ_{MD}}}$  expressam a associação entre a passagem descendente e as injúrias de larvas nos pontos SAJ, SAJ<sub>ME</sub>, SAJ<sub>JC</sub> e SAJ<sub>MD</sub>, respectivamente. As hipóteses destas associações foram testadas através dos intervalos de confiança da razão de verossimilhança, ao nível de significância de 5%, ao considerar a presença do número 1 nestes intervalos. Estes parâmetros representam quantas vezes o risco de injúrias a jusante é maior do que a montante, portanto, nos casos em que o valor 1 não está contido no intervalo de confiança de 95% há diferença estatisticamente significativa destes riscos.

Os modelos M4 e M5 são similares aos modelos M2 e M3 ao considerarem um único efeito a jusante no ponto SAJ e efeitos distintos conforme a posição transversal a jusante, nos pontos SAJ<sub>ME</sub>, SAJ<sub>JC</sub> e SAJ<sub>MD</sub>, respectivamente. Entretanto, estes modelos associam o risco de injúrias a variáveis quantitativas. O RR à passagem descendente foi ajustado pela vazão afluyente, e ainda, indexado pela vazão efluente. No M4 foi considerado um único efeito à passagem descendente (vazão efluente) para o ponto SAJ. Já no M5 foi estimado um RR à passagem descendente (vazão efluente) para cada ponto transversal a jusante, SAJ<sub>ME</sub>, SAJ<sub>JC</sub> e SAJ<sub>MD</sub>. Os preditores lineares dos modelos M4 ( $\eta_{M4}$ ) e M5 ( $\eta_{M5}$ ) seguem abaixo:

$$\eta_{M4} = \beta_{SAM} + \beta_{Vel} X_{Vel} + \beta_{Aflu} X_{Aflu} + \beta_{Eflu} X_{Eflu_{SAJ}}$$

$$\eta_{M5} = \beta_{SAM} + \beta_{Vel} X_{Vel} + \beta_{Aflu} X_{Aflu} + \beta_{Eflu_{ME}} X_{Eflu_{ME}} + \beta_{Eflu_{JC}} X_{Eflu_{JC}} + \beta_{Eflu_{MD}} X_{Eflu_{MD}}$$

Onde,  $\beta_{Aflu}$  é o parâmetro que associa o risco de injúrias à vazão afluyente ( $X_{Aflu}$ ) e o exponencial de sua estimativa corresponde à razão com que este risco aumenta após o acréscimo da primeira unidade de vazão afluyente  $10^3 m^3/s$ . Os parâmetros  $\beta_{Eflu}$ ,  $\beta_{Eflu_{ME}}$ ,  $\beta_{Eflu_{JC}}$  e  $\beta_{Eflu_{MD}}$  associam os riscos relativos à passagem descendente nos pontos SAJ, SAJ<sub>ME</sub>, SAJ<sub>JC</sub> e SAJ<sub>MD</sub> à vazão efluente. Estes parâmetros também são interpretados como o aumento por unidade de medida na vazão, em escala exponencial, sendo que o exponencial destes representam o acréscimo no risco de injúria com a adição da primeira unidade de vazão efluída ( $10^3 m^3/s$ ). As variáveis  $X_{Eflu_{SAJ}}$ ,  $X_{Eflu_{ME}}$ ,  $X_{Eflu_{JC}}$  e  $X_{Eflu_{MD}}$  são uma combinação (produtório) da variável quantitativa vazão efluente com as variáveis binárias  $X_{SAJ}$ ,  $X_{SAJ_{ME}}$ ,  $X_{SAJ_{JC}}$  e  $X_{SAJ_{MD}}$ , respectivamente.

O último modelo, M6, associou as mesmas variáveis ao risco de injúrias que os modelos M4 e M5, porém, explorou a associação dos riscos relativos (RR) a jusante com as vazões efluídas por cada uma das grandes estruturas da UHESA (GGMD: Grupo Gerador da Margem Direita, constituído pelas 8 unidades geradoras do GG1; GGME: Grupo Gerador da Margem esquerda, constituído pelas 12 unidades geradoras do GG2 mais as 12 do GG3; Vertedouro: conjunto dos 15 vãos do vertedouro principal, localizados no centro da barragem). No M6 foram consideradas duas interações, da vazão efluída pelo vertedouro com as vazões efluídas pelo GGMD e pelo GGME.

$$\eta_{M6} = \beta_{SAM} + \beta_{Vel} X_{Vel} + \beta_{Aflu} X_{Aflu} + \beta_{GGME} X_{GGME} + \beta_{GGMD} X_{GGMD} + \beta_{Ver} X_{Ver} +$$

$$\beta_{Ver:GGMD} X_{Ver} X_{GGMD} + \beta_{Ver:GGME} X_{Ver} X_{GGME}$$

Onde,  $\beta_{GGME}$ ,  $\beta_{GGMD}$ , e  $\beta_{Ver}$  são os parâmetros que associam os riscos relativos (RR) de injúrias nas larvas às vazões efluídas pelos GGME ( $X_{GGME}$ ), GGMD ( $X_{GGMD}$ ) e Vertedouro ( $X_{Ver}$ ). O exponencial das estimativas destes parâmetros corresponde à razão com que os riscos de injúrias a jusante aumentam após o acréscimo da primeira unidade de vazão efluída -  $10^3 m^3/s$  - por cada uma destas estruturas. Destaque também para as variáveis  $X_{GGME}$ ,  $X_{GGMD}$  e  $X_{Ver}$  que contêm o valor zero para as unidades amostrais do ponto SAM e o valor das vazões efluídas por cada uma das estruturas para as unidades amostrais do ponto SAJ. As interações dos modelos M6 e M7 estão representadas pelos parâmetros  $\beta_{Ver:GGMD}$ ,  $\beta_{Ver:GGME}$ ,  $\beta_{Ver:GG2}$  e  $\beta_{GG2:GG3}$ .

A seleção dos modelos foi realizada utilizando a abordagem da Teoria da Informação com o Critério de Informação de Akaike com correção de viés para pequenas amostras AICc (Hurvich e Tsai, 1991). Esta abordagem considera a qualidade do ajuste dos modelos aos dados, bem como a complexidade dos modelos, selecionando os modelos mais parcimoniosos. Os modelos aninhados e sucessivos foram avaliados com os testes da razão de verossimilhança (LR) (Millar, 2011), comparando os modelos M0 x M1; M1 x M2; M2 x M3; M4 x M5 e M5 x M6. O teste LR avalia se há um ganho significativo no ajuste do modelo que “compense” a perda de graus de liberdade

através da inclusão de novos parâmetros no modelo. Ainda, as inferências a respeito da associação do risco de injúrias e a passagem descendente nos modelos M2 e M3 foram feitas com relação ao intervalo de confiança por fornecer mais evidências do que o valor p dos testes de hipóteses (Millar, 2011). Análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2014).

### 3.4 Resultados

No período estudado, de dezembro de 2013 a dezembro de 2014, foram amostradas 6601 larvas, sendo que 920 (13,9%) destas apresentaram sinais de injúrias. Do total de larvas, 3517 foram amostradas a montante e 3084 a jusante da UHESA, das quais 468 (13,3%) e 452 (14,7%), respectivamente, apresentaram sinais de injúrias. A velocidade média de filtragem na amostragem do icteoplâncton foi ligeiramente maior a montante (SAM) do que nos três pontos a jusante, sendo menor na margem direita a jusante (SAJMD). As médias das vazões médias diárias afluente, vertida e turbinada, nos dias das amostragens foram de 27,3, 22,0 e 5,3  $10^3\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente.

O primeiro modelo ajustado, o modelo nulo (M0), conteve apenas o parâmetro do intercepto, ou média geral, interpretável como o risco médio de injúrias em todas as amostras, que foi estimada em 0,139 (13,9%) (Tabela 1), conforme a média geral apresentada acima. A adição da variável velocidade de filtragem foi estatisticamente significativa ( $LR_{M0 \times M1} = 56,36$ ;  $p < 0,001$ ), resultando em um modelo mais parcimonioso ( $\Delta AICc = 54,3$ , com relação ao modelo nulo M0) (Tabela 1).

TABELA 1 - Estimativas pontuais e intervalares (95%) do exponencial dos parâmetros. Estatísticas (df = graus de liberdade e AICc) resultantes dos ajustes de cada modelo e dos testes da razão de verossimilhança dos modelos sequenciais (M0xM1, M1xM2, M2xM3; LR = Razão da verossimilhança e p = valor de p).

| Modelos | Parâmetros               |                          |                          |                          |                          |                          | Estatísticas |       |       |        |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|-------|-------|--------|
|         | SAM                      | Velocidade               | RR <sub>SAJ</sub>        | RR <sub>SAJME</sub>      | RR <sub>SAJC</sub>       | RR <sub>SAJMD</sub>      | df           | AICc  | LR    | p      |
| M0      | 0,139<br>(0,131 - 0,148) |                          |                          |                          |                          |                          | 1            | 531,7 |       |        |
| M1      | 0,056<br>(0,043 - 0,073) | 4,067<br>(2,800 - 5,944) |                          |                          |                          |                          | 2            | 477,4 | 56,36 | 0,001  |
| M2      | 0,049<br>(0,037 - 0,064) | 4,455<br>(3,046 - 6,564) | 1,191<br>(1,056 - 1,345) |                          |                          |                          | 3            | 471,6 | 8,04  | 0,004  |
| M3      | 0,047<br>(0,035 - 0,062) | 4,702<br>(3,209 - 6,933) |                          | 0,980<br>(0,802 - 1,185) | 1,324<br>(1,122 - 1,555) | 1,246<br>(1,058 - 1,460) | 5            | 468,7 | 7,67  | 0,0216 |

A adição do parâmetro  $\beta_{RR_{SAJ}}$  (RR<sub>SAJ</sub>, jusante da UHESA) reflete diretamente a associação entre a passagem descendente pela UHESA e a injúria de larvas, a qual demonstrou ser estatisticamente significativa ( $LR_{M1 \times M2} = 8,04$ ;  $p = 0,004$ ), resultando em um modelo (M2) mais parcimonioso do que os M0 e M1 (Tabela 1). As estimativas do M2 demonstram que o risco médio de injúrias a montante da UHESA foi de 4,9%, sendo incrementada a uma taxa exponencial de 1,494 (log 4,455) para cada unidade de velocidade adicionada para a variável  $X_{vel}$  (velocidade de filtragem). O parâmetro RR<sub>SAJ</sub>, na Tabela 1, representa o risco relativo de injúrias à passagem descendente (razão entre os riscos estimados para os pontos SAJ e SAM), sendo assim, a estimativa deste parâmetro deveria ser estatisticamente igual a 1, i.e., o número um não deveria estar contido no intervalo de confiança de 95% para ausência de associação entre passagem descendente e injúrias de larvas ao nível de significância de 5%. O M2 estimou o parâmetro RR<sub>SAJ</sub> em 1,191 (1,056 – 1,345), que corresponde a uma associação positiva estatisticamente significativa, representando um incremento de 19,1% nas injúrias das larvas transpostas (Tabela 1).

O modelo M3 obteve estimativas de risco relativo à passagem descendente distintas entre as margens, indicando que o efeito da passagem descendente das larvas é variável no eixo transversal do rio, não sendo significativo na margem esquerda e sendo positivamente significativo no centro (incremento médio de 32,4%;  $IC_{95\%} = 12,2 - 55,5\%$ ) e na margem direita (incremento médio de 24,6%;  $IC_{95\%} = 5,8 - 46,0\%$ ). O modelo M3 foi mais parcimonioso e melhor ajustado do que os modelos anteriores ( $\Delta AICc = 0$ ;  $LR_{M2 \times M3} = 7,67$ ;  $p = 0,0216$ ; Tabela 1), evidenciando que há uma associação estatisticamente significativa entre o risco de injúrias de larvas e a passagem descendente pela UHESA, sendo que esta associação varia conforme a posição transversal a jusante. Esta interação entre “jusante” e “margem” também indica que há diferentes processos atuando nesta associação, uma vez que as larvas amostradas a jusante no centro e na margem direita do rio apresentam maior probabilidade de injúrias.

A Tabela 2 resume as informações dos ajustes dos modelos baseados nas variáveis quantitativas de vazão. O modelo M4 associou a vazão afluente ao risco de injúrias e a vazão efluente ao risco relativo de injúrias à passagem descendente e foi ligeiramente mais parcimonioso do que o modelo M3 ( $AICc_{M3} = 468,7$ , Tabela 1;  $AICc_{M4} = 467,3$ , Tabela 2). A adição da interação entre a vazão efluente e a seção transversal a jusante (margens e centro do rio) no modelo M5 corrobora que as diferentes estruturas da UHESA (grupos geradores e vertedouros) estejam associadas à injúria larval de maneira distinta, hipótese explorada pelo modelo M6. No modelo M6, o risco de injúrias relativo à passagem descendente foi associado com as vazões turbinadas pelo grupo gerador da margem direita (GGMD) e esquerda (GGME) e vertida, além das interações entre cada grupo gerador com o vertedouro.

TABELA 2 - Estimativas pontuais e intervalares dos parâmetros relacionados ao risco de injúrias (SAM, Velocidade, Vazão afluente) e risco relativo à passagem descendente (Vazões efluente, sem e com a interação com a seção transversal do rio (ME = margem esquerda, C = centro e MD = margem direita), turbinada pelo grupo gerador da margem direita (GGMD) e da margem esquerda (GGME) e vertida) transformados pela função exponencial (oposta à função identidade), retrocedendo a escala original dos dados. Estatísticas (df = graus de liberdade, loglik = logaritmo da verossimilhança e AICc) resultantes dos ajustes de cada modelo e de suas comparações com o modelo mais parcimonioso ( $\Delta AICc=0$ ) e com os modelos sequenciais (M4xM5, M5xM6; LR = Razão da verossimilhança; e p = valor de p).

| Modelos        | Parâmetros | Estimativas (IC <sub>95%</sub> ) | Estatísticas |        |       |               |      |       |
|----------------|------------|----------------------------------|--------------|--------|-------|---------------|------|-------|
|                |            |                                  | df           | logLik | AICc  | $\Delta AICc$ | LR   | p     |
| M4             | SAM        | 0,054 (0,041 - 0,070)            | 4            | -229,3 | 467,3 | 7,54          |      |       |
|                | Velocidade | 3,460 (2,329 - 5,165)            |              |        |       |               |      |       |
|                | Vazões     |                                  |              |        |       |               |      |       |
|                | Afluente   | 1,003 (0,998 - 1,009)            |              |        |       |               |      |       |
| M5             | Efluente   | 1,006 (1,002 - 1,011)            | 6            | -225,0 | 463,7 | 3,88          | 8,59 | 0,014 |
|                | SAM        | 0,053 (0,040 - 0,069)            |              |        |       |               |      |       |
|                | Velocidade | 3,511 (2,362 - 5,240)            |              |        |       |               |      |       |
|                | Vazões     |                                  |              |        |       |               |      |       |
|                | Afluente   | 1,004 (0,998 - 1,009)            |              |        |       |               |      |       |
|                | Efluente   |                                  |              |        |       |               |      |       |
|                | ME         | 1,002 (0,996 - 1,009)            |              |        |       |               |      |       |
|                | C          | 1,013 (1,007 - 1,019)            |              |        |       |               |      |       |
|                | MD         | 1,004 (0,998 - 1,010)            |              |        |       |               |      |       |
|                | M6         | SAM                              |              |        |       |               |      |       |
| Velocidade     |            | 4,866 (2,920 - 8,209)            |              |        |       |               |      |       |
| Vazões         |            |                                  |              |        |       |               |      |       |
| Afluente       |            | 1,006 (0,999 - 1,013)            |              |        |       |               |      |       |
| Turbinada      |            |                                  |              |        |       |               |      |       |
| GGME           |            | 1,004 (0,944 - 1,069)            |              |        |       |               |      |       |
| GGMD           |            | 1,081 (0,907 - 1,279)            |              |        |       |               |      |       |
| Vertida        |            | 1,015 (1,006 - 1,023)            |              |        |       |               |      |       |
| Vertida : GGMD |            | 0,987 (0,978 - 0,997)            |              |        |       |               |      |       |
| Vertida : GGME |            | 1,008 (1,000 - 1,014)            |              |        |       |               |      |       |

Entre estas três estruturas da UHESA (GGME, GGMD e vertedouro), o grupo gerador da margem direita foi o que apresentou o maior efeito principal isoladamente, seguido do vertedouro, e, por último, o grupo gerador da margem esquerda. Partindo de uma vazão efluente igual a zero, o acréscimo da primeira unidade ( $1 \times 10^3 \text{m}^3/\text{s}$ ) na vazão efluída por cada uma das estruturas da UHESA, isoladamente, resultaria em incrementos no risco de injúrias a jusante nas razões de 1,081 (8,1%), 1,015 (1,5%) e 1,004 (0,04%), se esta vazão efluísse pelas estruturas GGMD, Vertedouro e GGME, respectivamente. Ou então, aumentariam em taxas exponenciais do logaritmo destes valores para cada  $10^3 \text{m}^3/\text{s}$  de vazão efluída nestas estruturas (Tabela 2, M6). Entretanto, é necessário considerar as interações da vazão efluída pelo vertedouro com cada um dos grupos geradores, isto significa que os efeitos das vazões turbinadas no risco de injúrias a jusante dependerão da vazão vertida.

Do ponto de vista ambiental, as interações entre as vazões vertidas e turbinadas podem ser interpretadas pelo intermédio da hidrodinâmica, esquematizado no modelo conceitual da Figura 1. Considerando a situação de vazão vertida nula, os efeitos principais do GGME e GGMD atuariam independentemente, conforme o M6 (Figura 1A). Segundo este modelo, as águas turbinadas, e consequentemente o icteoplâncton, fluiriam livremente até o ponto de amostragem sem interações relevantes (Figura 1A). Por outro lado, vazões de água efluídas pelas estruturas justapostas GGME e vertedouro intensificariam a turbulência das águas nestes pontos de confluência aumentando o risco de injúrias (Figura 1B). A interação entre o GGMD e o vertedouro deve se comportar nas duas direções, conforme a vazão efluída por cada uma destas estruturas. Quando a vazão turbinada pelo GGMD proporcionar uma hidrodinâmica superior à vazão vertida, possibilitará o maior represamento da água vertida e consequentemente das larvas que serão amostradas mais a jusante (Figura 1B). Ainda, a dominância hidrodinâmica das águas vertidas sobre as turbinadas pelo GGMD contribuirá para o represamento da última (Figura 1C).

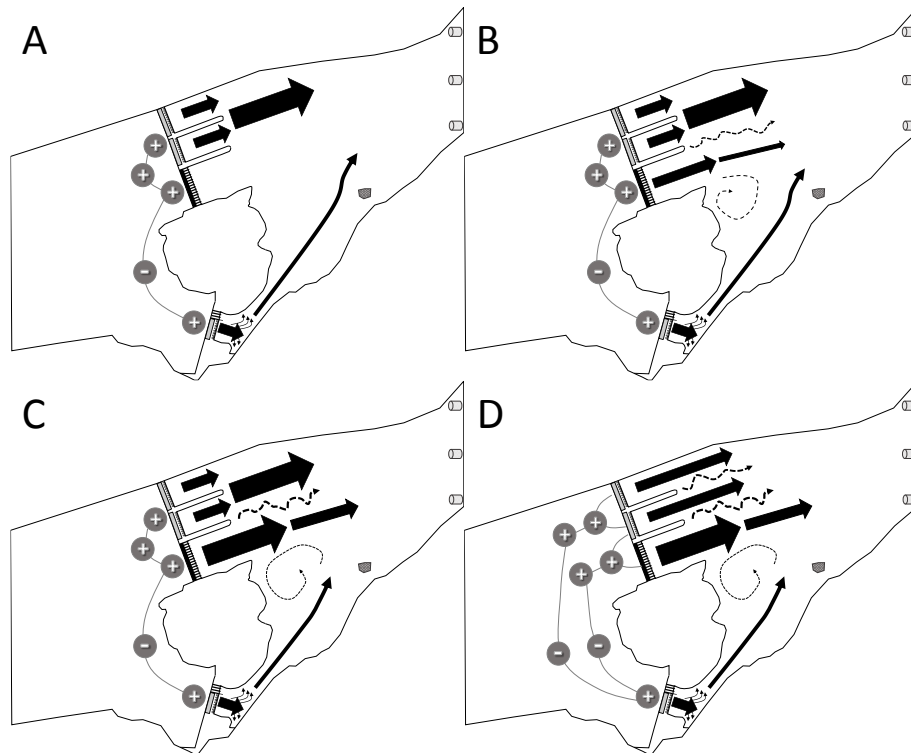


FIGURA 1 - Modelo conceitual de diferentes cenários de operação (vazões efluídas) da UHESA. Os círculos indicam o efeito (positivo ou negativo) nas injúrias de larvas de peixes de cada estrutura da UHESA correspondente. Os círculos ligados por uma linha representam a interação (positiva ou negativa) entre as respectivas estruturas. As setas representam a intensidade da vazão efluída por cada estrutura.  $\square$ : Transecto amostral do ponto SAJ (a jusante da UHESA).  $\blacksquare$ : Banco de areia e pedras.

Os riscos de injúrias de larvas foram avaliados em dois conjuntos de cenários. O primeiro representa uma situação de geração de energia elétrica nula, isto é, em que toda vazão de água efluente é direcionada ao vertedouro. O segundo otimiza a geração de energia ao priorizar o uso dos grupos geradores em sua capacidade máxima, vertendo apenas a porção excedente da vazão. Os riscos relativos à passagem descendente variaram de 1,077 e 1,019 para vazões afluentes de  $5 \cdot 10^3 \text{m}^3/\text{s}$  a 2,093 e 11,805 em vazões afluentes de  $50 \cdot 10^3 \text{m}^3/\text{s}$  para os conjuntos 1 (geração nula) e 2 (otimização da geração), respectivamente (Tabela 3). Para vazões afluentes, e consequentemente efluentes, de até  $15 \cdot 10^3 \text{m}^3/\text{s}$ , o RR à passagem descendente proporcionado pelo cenário 2 em relação ao cenário 1 ( $\text{SAJ}_2/\text{SAJ}_1$ ) foi menor do que 1, evidenciando que para vazões menores que  $15 \cdot 10^3 \text{m}^3/\text{s}$  o cenário 2 apresenta menor probabilidade de injuriar larvas (Tabela 3). Com o aumento da vazão afluente há necessidade de verter água, que terá efeito sinérgico positivo com a elevada vazão turbinada pelo GGME, aumentando a probabilidade de injúrias de larvas (Tabela 3).

TABELA 3 - Riscos de injúrias de larvas a montante (SAM) e jusante (SAJ), riscos relativos à passagem descendente (RR) e vazões afluentes para dois conjuntos de cenários de vazões efluentes. Ambos os conjuntos consideraram a vazão efluente igual à vazão afluente, porém, o primeiro cenário representou a pior situação referente à geração de energia elétrica, sendo toda vazão efluída pelo vertedouro. O segundo conjunto (cenário 2) considerou a otimização da geração de energia elétrica, sendo a vazão efluída direcionada primeiramente aos grupos geradores.

| Afluente<br>$\text{SAJ}_2/\text{SAM}$ | Vazões               |           |         |      | Riscos de injúrias |                  |                  | Riscos relativos (RR) |                                    |                       |
|---------------------------------------|----------------------|-----------|---------|------|--------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|
|                                       | Cenário 1<br>Vertida | Cenário 2 |         |      | SAM                | SAJ <sub>1</sub> | SAJ <sub>2</sub> | SAJ <sub>1</sub> /SAM | SAJ <sub>2</sub> /SAJ <sub>1</sub> | SAJ <sub>2</sub> /SAM |
|                                       |                      | GGMD      | Vertida | GGME |                    |                  |                  |                       |                                    |                       |
| 5                                     | 5                    | 0         | 0       | 5    | 0,041              | 0,045            | 0,042            | 1,077                 | 1,019                              | 0,946                 |
| 10                                    | 10                   | 0         | 0       | 10   | 0,043              | 0,049            | 0,044            | 1,159                 | 1,038                              | 0,895                 |
| 15                                    | 15                   | 0,6       | 0       | 14,4 | 0,044              | 0,055            | 0,049            | 1,248                 | 1,105                              | 0,886                 |
| 20                                    | 20                   | 4,8       | 0,8     | 14,4 | 0,045              | 0,061            | 0,073            | 1,344                 | 1,615                              | 1,202                 |
| 25                                    | 25                   | 4,8       | 5,8     | 14,4 | 0,046              | 0,067            | 0,105            | 1,447                 | 2,250                              | 1,555                 |
| 30                                    | 30                   | 4,8       | 10,8    | 14,4 | 0,048              | 0,074            | 0,150            | 1,558                 | 3,135                              | 2,013                 |
| 35                                    | 35                   | 4,8       | 15,8    | 14,4 | 0,049              | 0,082            | 0,215            | 1,677                 | 4,367                              | 2,604                 |
| 40                                    | 40                   | 4,8       | 20,8    | 14,4 | 0,051              | 0,091            | 0,308            | 1,806                 | 6,083                              | 3,369                 |
| 45                                    | 45                   | 4,8       | 25,8    | 14,4 | 0,052              | 0,101            | 0,441            | 1,944                 | 8,474                              | 4,359                 |
| 50                                    | 50                   | 4,8       | 30,8    | 14,4 | 0,054              | 0,112            | 0,632            | 2,093                 | 11,805                             | 5,640                 |

### 3.5 Considerações

Os resultados do estudo de caso aplicado na usina hidrelétrica de Santo Antônio (UHESA), rio Madeira, Amazônia brasileira, indicaram a existência de associação positiva entre a passagem descendente pelas estruturas da barragem e o risco (probabilidade) de injúrias em larvas de peixes. No entanto, o impacto causado pelas potenciais perdas através das injúrias relacionadas a esta passagem descendente é difícil ser dimensionado, uma vez que não há um referencial prévio à instalação da UHESA e de uma avaliação do virtual papel das antigas corredeiras, anteriormente existentes na região, também como agentes injuriantes de larvas.

A associação entre injúrias e passagem descendente dependeu tanto da estrutura hidráulica da UHESA por onde ocorre a passagem quanto da operação realizada durante a passagem. O modelo selecionado, M6, estimou que o grupo gerador da margem direita (GGMD) apresentou um maior potencial de injúrias do que o grupo gerador da margem esquerda (GGME) quando estes estão sob as mesmas condições de operação (mesma vazão efluída). No entanto, estes dois grupos geradores são constituídos pelo mesmo tipo de unidades geradoras, sendo esperado que, sob as mesmas condições de operação, os mecanismos de injúrias originários no interior das turbinas, como turbulência, cisalhamento, cavitação, pressão e impactos às estruturas fixas ou móveis no interior da unidade geradora (Cada et al., 1997), fossem equivalentes entre eles (GGMD e GGME). A principal diferença entre estes dois grupos geradores está no canal de fuga. O canal de fuga do GGMD direciona o fluxo a uma parede de concreto distante a aproximadamente 300m das unidades geradoras, que força o redirecionamento das águas, podendo resultar em um ambiente mais turbulento e com maior potencial de forças de cisalhamento do que o canal de fuga do GGME. Este último, por outro lado, direciona o fluxo de água diretamente para a calha principal do rio Madeira, minimizando o redirecionamento das diferentes massas de água, diminuindo assim, a potencial força de cisalhamento. Dessa forma, é plausível inferir que a turbulência e a força de cisalhamento geradas imediatamente a jusante destas estruturas sejam fatores-chave no processo de injúrias de larvas que realizam a transposição descendente, uma vez que estas forças podem ser danosas ao icteoplâncton, assim como são para os peixes adultos (Cada et al., 1997).

Foi demonstrado também que o vertedouro apresenta maior potencial de injuriar larvas do que o GGME. Provavelmente este maior potencial de injúrias esteja ocorrendo na bacia de dissipação, uma vez que este vertedouro gera um ambiente muito mais turbulento e com maior potencial de geração de forças de cisalhamento do que o GGME. Teoricamente, a passagem descendente pelo interior de uma turbina apresenta maior potencial estressor capaz de provocar injúrias em peixes do que a passagem descendente pelo interior de um vão do vertedouro (Cada et al., 1997; Cada, 2001; Agostinho et al., 2007a), no entanto é conhecido que os principais estressores originários pela passagem descendente pelos vertedouros (turbulência, força de cisalhamento e embolia gasosa) ocorrem na bacia de dissipação (Agostinho et al., 2007a). Dessa forma, estes resultados também corroboram a inferência de que os principais processos na determinação das injúrias de larvas pela passagem descendente pela UHESA estejam ocorrendo no trecho imediatamente a jusante destas estruturas, isto é, no canal de fuga e na bacia de dissipação.

Contudo, é importante ressaltar que as principais contribuições dos resultados deste estudo de caso são de caráter demonstrativo, uma vez que o delineamento amostral não permitiu dissociar com precisão os efeitos principais das interações devido ao confundimento dos efeitos hidrodinâmicos. Estes resultados evidenciam a importância de um delineamento amostral capaz de garantir que as amostragens filtrem a água que entra e sai em cada estrutura hidráulica, evitando os efeitos de confundimento. Ainda, dado que a UHESA ainda estava em processo de construção, é recomendável que o monitoramento seja continuado e aprimorado vislumbrando a aplicação desta abordagem após o término da construção da usina, quando poderão ser propostas medidas de manejo mais robustas e efetivas.

Neste trabalho os modelos propostos correspondem a diferentes especificações nos preditores lineares, que se distinguem quanto à indexação da passagem descendente, qualitativamente ou quantitativamente, de acordo com a disponibilidade dos dados. Os modelos que especificam a passagem descendente qualitativamente são mais simples, pois provêm prontamente as estimativas dos RR à passagem descendente para os dados utilizados, que fornecerão a média aritmética do risco a jusante. Já a indexação quantitativa da passagem descendente viabiliza a estimativa de RR em formas de taxas por unidade de vazão, possibilitando predições para cada cenário de vazão operada. Portanto, a indexação quantitativa é mais adequada ao proporcionar a realização de inferências preditivas em função de diferentes cenários de condições hidrológicas. Estas predições possibilitam subsidiar o setor de operação das usinas objetivando uma operação mais parcimoniosa, minimizando os riscos para a passagem descendente das larvas. Contudo, para a obtenção de predições robustas, faz-se necessária a aquisição de dados adequados, tanto biológicos quanto operacionais das usinas. Portanto, é fundamental que os modelos sejam baseados nos dados de operação contínua (escala de minutos) ao invés de médias diárias.

### 4.0 - CONCLUSÃO

A abordagem proposta neste trabalho é uma forma de avaliar *in situ* a passagem descendente do icteoplâncton por barragens hidrelétricas. O delineamento amostral proposto é relativamente simples, de fácil execução e baixo custo, se comparado àqueles que demandam tecnologias mais sofisticadas ou combinam estudos de campo e laboratório para associar injúrias e mortalidade de peixes durante a passagem descendente por barragens sob



diferentes regimes de operação. Além disso, a presente proposta permite avaliar a passagem descendente em larvas de peixes, diferentemente dos estudos supracitados que consideram peixes adultos ou juvenis. Esta particularidade é um ponto essencial para a realização deste tipo de avaliação (passagem descendente) nos rios neotropicais, onde a deriva descendente ocorre, predominantemente, nas fases ictioplantônicas, diferentemente das problemáticas envolvendo a migração de salmonídeos, não aplicáveis na região neotropical.

A execução sistemática da metodologia proposta neste estudo virtualmente contribuirá substancialmente no avanço do conhecimento ecológico através de: *i*) avaliação do impacto da construção e operação de represas hidrelétricas sobre a condição (mortalidade ou injúrias) das larvas de peixes que realizam a passagem descendente pelas diferentes estruturas hidráulicas destes empreendimentos, e; *ii*) subsídio de medidas de manejo do ictioplâncton através do estabelecimento de regras de operação das usinas hidrelétricas sob diferentes condições hidrológicas que minimizem os riscos de injúrias ou mortalidades nas larvas de peixes. Nesse contexto, uma condição que precede é a necessidade de as larvas alcançarem a barragem através da deriva ao longo do reservatório, o que dependerá do seu tamanho, tempo de renovação da água e local de procedência das larvas (Agostinho et al., 2007; Pelicice et al., 2015).

Por fim, considerando a escassez de estudos sobre injúrias e mortalidade de larvas de peixe pelas estruturas de usinas hidrelétricas e de metodologias viáveis de serem executadas em caráter de monitoramento, pelo menos para os rios neotropicais, assim como a relevância no entendimento da deriva descendente do ictioplâncton, recomenda-se a previsão da proposta aqui apresentada nos Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) e sua incorporação detalhada nos Planos Básicos Ambientais (PBA), tornando possível a avaliação e mitigação dos impactos. Além disso, a sua execução sistemática em empreendimentos hidrelétricos diversos, de diferentes tamanhos, tipos de turbinas e vertedouros, bacia de dissipação e bacias hidrográficas, incrementará o conhecimento a respeito da passagem descendente de ovos e larvas de peixes por barragens hidrelétricas nos rios neotropicais.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOSTINHO, A.A., GOMES, L.C., PELICICE, F.M. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem, 2007a.501p.
- (2) AGOSTINHO, A.A., MARQUES, E.E., AGOSTINHO, C.S., ALMEIDA, D.A., OLIVEIRA, R.J., MELO, J.R.B., 2007b. Fish ladder of Lajeado Dam: migrations on one-way routes?. *Neotropical Ichthyology*, 5(2):121 - 130.
- (3) CADA, G.F., COUTANT, C.C., WHITNEY, R.R., 1997. Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines. DOE/ID-10578. Prepared for the U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, Idaho Falls, Idaho.
- (4) CADA, G., LOAR, J., GARRISON, L., FISHER, R., NEITZEL, D. 2006. Efforts to reduce mortality to hydroelectric turbine-passed fish: locating and quantifying damaging shear stresses. *Environmental Management* 37, 898–906.
- (5) CADA, G.F. 2001. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. *Fisheries* 26, 14–23.
- (6) DENG, Z., MULLER, R.P., RICHMOND, M.C., JOHNSON, G.E. 2010. Injury and mortality of Juvenile salmon entrained in a submerged jet entering still water. *North American Journal of Fisheries Management*, 30:623–628.
- (7) HURVICH, C.M., TSAI, C.L., 1991. Bias of the corrected AIC criterion for underfitted regression and time series models. *Biometrika*, 78(3): 499-509.
- (8) MCCULLAGH, P., NELDER, J.A. 1983. Generalized linear models. Chapman and Hall, London. 261p.
- (9) MILLAR, R.B., 2011. Maximum Likelihood Estimation and Inference: With Examples in R, SAS and ADMB. John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom.
- (10) PELICICE F.M., AGOSTINHO A.A., POMPEU P.S. 2015. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish. *Fish and Fisheries*, 16(4): 697-715.
- (11) R CORE TEAM, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- (12) ROSCOE, D.W., HINCH, S.G. 2010. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries*, 11: 12-33.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Diego Corrêa Alves nascido em 10 de julho de 1985, na cidade de São Paulo - SP. Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá (2009), Mestrado (2012) e doutorado (2015) em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA) na Universidade Estadual de Maringá. Atualmente é professor efetivo do departamento de Estatística da Universidade Estadual de Maringá. Atua na área de Bioestatística e Ecologia, com ênfase em ecologia de peixes e pesca (modelo de dinâmica populacional e avaliações de estoques pesqueiros).