

## Mitigação de Injúrias e Mortalidade de Peixes em Turbinas e Vertedouros de Hidrelétricas: meta-síntese de pesquisas científicas publicadas em periódicos

*Mitigation of Injuries and Fish Mortality in Hydroelectric Turbines and Spillways: meta-synthesis of scientific research published in periodicals*

Adriano Guimarães Carvalho<sup>1</sup>, Elineide Eugênio Marques<sup>2</sup>

### RESUMO

Há estudos sobre a mitigação de injúrias e mortalidade de peixes pela passagem através de turbinas e vertedouros em hidrelétricas. Todavia, não se verificaram até o momento pesquisas voltadas a abordagens sistêmicas que visem à identificação de lacunas de pesquisa sobre o tema. Esta pesquisa visa alcançar uma meta-síntese que busque apresentar tópicos cuja abordagem ainda é insipiente, de forma a direcionar futuros estudos sobre o tema aqui proposto. A busca sistemática de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais foi realizada a partir do metabuscador da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O estudo indica a necessidade de um melhor entendimento das características dos ambientes e também do comportamento dos peixes quando suscetíveis à passagem através destes elementos em regiões com prospecção para a construção de usinas hidrelétricas (UHEs), até então, pouco observadas pelos cientistas (América do Sul, África e Ásia).

**Palavras-chave:** Mortandade, Ictiofauna, Bibliometria.

### ABSTRACT

There are studies on the mitigation of fish injuries and mortality by passing through turbines and spillways in hydroelectric dams. However, there have been no studies so far focused on systemic approaches to identify research gaps on the subject. In this sense, this research aims to attain a meta-synthesis that seeks to present topics whose approach is still insipient, in order to direct future studies on the theme proposed here. The systematic search for articles published in national and international journals was carried out using the metasearch of the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). The study indicates the need for a better understanding of the characteristics of the environments, as well as the behavior of the fish when susceptible to passage through these elements in regions with prospecting for the construction of hydroelectric power plants, until then little observed by the scientists (South America, Africa and Asia).

**Keywords:** Mortality, Ichthyofauna, Bibliometry.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins.

E-mail: [agcarvalho@ifto.edu.br](mailto:agcarvalho@ifto.edu.br)

<sup>2</sup> Professora Doutora do programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar dos avanços na produção de energia, questões são postas na agenda política mundial diante do custo-benefício decorrente dos métodos de geração, principalmente em um momento de fortes discussões sobre preservação ambiental, uso de recursos naturais e gases de efeito estufa. Por outro lado, há também uma forte demanda deste insumo por parte do setor produtivo, uma vez que, a disponibilidade de eletricidade está vinculada ao desenvolvimento econômico, tecnológico, social e militar de uma nação, dentre outros.

No Brasil, observa-se uma forte tendência para a implantação de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica, sendo que estudos realizados por ANEEL (2002) indicam que os estados da região norte somados ao Maranhão e Tocantins representam 43% do potencial hidrelétrico brasileiro. Aliado a isso, vem sendo incorporado, no discurso para a implantação destas usinas, a sustentabilidade como matriz norteadora para o “desenvolvimento da Amazônia Legal”, por meio da produção de energia (FEARNSIDE, 2014).

Dentre as hidrelétricas implantadas, em construção e previstas para a região tem-se Tabajara, Bem Querer, Jirau, Santo Antônio, Tapajós, Teles Pires, Belo Monte, Balbina, Samuel, Curuá-Una, Guaporé, Colider, Salto Apiacás, Sinop, São Luiz do Tapajós, Jatobá, Salto Augusto de Baixo, São Simão Alto, dentre outras (EPE, 2013).

Apesar da existência de divergências, quanto à sustentabilidade da produção de energia a partir da hidroeletricidade (entidades governamentais consideram a produção de hidroenergia como limpa, enquanto que alguns ambientalistas e cientistas tem demonstrado que estas usinas também poluem), e ainda, na política desenvolvimentista baseada nesta matriz implantada por diversas nações, é preciso se pensar em como garantir que estes empreendimentos possam promover o menor nível possível de danos socioambientais (WINEMILLER et al., 2016).

Vários pesquisadores confirmam os efeitos negativos dos empreendimentos hidrelétricos sobre a atividade pesqueira das comunidades ribeirinhas (AGOSTINHO et al., 2007a; HESS et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2016). Do mesmo modo, mencionam a tendência de decréscimo nas populações de peixes migradores associada às barragens instaladas, as quais constituem barreiras difíceis de serem transpostas por estas populações (PARRISH et al., 1998; SVENSSON, 2000; KEEFER et al., 2013).

Cientistas têm se preocupado com a minimização da mortalidade de peixes em UHEs, entre eles podemos citar Agostinho et al. (2007a), Agostinho et al. (2007b), Manyari et al. (2007), na América do Sul; March et al. (1999), Neitzel et al. (2004), Deng et al. (2010b) nos Estados Unidos da América; Trussart et al. (2002), Katopodis et al. (2012), Klimpt et al. (2002), Huang et al. (2015) na China.

Tendo em vista a recorrência de conflitos socioambientais e de eventos de mortalidade de peixes associados às usinas hidrelétricas (UHEs), este trabalho apresenta um estudo de revisão sistemática visando contribuir não apenas com o diálogo entre as áreas de conhecimento como também com a minimização dos problemas associados ao tema por meio de publicações especificamente voltadas à mitigação de injúrias e mortalidade de peixes, quando de sua passagem através de turbinas e vertedouros de hidrelétricas.

## 2. METODOLOGIA

A opção metodológica adotada neste estudo foi a realização de uma meta-síntese. Segundo Sandelowski et al. (1997), a meta-síntese consiste em uma revisão sistêmica ou, ainda, na integração das conclusões de uma pesquisa qualitativa sobre um certo domínio. Tal revisão constitui-se numa síntese interpretativa de dados. Incluem-se nestes termos fenomenologias, etnografias, grounded theories e outras.

Este método permitirá o levantamento sistemático de uma amostra de artigos cujo tema seja análogo ou muito semelhante ao assunto de pesquisa aqui proposto (KIRCHHERR et al., 2016). Tal diagnóstico pode contribuir para a identificação de lacunas de conhecimento sobre o tema, concorrendo, assim, para nortear futuras pesquisas (CRONIN et al., 2008).

A técnica utilizada foi a bibliometria, ferramenta auxiliar na identificação de áreas de estudo e questões que possam direcionar novas pesquisas objetivando a integração de demandas sociais, ambientais e econômicas ao planejamento do uso dos recursos hídricos.

Utilizando-se os programas UCInet (BORGATTI et al., 2016) e o CALC do LibreOffice (CALC, 2016), foram desenvolvidas análises que possibilitaram a identificação tanto das bases de dados e/ou editoras preferidas, como a evolução das publicações, a distribuição geográfica das pesquisas, a análise de correlação entre Instituições de pesquisa e bacias hidrográficas, os tipos de estudos realizados, os processos de mitigação mais avaliados, os tipos de turbinas pesquisadas e os principais agentes de financiamento para os estudos.

Em seguida, foi realizada uma busca de informações científicas publicadas (amostragem de artigos) em bases de dados e/ou editoras que abarcam diversas revistas científicas relacionadas ao tema “mitigação de mortalidade de peixes quando da passagem por vertedouros e turbinas de UHEs”.

A procura por artigos ocorreu por assunto, a partir do metabuscador disponibilizado no sítio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes, por meio de seu Portal de Periódicos (CAPES, 2017), que centraliza o acesso a cerca de 134 bases referenciais, vinculando um montante de mais de trinta e oito mil títulos de revistas científicas. As buscas aconteceram entre janeiro e março de 2017.

O portal em questão é financiado pelo governo brasileiro, que busca com esta iniciativa permitir aos pesquisadores do Brasil o acesso a milhares de pesquisas publicadas pelo mundo, possibilitando aos cientistas “a competição” igualitária com o resto do mundo. Esta iniciativa vem contribuindo de forma bastante relevante ao desenvolvimento técnico-científico dos centros de pesquisas espalhados pelo país.

Para as buscas referenciadas foram empregadas as seguintes palavras-chaves: (i) fish passage through turbine ou (ii) fish passage through spillways. O resultado foi a apresentação de novecentos e oitenta e oito publicações dos mais variados tipos.

Todavia optou-se por algumas restrições à busca, sendo elas: (a) eliminação de artigos que apareciam mais de uma vez (repetidos); (b) seleção somente de artigos revisados por pares, possibilitando, assim, analisar as publicações em periódicos relevantes para a comunidade científica; (c) publicação de artigos nos últimos vinte anos apenas, pois a inclusão de artigos publicados em datas anteriores aumentaria o risco da ausência de publicações importantes que ainda não eram disponibilizadas na internet; (d) seleção de publicações voltadas às seguintes disciplinas apenas: Anatomia e Fisiologia, Biologia, Ciência da Computação, Ecologia, Engenharia, Ciências Ambientais, Ciências, Zoologia, Legislação, Oceanografia, Ciências Sociais e Estatística; e (e) seleção apenas de publicações que abordavam o tema “mitigação de injúrias e mortalidade de peixes pela passagem através de turbinas e vertedouros”.

A partir da configuração do metabuscador com as restrições elencadas nas quatro primeiras restrições impostas, encontraram-se 583 artigos, que, a partir daí, foram verificados quanto a sua pertinência ao tema proposto.

Após a análise dos artigos quanto a sua relação com o tema, restaram para o desenvolvimento do estudo proposto neste trabalho 62 artigos científicos. Cabe ressaltar

que as verificações quanto à vinculação dos artigos ao tema proposto foram realizadas a partir dos seguintes passos: (i) interpretação do resumo do artigo; (ii) leitura da introdução; (iii) compreensão das conclusões do artigo e (iv) análise das demais seções do artigo, tais como metodologia e resultados.

O processo de análise de pertinência ao tema foi realizado de forma a verificar se o artigo atendia ao quesito (i). Se atendesse a este subitem, o artigo era selecionado. Caso não atendesse ao primeiro quesito, então se passava para a verificação do subitem (ii). Ao se verificar que abordava o tema proposto neste subitem, o artigo era selecionado, caso contrário, passava-se à análise do próximo subitem (iii), e assim sucessivamente.

Com o objetivo de verificar a eficiência e a abrangência de conteúdo do metabuscador disponibilizado no portal da Capes, realizou-se uma busca no portal da Universidade da Flórida (UF). Impuseram-se as mesmas condições de restrição elencadas nos subitens a, b, c e d mencionadas anteriormente. Os resultados de busca geraram quinhentas e setenta publicações, que posteriormente foram comparadas aos resultados obtidos no portal da Capes. Todos os artigos encontrados a partir do metabuscador da UF estavam contidos naqueles encontrados nas bases de periódicos da Capes.

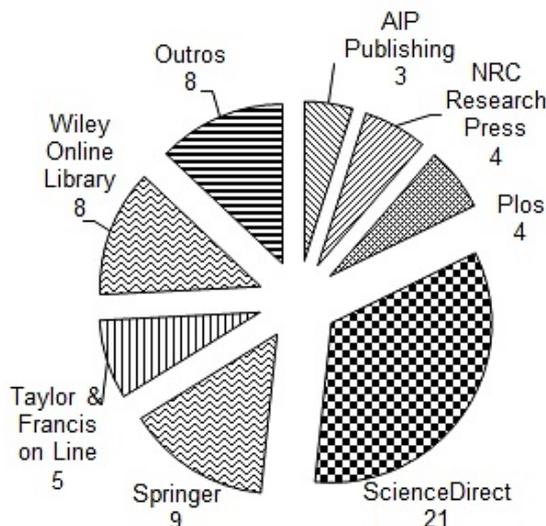
Não se espera aqui encontrar todas as publicações revisadas por pares voltadas à mitigação da mortalidade de peixes pela passagem em turbinas e vertedouros, entretanto, acredita-se que os artigos selecionados representam, de forma bastante relevante, a maioria das pesquisas já realizadas sobre o assunto aqui abordado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A maioria dos artigos encontrados na pesquisa realizada no metabuscador da Capes é oriunda da base de dados da ScienceDirect com 21 publicações. Outras bases relevantes foram a Springer com 9 artigos, Wiley Online Library com 8 e Taylor & Francis On Line com 5 (Gráfico 1).

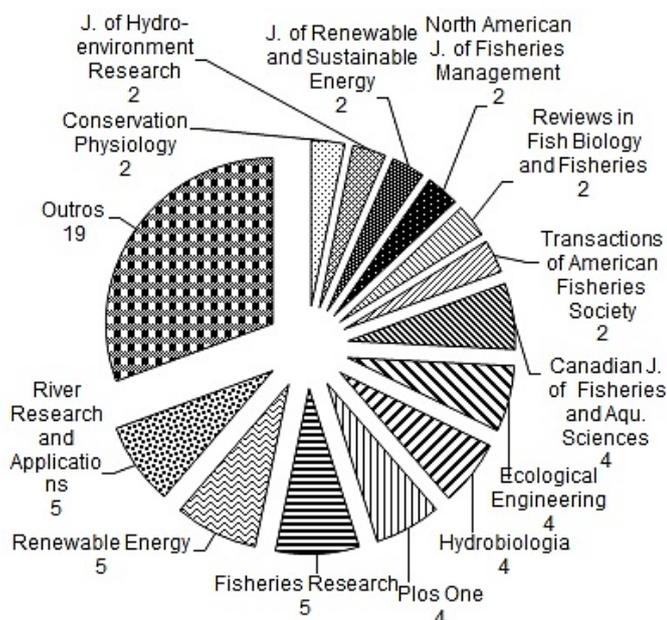
Tal resultado apresenta uma preferência dos pesquisadores na publicação de pesquisas sobre mitigação de morte de peixes em turbinas e vertedouros nestas bases de dados.

**Gráfico 1.** Frequência de artigos nas bases de dados/coleções (CAPES, 2017).



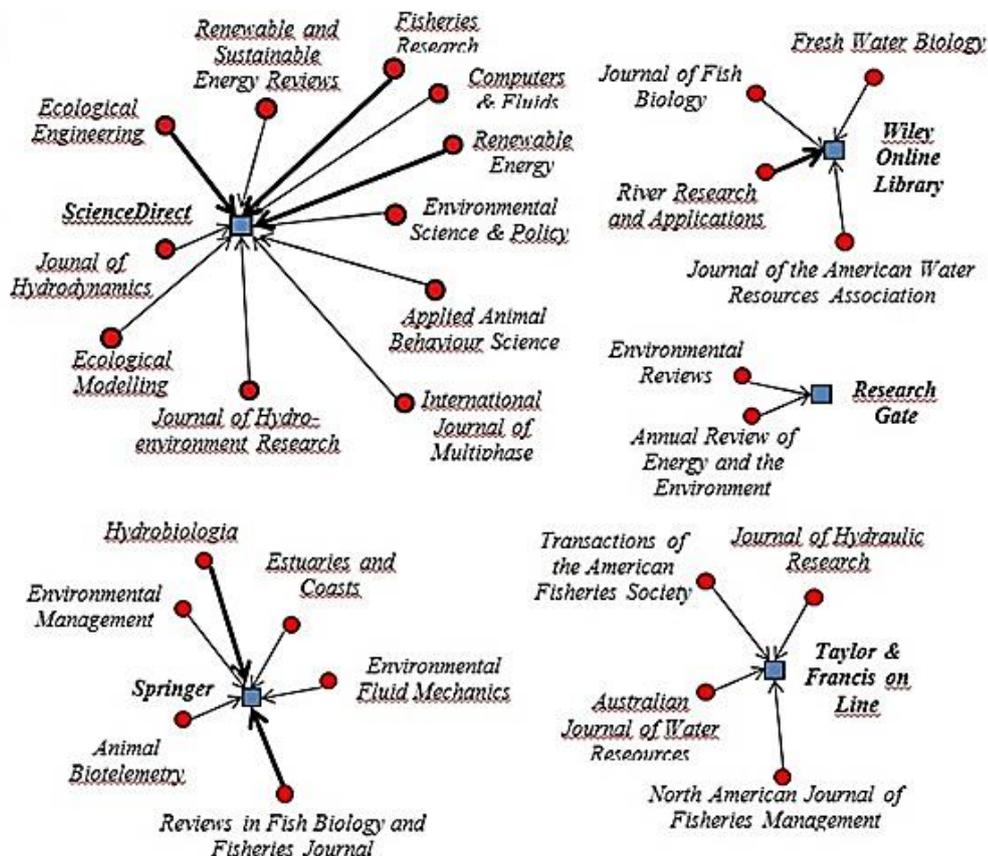
Os periódicos mais utilizados para publicações do tema abordado foram Fisheries Research, Renewable Energy e River Research and Application (cinco publicações cada), seguido por Plos One, Hydrobiologia, Ecological Engineering e Canadian Journal of Fisheries and Aquatics Sciences (4 artigos cada) (Gráfico 2).

**Gráfico 2.** Periódicos preferidos para publicações de artigos relacionados ao tema pesquisado.



Estas revistas formaram um grande subdomínio a partir de conexões com algumas bases favorecidas pelos cientistas para suas publicações, conforme análise de correlação entre os periódicos e as coleções realizadas no UCInet (BORGATTI et al., 2016). Outros

subdomínios menores são observados em relação a outras bases (Figura 1).



**Figura 1.** Correlações mais fortes entre revistas (círculo) e coleções (quadrado).

A base ScienceDirect apresentou forte correlação com revistas relacionadas a ecologia, sustentabilidade, modelagem, hidrodinâmica, meio ambiente e comportamento animal. A base Springer, com periódicos voltados a meio ambiente, fluido mecânica, biotelemetria e biologia.

A Wiley Online Library apresentou correlação com as áreas de biologia, água, cursos d'água e recursos hídricos. A base Taylor & Francis On Line apresentou conexões com campos voltados a pesca, hidráulica e recursos hídricos. Research Gate, com meio ambiente e energia.

Na Figura 1, setas com linhas mais grossas indicam Instituições de Pesquisa (IPs) que possuem mais de uma publicação na base a qual ela se correlaciona, implicando numa conexão mais forte entre as mesmas. As setas com linhas finas apresentam correspondência simples, ou seja, apenas uma publicação na base.

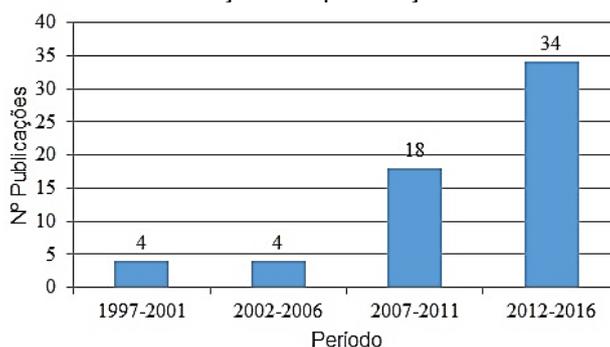
Outras coleções apresentaram apenas relações simples unilaterais, ou seja, com apenas uma base/coleção indicando que os cientistas, da área de estudo em questão,

ainda preferem lançar suas publicações apenas em bases ou coletâneas específicas. As bases/coleções com ligações unilaterais (conectada a apenas uma revista) foram IOP Science, De Gruyter, Plos, Scielo, Scopus, ASCE Library, NRCResearch Press, Oxford University Press, CSIRO Publishing e AIP Publishing.

Os estudos realizados ainda indicaram um crescimento das pesquisas sobre mitigação de injúrias e mortalidade de peixes quando da passagem através de vertedouros e turbinas em UHEs nas últimas décadas, conforme relatos de vários pesquisadores (COUTANT et al., 2000; MATHUR et al., 2000; CADA, 2001; MUIR et al., 2001; FERGUSON et al., 2006; CADA et al., 2006; SCHILT, 2007; WILLIAMS, 2008) (Gráfico 3).

Este crescimento foi acentuado quando comparamos os períodos de 2002-2006 e 2007-2011, com taxas de 350% de evolução (Gráfico 3). Nesta análise, foram desconsiderados dois artigos selecionados, haja vista que foram publicados em 2017.

**Gráfico 3.** Evolução das publicações no mundo.



Uma revisão da legislação e regulamentação americana (FERC, 2003) está entre os fatores que podem ter contribuído para o aumento da produção científica nessa área. Dentre as novas exigências para licenciamento impostas pode-se citar maior participação pública, plano de estudos elaborado por especialistas com indicação dos efeitos diretos, indiretos e cumulativos da operação sobre os recursos, certificações para qualidade da água, compensações às comunidades ribeirinhas e indígenas e custos dos programas de mitigação.

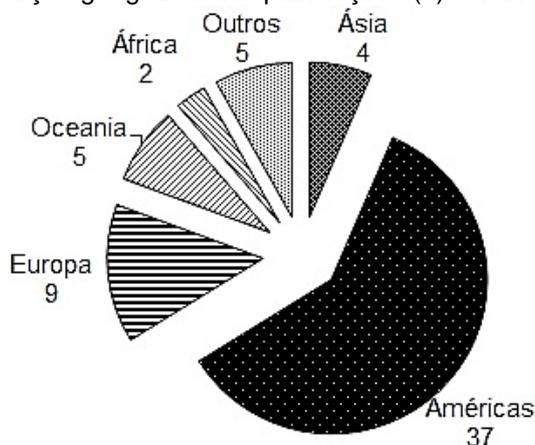
Além disso o estabelecimento de multas mais severas (risco econômico), degradação da imagem da empresa de energia junto à sociedade diante da ocorrência de episódios de mortalidade, maior consciência ambiental, desenvolvimento de novas ferramentas e dispositivos tecnológicos (modelagem computacional e sensores de marcação), facilidade no acesso e universalização da informação, preocupação com manutenção dos estoques de espécies de peixes (SORENSEN et al., 1998; MARCH et al., 1999; KEEFER et al., 2013),

são fatores que também podem ter despertado o estudo desta questão.

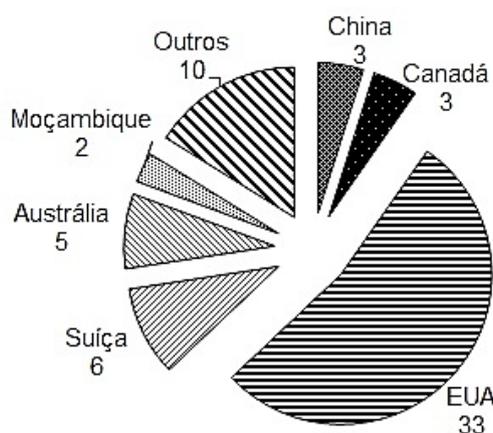
A facilidade de acesso aos artigos publicados em meio digital na última década pode ter influenciado os resultados da busca, visto que parte dos periódicos publicados nas décadas anteriores pode estar disponível apenas em meio impresso, dificultando o acesso a estes artigos.

A maioria dos estudos focaram empreendimentos localizados em bacias hidrográficas do Continente Americano (37) e da Europa (9) (Gráfico 4a), especialmente nos Estados Unidos da América e Suécia (Gráfico 4b). Nestas regiões, o clima é temperado e a diversidade de peixes é muito menor do que nas regiões tropicais, onde está a maioria das espécies de peixe de água doce do mundo (LÉVÊQUE et al., 2008).

**Gráfico 4.** Distribuição geográfica das publicações (a) continentes e (b) países.



(a)



(b)

Um dos fatores que pode ter contribuído para o número acentuado de artigos nos Estados Unidos foi a necessidade de renovação das licenças de usinas no território americano. A Federal Energy Regulatory Commission (FERC), entidade responsável pelo

licenciamento de barragens no território norte americano, publicou em 1997 e revisou em 2003 regulamentos mais criteriosos para funcionamento de UHEs (FERC, 2003). Nestes termos, os empreendedores do setor se viram forçados a investir de forma mais contundente em pesquisas para atender as exigências impostas, favorecendo, assim, um acréscimo de pesquisas na área, podendo indicar uma relação forte entre os investimentos econômicos e a produção acadêmica.

O International Commission on Large Dams (ICOLD) define grande barragem como sendo aquela que possui quinze metros ou mais de altura da sua fundação até a crista, ou, ainda, que tenha entre 5 e 15 metros de altura, mas cujo reservatório tenha capacidade de armazenamento de água maior que 3 milhões de metros cúbicos. De acordo com esse critério, a Ásia (39,6%) e as Américas (36,7%) concentram a maior parte das 245 grandes barragens do mundo (ICOLD, 2017).

Uma análise comparativa entre a distribuição geográfica das publicações e a localização das grandes barragens mostra uma assimetria nesta distribuição, com uma forte tendência à concentração de pesquisas nas Américas (37). Contudo, a Ásia, continente que apresenta um expressivo número de barragens de grande porte, é abordada em apenas 4 artigos pesquisados (Gráfico 4a).

Há lacunas nos estudos sobre mitigação de mortalidade de peixes em vertedouros e turbinas em regiões com quantidades relevantes de grandes usinas, principalmente na Ásia e América do Sul, este último com somente uma publicação. Outras regiões como Europa, Oceania e África também desenvolveram alguns estudos (Gráfico 4a).

Segundo Winemiller et al. (2016), há uma previsão, por parte do governo brasileiro, para a construção de algumas dezenas de UHEs na região amazônica. Trata-se de uma região com grande biodiversidade de peixes, mas insipiente em termos de pesquisas voltadas à verificação de gradientes de pressão, supersaturação, impacto, cisalhamento, turbulência sobre estes animais.

As agências responsáveis pelos setores de energia e água do governo brasileiro (ANA, 2005; ANEEL, 2008), em seus estudos de planejamento, levantaram que a maior parte do potencial hidrelétrico do Brasil está localizado na região amazônica (41%), embora, segundo elas, neste momento, este potencial ainda se encontre pouco explorado (cerca de 1%). Some-se a isto o fato de que os projetos de construção de UHEs previstos no plano de expansão 2016-2020 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE - Brasil) para a região norte somam 15,5 GW (SILVA et al., 2014).

A construção destes empreendimentos sem a informação precisa de como a ictiofauna responderá quando submetida a condições adversas geradas pelas UHEs poderá provocar alterações relevantes nas populações de peixes, podendo ocasionar ainda a extinção de espécies mais vulneráveis. Este impacto afeta diretamente as populações ribeirinhas que têm sua subsistência e economia baseadas na pesca, acentuando os conflitos socioambientais.

Todavia, os artigos pesquisados indicaram que os estudos estão concentrados nos Estados Unidos da América (EUA), principalmente na sua região noroeste (Bacia do rio Columbia). O rio Columbia possui uma extensão em torno de 2000 km. É servido por importantes tributários como os rios Snake, John Day, Willamette, Canoe, dentre outros, além de ser alimentado por geleiras das montanhas rochosas do Canadá. Trata-se de uma bacia relevante para a produção de energia hidrelétrica nos EUA, representando cerca de 44,0% da geração deste modal num total de 56 usinas (NWCOUNCIL, 2014).

Diversas Instituições de Pesquisa - IPs dos EUA, Canadá e outros países têm centrado esforços em investigações voltadas aos corpos hídricos que compõem a Bacia do rio Columbia, haja vista que cerca de 27,0% dos artigos analisados foram relativos a estudos desta bacia (Figura 2).

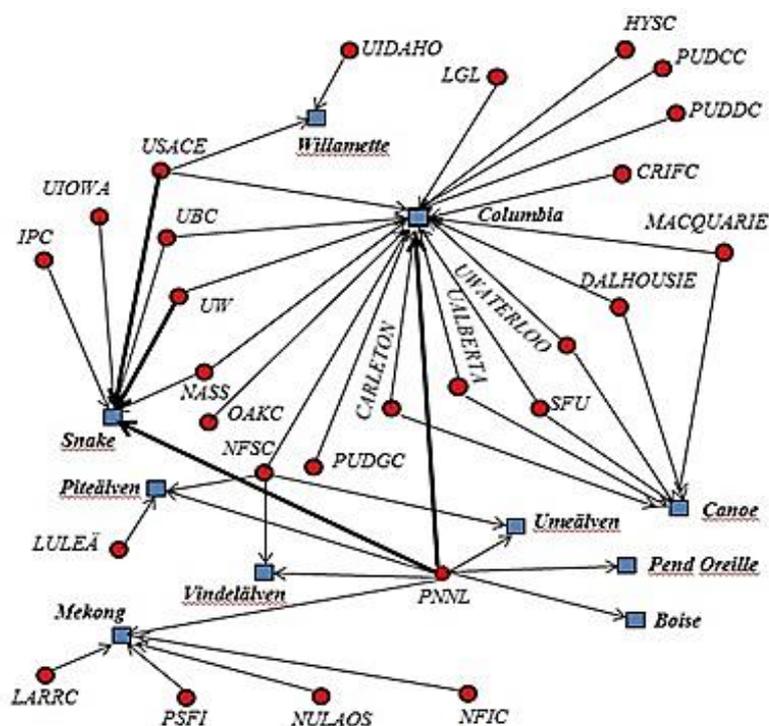


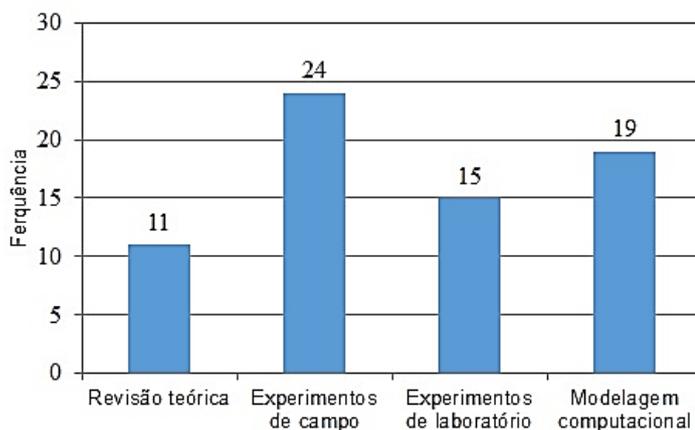
Figura 2. Correlações entre as IPs (círculo) e os corpos hídricos (quadrado).

Há uma forte correlação (várias setas apontando para mesmo rio) entre as diversas instituições de pesquisa, principalmente com os rios Columbia, Snake, Canoe e Willamette, que fazem parte da mesma bacia hidrográfica. Algumas IPs também apresentam correlações com corpos hídricos na Suécia (Piteälven, Vindelälven e Umeälven) e na Ásia (Mekong). Setas com linhas mais grossas indicam IPs que possuem mais de uma publicação sobre o rio com o qual ela se correlaciona (Figura 2).

Notam-se correspondências em menor intensidade entre IPs e outros rios espalhados pelo planeta. Dentre eles podemos citar os rios Exploits, Ätran, um rio na China e Mekong, localizados no Canadá, Suécia e Ásia, respectivamente.

A preferência dos estudiosos pela realização de pesquisas do tipo experimentos de campo fica evidenciada no Gráfico 5. Dentre estas pesquisas de campo pode-se elencar comportamento populacional ou comportamento de peixes, verificação de gradientes de pressão, supersaturação, impactos contra partes móveis de componentes da usina, turbulências, mortalidade, cisalhamento. A grande maioria das pesquisas foi realizada por meio da observação de informações coletadas a partir de chips implantados em peixes, que posteriormente foram submetidos à passagem através das turbinas e/ou vertedouros. Alguns artigos abordavam mais de um tipo de estudo.

**Gráfico 5.** Tendências de estudos realizados entre 1997 e 2017.



Ressalta-se ainda a realização de estudos em laboratório, como, por exemplo, a partir da construção de modelos reduzidos, a construção de equipamentos como câmaras hiperbáricas, sensores para se verificar supersaturação ou turbulências de ambientes específicos, dentre outros. Verificou-se uma forte tendência de se utilizarem resultados de campo e de laboratório visando à construção/calibração de modelos computacionais para que eles pudessem representar ambientes de campo, tais como bacias de dissipação e

salto em esqui de vertedouros, turbinas, tubo de adução, canal de fuga e áreas adjacentes (GIBSON, 2002; CADA et al., 2006; XIAO-LI et al., 2010).

As revisões teóricas analisadas estavam focadas principalmente em vantagens e desvantagens de UHEs, comportamento populacional, construção de turbinas amigáveis à passagem de peixes, construção de dispositivos de desvio para transposição dos peixes e barreiras comportamentais (MARCH et al., 1999; SCHILT, 2007; WIŚENIEWOLSKI, 2008; NOATCH et al., 2012).

Quando os peixes são submetidos à passagem por turbinas e vertedouros ficam suscetíveis à ocorrência de injúrias e morte. As injúrias decorrentes de gradientes de pressão ocorrem principalmente devido a variações abruptas, que os peixes não conseguem assimilar. Sistemas de geração tipo Kaplan e Francis são conhecidos como turbinas de reação, ou seja, aqueles em que ocorre grande variação de pressão quando o escoamento de água passa pelo rotor (água entra com alta pressão e sai em baixa pressão). Várias espécies suportam bem estas alterações, entretanto mudanças bruscas podem provocar hemorragias generalizadas, eversão do estômago pela boca e dilatação do globo ocular (AGOSTINHO, 2007a, p. 315).

A supersaturação promove a elevação dos níveis de oxigênio dissolvido (OD) na água, podendo acarretar traumas devido à embolia gasosa nos peixes (ABERNETHY et al., 2001). Regiões localizadas a jusante de vertedouros são as principais áreas suscetíveis ao surgimento de supersaturação.

Outra possibilidade de elevação do OD é através da cavitação. Ela ocorre devido a formações de bolhas em regiões que sofrem redução acentuada de pressão (PEREIRA, 2015). Essas bolhas, ao migrarem para regiões de alta pressão sofrem colapso e geram ondas de choque de alto impacto, que também podem provocar lesões na ictiofauna.

O cisalhamento ocorre por choques entre massas de água com velocidades distintas. Essa diferença pode promover nos peixes deformações no corpo, perda de muco e escamas, danos nos olhos, esmagamentos e hemorragias internas (CADA et al., 1997).

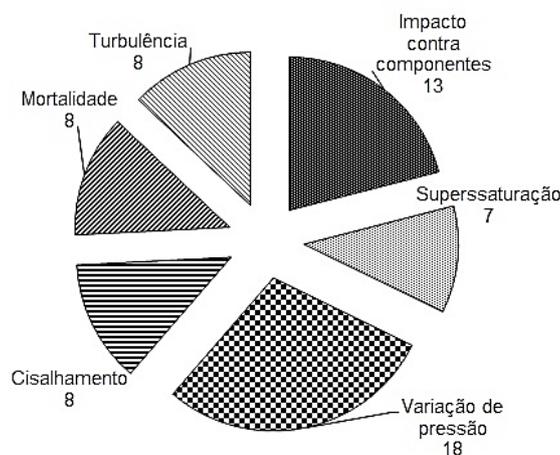
Turbulências ocasionadas por movimentos caóticos do fluxo de água em escalas variadas causam turbilhões ou rodaminhos. Tais agitações podem gerar inversão de brânquias e decepamento de cabeça (AGOSTINHO, 2007a, p. 319).

Impactos proporcionam injúrias de origem mecânica por choques contra componentes (fixos ou móveis) da usina. No geral, estas lesões são motivadas por colisões ou pela

passagem dos peixes através de espaços estreitos causando esmagamentos (DENG et al., 2007).

Considerando a amostra de artigos científicos analisada neste estudo, observou-se um total de 62 estudos baseados em mitigação (Gráfico 6). Acrescenta-se que algumas pesquisas tratavam de revisão teórica ou outros elementos, os quais não abordavam diretamente processos para evitar a ocorrência de injúrias (MARCH et al., 1999). Os processos preferidos para estudo pelos cientistas foram variação de pressão (18) e impactos contra componentes da barragem (13), conforme apresentado no Gráfico 6.

**Gráfico 6.** Frequência dos processos de mitigação tratados nos artigos levantados entre 1997 e 2017.



Se por um lado as pesquisas voltadas à variação de pressão focaram em análises desenvolvidas no campo, e ainda em laboratório por meio de câmaras hiperbáricas (POMPEU et al., 2009; STEPHENSON et al., 2010); por outro lado, os impactos contra partes móveis da usina resultaram principalmente de observações da ictiofauna migradora quando de sua passagem pelas turbinas. Resta acrescentar que para este último existem alguns experimentos realizados em laboratório a partir de turbinas ou vertedouros construídos em escala reduzida (DENG et al., 2007, 2010a; HAMMAR et al., 2015).

Dentre os demais processos analisados nos estudos estão o cisalhamento, a mortalidade, turbulência e supersaturação (Gráfico 6). Os que envolviam o cisalhamento foram experimentais, consistiam em submeter os peixes a jatos de água controlados em laboratório, com posterior observação das injúrias encontradas no animal (CADA et al., 2006). A mortalidade dos peixes foi avaliada quando de sua passagem por turbinas ou vertedouros, avaliando-se, inclusive, se houve morte tardia que possa ter sido provocada pelos diversos tipos de injúrias (DENG et al., 2012; HUANG et al., 2015). Os estudos de

injúrias por turbulência e supersaturação foram realizados por observações e medições de campo, de laboratório, em modelos reduzidos e também a partir de modelagens computacionais (DENG et al., 2010b; XIAO-LI et al., 2010; POLITANO et al., 2012; GUENTHER et al., 2013).

Ressalte-se que há uma dificuldade em se identificar a origem específica de um tipo de dano ocasionado pela passagem de peixes através das turbinas. Isso se deve ao fato de que as injúrias mencionadas podem afetar o peixe de modo isolado ou combinado. Por exemplo, um animal durante a passagem pelas turbinas (Kaplan) pode sofrer lesões por impactos. Mas essas lesões podem ter ocorrido na grade de proteção, na entrada do tubo de adução, na entrada do distribuidor, no rotor, ou ainda, nas pás da turbina. Não há como identificar com precisão o que gerou o dano. Sabe-se apenas que foi por impacto.

Outra situação que pode gerar dúvidas ocorre quando a recaptura acontece a jusante das descargas de água das turbinas e dos vertedouros. Um animal submetido à supersaturação ou cisalhamento pode ter sofrido a injúria tanto no vertedouro, quanto nas turbinas. Estas situações exemplificam a complexidade do problema.

Dos 62 artigos levantados, 17 estavam relacionados a revisão teórica, pesquisas em vertedouros, ou ainda ensaios de laboratório. Do restante, 50% diziam respeito a pesquisas em UHEs com turbinas tipo Kaplan, 33,3% tipo Francis, 4,1% em turbinas Hidrocinéticas Marinha, e as demais, Pelton, Parafuso de Arquimedes, Roda de Pressão Hidroestática, Straflo, Hélice e Gorlov com 2,1% cada.

A forte tendência de instalação de empreendimentos hidrelétricos na região amazônica implicará na instalação de diversas unidades com turbinas Kaplan, considerando as características da região. Nestes termos, há a necessidade de um estudo profundo quanto às características destas unidades de produção de energia, para que se possa compreender seu funcionamento num ambiente de grande biodiversidade de peixes, e em algumas situações, em rios com grande carreamento de sedimentos.

A grande diversidade de habitats na América do Sul e o isolamento geográfico de algumas bacias são fatores que favoreceram a existência da grande diversidade de peixes na região, especialmente na Amazônica (AGOSTINHO, 2007a). Santos et al. (1999) estimaram que o número de espécies na bacia amazônica pode chegar a 5000.

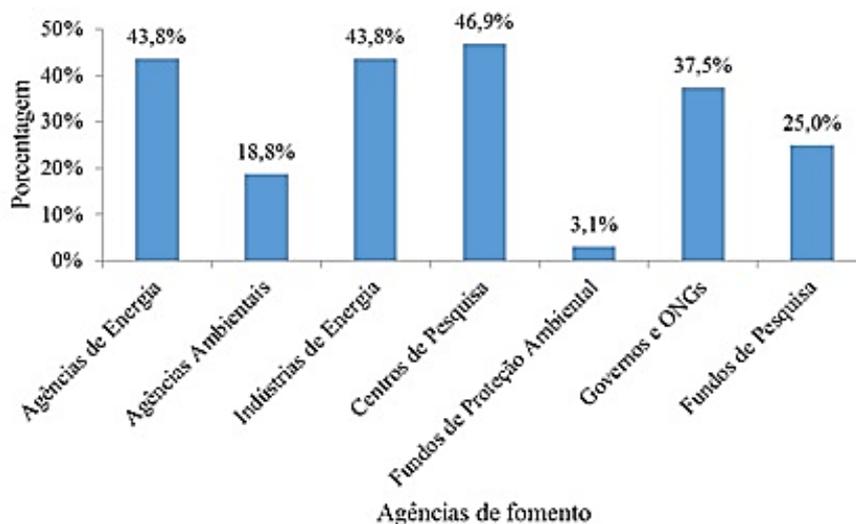
Segundo Martins et al. (2007) e Agostinho et al. (2007a) as turbinas do tipo Francis causam mais injúrias e mortes em peixes do que as Kaplan. Estas últimas possuem mais espaços entre as palhetas, permitindo, assim, uma passagem “segura” aos peixes, além de

operarem em rotações menores. Um estudo de revisão sistemática realizado por Pracheil et al. (2016) sobre hidrelétricas instaladas nos Estados Unidos da América observou a mortalidade em sistemas Kaplan, Francis e Fluxo cruzado. Os resultados indicaram taxas de mortalidade para turbinas Kaplan da ordem de 8%, Francis de 28% e de Fluxo cruzado de 26%, as quais, considerando a diversidade e abundância de peixes nos rios tropicais, representam prejuízos irreparáveis.

A concentração de estudos na região noroeste dos EUA (região rio Columbia), onde, devido às características daquela bacia, se utilizou na maioria das usinas propulsores tipo Kaplan e Francis, o que acabou por contribuir para a concentração de pesquisas com estes tipos de turbinas.

Os estudos foram financiados principalmente por centros de pesquisa, pelas indústrias de energia (UHEs) e agências de energia (46,9 %, 43,8% e 43,8% respectivamente). As agências ambientais e os fundos de proteção ambiental financiaram foram os que menos investiram nos estudos de mitigação aqui avaliados (Gráfico 7).

**Gráfico 7.** Entidades que financiaram as pesquisas avaliadas.



Há de se ressaltar o conflito de interesses entre os agentes patrocinadores e aqueles considerados importantes por alguns pesquisadores. Quanto a este último, pode-se relacionar o prestígio acadêmico, a força institucional, o reconhecimento pela comunidade científica e as volubilidades vinculadas aos relacionamentos humanos. Os cientistas devem estar sempre alertas para que suas pesquisas não reflitam os interesses de seus patrocinadores, como, por exemplo, permitir que agentes patrocinadores interfiram na análise das informações, ou ainda, na forma de sua apresentação.

No geral, o pesquisador deve, durante a elaboração da produção de seus estudos científicos, preocupar-se em encontrar e controlar possibilidades de conflito de interesses, proporcionando assim uma maior credibilidade a sua produção. Tal fato poderá evitar que, em caso de se descobrir a existência de tal conflito de forma tardia, o leitor se sinta enganado com sua leitura, não havendo, a partir deste momento, confiabilidade nos estudos elaborados pelo autor.

## 5. CONCLUSÕES

A construção de empreendimentos hidrelétricos tem impactado a fauna de peixes em todo o mundo.

A barragem constitui uma barreira à migração de peixes, aos quais, ao realizarem a transposição através destas usinas, ficam suscetíveis a diversos tipos de injúrias como diferenças nos gradientes de pressão, supersaturação, impactos mecânicos, cisalhamento, dentre outros. As pesquisas realizadas no sentido de se buscarem soluções que visem à mitigação de injúrias em peixes têm contribuído de forma significativa para o aperfeiçoamento de métodos, técnicas e equipamentos que possam auxiliar estes animais quando de sua passagem por turbinas e vertedouros. Entretanto o problema de mortandade de peixes em barragens ainda é desafiador em regiões tropicais, nas quais diversidade biológica e socioambiental se distingue daquelas onde a maioria dos estudos que abordam a questão vêm sendo desenvolvidos, que são bacias hidrográficas nos EUA.

As pesquisas estão focadas em espécies como o salmão, as trutas e as enguias, os quais possuem características diversas daquelas existentes em rios da região amazônica, onde está programada a implantação de vários empreendimentos nas próximas décadas.

Sugere-se aqui um esforço concentrado por parte dos centros de pesquisa, no sentido de se realizarem estudos nas regiões como a América do Sul, África e Ásia, diante da tendência de construção de UHEs nestes locais, e cuja fauna de peixes é distinta daquela encontrada nos EUA, Canadá e Europa, que foram foco da grande maioria das pesquisas aqui avaliadas. Investigações com abordagem experimental em laboratório, em campo, ensaios em elementos em escala reduzida e modelagem computacional permanecem como uma lacuna no conhecimento para bacias da América do Sul, por exemplo.

Várias questões estão em aberto, tais como: há registros de injúrias em peixes nas barragens construídas em regiões tropicais? Quais injúrias são registradas com maior frequência? Qual o comportamento e o efeito de cisalhamento, de variações de pressão,

de turbulências, de supersaturação sobre os animais e as injúrias características de cada um? Quais as espécies mais suscetíveis a estas injúrias? Quais as características dos ambientes de risco aos quais estes animais estão suscetíveis quando de sua passagem através de vertedouros e turbinas? Que medidas foram e estão sendo tomadas visando a uma passagem segura aos peixes através das turbinas e vertedouros? Por que não há continuidade dos estudos já iniciados?

Cabe ressaltar que cada projeto hidrelétrico possui características próprias, podendo promover os mais variados tipos de injúrias na fauna de peixes. Desta forma, todos os elementos causadores destas injúrias devem ser investigados, visando à preservação da biodiversidade e mitigação dos impactos que porventura possam existir.

A abordagem multidisciplinar, com o envolvimento de várias áreas, a despeito dos resultados encontrados neste estudo, com a participação de cientistas com formação em diversas áreas do conhecimento - biologia, engenharia, computação, matemática, física e também das Ciências Sociais, deveria ser uma tendência na busca de solução para a problemática em tela.

Na verdade, no Brasil, o que se observa em alguns empreendimentos é que há a participação de um grupo de trabalho inter/multidisciplinar para a elaboração dos projetos e estudos para a construção de UHEs. Entretanto parece que as discussões/interações entre as diversas áreas visando aperfeiçoar/melhorar as características dos projetos no que tange, por exemplo, a mitigação da morte de peixes não acontecem, ou não são consideradas relevantes.

Quando o pesquisador se sustenta numa base verdadeiramente inter/multidisciplinar, ampliam-se as possibilidades de soluções, permitindo experiências significativas por meio da comparação, da crítica, da discussão, de sugestões, de ajustes e soluções. Isto reforça a ideia difundida por Ferreira (1993, p. 22): “Interdisciplinaridade é uma atitude, isto é, uma externalização de uma visão de mundo que, no caso, é holística”.

## REFERÊNCIAS

ABERNETHY, C. S.; AMIDAN, B. G.; CADA, G. F. **Laboratory studies of the effects of pressure and dissolved gas supersaturation on turbine-passed fish.** Pacific Northwest National Laboratory, Oak Ridge, TN, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Aproveitamento do potencial hidráulico para a geração de energia.** Brasília: SUM – Superintendência de Usos Múltiplos, 2005. E-book. Disponível em:

<<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Gera%C3%A7aoenergia.pdf>>. Acesso em: 29 mar de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed., Brasília, 2008.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Paraná, Eduem – Editora da Universidade Estadual de Maringá; 2007a.

AGOSTINHO, C. S.; AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F.; ALMEIDA, D. A.; MARQUES, E. E. Selectivity of Fish Ladders: a bottleneck in neotropical fish movement. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 205-213, 2007b.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M. G; FREEMAN, L. C. **Ucinet 6 for windows**: Software for Social Network Analysis. Analytic Technologies, Lexington, USA, 2016.

CADA, G. F. The development of advanced hydroelectric turbines to improve fish passage survival. **Bioengineering Feature**, v. 26, n. 9, p. 14-23, 2001.

CADA, G. F.; COUTANT, C. C.; WHITNEY, R. R. **Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines**. Idaho Falls, Idaho: U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, 1997.

CADA, G. F.; LOAR, J.; GARRISON, L.; JR, R. F.; NEITZEL, D. Efforts to Reduce Mortality to Hydroelectric Turbine-Passed Fish: Locating and Quantifying Damaging Shear Stresses. **Environmental Management**, v. 37, n. 6, p. 898–906, 2006.

CALC - LibreOffice. Versão 5.2: The Document Foundation, 2016. Disponível em: <<https://pt-br.libreoffice.org>>. Acesso em: 30 jul de 2016.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. Portal de Periódicos. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 23 out de 2016.

COUTANT, C. C., WHITNEY, R. R. Fish behavior in relation to passage through hydropower turbines: a review. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 129, p. 351-380, 2000.

CRONIN, P.; RYAN, F.; COUGHLAN, M. Undertaking a literature review: a step-by-step approach. **British Journal of Nursing**, v. 17, n. 1, p. 38-43, 2008.

DENG, Z. D.; CARLSON, T. J. DUNCAN, J. P. RICHMOND, M. C.; DAUBLE, D. D. Use of an autonomous sensor to evaluate the biological performance of the advanced turbine at wanapum dam. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 2, 2010b.

DENG, Z. D.; CARLSON, T. J.; PLOSKEY, G. R.; RICHMOND, M. C.; DAUBLE, D. D. Evaluation of blade-strike models for estimating the biological performance of kaplan turbines. **Ecological Modelling**, v. 208, p. 165-176, 2007.

DENG, Z. D.; MARTINEZ, J. J.; COLOTELO, A. H. ABEL, ABEL T. K.; LEBARGE, A. P.; BROWN, R. S.; PFLUGRATH, B. D.; MUELLER, R. P.; CARLSON, T. J.; SEABURG, A. G.; JOHNSON, M. L.; AHMANN, M. L. Development of external and neutrally buoyant acoustic

transmitters for juvenile salmon turbine passage evaluation. **Fisheries Research**, v. 113, p. 94-105, 2012.

DENG, Z. D.; MUELLER, R. P.; RICHMOND, M. C.; JOHNSON, G. E. Injury and mortality of juvenile salmon entrained in a submerged jet entering swill Water. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 30, p. 623–628, 2010a.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2022. 410 p. Rio de Janeiro, 2013.

FEARNSIDE, Philip M. Análisis de los proyectos hidro-energéticos em la región amazónica. **Dar-Claes, Painel Internacional de Ambiente y Energia em la Amazônia**, 2014.

FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION - FERC. **Hydroelectric licensing under the Federal Power Act**. United States of America. Washington, 2003. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg.asp>>. Acesso em: 25 maio de 2017.

FERGUSON, J. W., ABSOLON, R. F., CARLSON T. J., SANDFORD, B. P. Evidence of delayed mortality on juvenile pacific salmon passing through turbines at Columbia River dams. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 135, p. 139-150, 2006.

FERREIRA, S. L. Introduzindo a noção de interdisciplinaridade. In **Práticas interdisciplinaridades na escola**. 2 ed., São Paulo, Cortez, 1993.

GIBSON, J. F.; MYERS, R. A. A logistic regression model for estimating turbine mortality at hydroelectric generating stations. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 131, p. 623–633, 2002.

GL'99 CONFERENCE PROGRAM. Fourth International Conference on Grey Literature: new frontiers in grey literature. GreyNet. **Grey Literature Network Service**, Washington D.C., USA, p. 4-5, Outubro, 1999.

GUENTHER, P.; FELDER, S.; CHANSON, H. Flow aeration, cavity processes and energy dissipation on flat and pooled stepped spillways for embankments. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 13, p. 503-525, 2013.

HAMMAR, L.; ANDERSSON, S.; EGGERTSEN, L.; HAGLUND, J.; GULLSTRÖM, M.; EHNBERG, J.; MOLANDER, S. Hydrokinetic turbine effects on fish swimming behaviour. **Plos One**, 2015.

HESS, C. E. E.; RIBEIRO, W. C.; WIEPRECHT, S. Assessing environmental justice in large hydropower projects: the case of São Luiz do Tapajós in Brazil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 91-109, 2016. Doi: 10.5380/dma.v37i0.45273.

HUANG, B.; ZHU, D. Z.; SHAO, W.; FU, J.; RUI, J. Forebay hydraulics and fish entrainment risk assessment upstream of a high dam in China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 9, p. 91-103, 2015.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. **Database presentation**, 2017. Disponível em: <[http://www.icold-cigb.net/GB/world\\_register/database\\_presentation.asp](http://www.icold-cigb.net/GB/world_register/database_presentation.asp)>. Acesso em: 13 maio de 2017.

KATOPODIS, C.; WILLIAMS, J. G. The development of fish passage research in a historical context. **Ecological Engineering**, v. 48, p. 8–18, 2012.

KEEFER, M. L.; TAYLOR, G. A.; GARLETTS, D. F.; HELMS, C. K.; GAUTHIER, G. A.; PIERCE, T. M.; CAUDILL, C. C. High-head dams affect downstream fish passage timing and survival in the Middle Fork Willamette River. **River Research and Applications**, v. 29, p. 483-492, 2013.

KIRCHHERR, J., POHLNER, H., CHARLES, K. J. Cleaning up the big muddy: a meta-synthesis of the research on the social impact of dams. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 60, p. 115-125, 2016.

KLIMPT, J. E.; RIVER, C.; PURANEN, H.; KOCH, F. Recommendations for sustainable hydroelectric development. **Energy Policy**, v. 30, p. 1305–1312, 2002.

LÉVÊQUE, C.; OBERDORFF, T.; PAUGY, D.; STIASSNY, M. L. J.; TEDESCO, P. A. Global diversity of Fish (pisces) in Freshwater. **Hydrobiologia**, v. 198, p. 545-567, 2008.

LIMA, D.; POZZOBON, J. Amazônia socioambiental: sustentabilidade ecológica e diversidade social. **Revista de estudos avançados da Universidade de São Paulo**. São Paulo: USP, n. 19, p. 45-76, 2005.

LÜCK, H.; FREITAS, K. S.; GIRLING, R.; KEITH, S. **A escola participativa: o trabalho do gestor escolar**. 6 ed., São Paulo, Editora Vozes, 2005.

MAGALHÃES, S. B.; SILVA, Y. Y. P.; VIDAL, C.L. Não há peixe para pescar neste verão: efeitos socioambientais durante a construção de grandes barragens – o caso Belo Monte. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. v. 37, p. 111-134, 2016. Doi: 10.5380/dma.v37i0.45595.

MANYARI, W. V.; CARVALHO JR, O. A. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: downstream effects of dams. **Energy Policy**, v. 35, p. 6526-6534, 2007.

MARCH, A.; FISHER, R. K. It's not easy being green. Environmental technologies enhance conventional hydropower's role in sustainable development. **Annual Reviews of Energy and Environmental Journal**, v. 24, p. 173-206, 1999.

MARTINS, S. L.; TAMADA, K.; AGOSTINHO, C. S. Discussão sobre um ecossistema aquático de peixes neotropicais. Comitê Brasileiro de Barragens. **XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Belém, 2007.

MATHUR, D., HEISEY, P. G., SKALSKI, J. R., KENNEY, D. R. Salmonid smolt survival relative to turbine efficiency and entrainment depth in hydroelectric power generation. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 36, p. 737-747, 2000.

MUIR, W. D., SMITH, S. G., WILLIAMS, J. G., HOCKERSMITH, E. E. Survival estimates for migrant yearling Chinook salmon and steelhead tagged with passive integrated transponders in the Lower Snake and Lower Columbia Rivers, 1993–1998. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 21, p. 269-282, 2001.

NEITZEL, D. A.; DAUBLE, D. D.; CADA, G. F.; RICHMOND, M. C.; GUENSCH, G. R.; MUELLER, R. P.; ABERNETHY, C. S.; AMIDAN, B. Survival estimates for juvenile fish subjected to a laboratory-generated shear environment. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 133, p. 447-454, 2004.

NOATCH, M.; SUSKI, C. D. Non-physical barriers to deter fish movements. **Environmental Reviews**, v. 20, p. 71–82, 2012.

NORTHWEST POWER & CONSERVATION COUNCIL– NWCOUNCIL. **Columbia River Basin fish and wildlife program**, 2014. Disponível em:

<<[https://www.nwcouncil.org/fw/program/2014-12/program/partone\\_overview](https://www.nwcouncil.org/fw/program/2014-12/program/partone_overview)>. Acesso em: 20 maio de 2017.

PARRISH, D. L.; BEHNKE, R. J.; GEPHARD, S. R.; MCCORMICK, S. D.; REEVES, G. H. Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)? **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 55, p. 281-287, 1998.

PEREIRA, G. M. **Projeto de usinas hidrelétricas: passo a passo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

POLITANO, M.; AMADO, A. A.; BICKFORD, S.; MURAUSKAS, J.; HAY, D. Evaluation of operational strategies to minimize gas supersaturation downstream of a dam. **Computers & Fluids**, v. 68, p. 168-185, 2012.

POMPEU, P. S.; HORTA, L. F. M.; MARTINEZ, B. C. Evaluation of the effects of pressure gradients on four Brazilian freshwater fish species. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 1, p. 111-118, 2009.

PRACHEIL, B. M.; DEROLPH, C. R.; SCHRAMM, M. P.; BEVELHIMER, M. S. A Fish-eye view of riverine hydropower systems: the current understanding of the biological response to turbine passage. **Reviews in Fish Biology Fisheries**, v. 26, n. 11160, p. 1-15, 2016.

SANDELOWSKI M., DOCHERTY S., EMDEN C. Qualitative methasynthesis: issues and techniques. **Research in Nursing and Health**, v. 20, p. 365-371, 1997.

SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G. Peixes da bacia Amazônica. In: LOWE-MCCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. Tradução: Anna Emília A. de M. Vazzoler, Angelo Antônio Agostinho, Patrícia T. M. Cunningham. São Paulo: EDUSP, 1999. cap. 15, p. 345-373. (Coleção Base). Título do original em inglês: Ecological studies in tropical fish communities.

SCHILT, C. R. Developing fish passage and protection at hydropower dams. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 104, p. 295-325, 2007.

SCHNEIDER, H. **World Bank rethinks stance on large-scale hydropower projects**.

The Guardian Retrieved, 2013. Disponível em:

<http://www.theguardian.com/environment/2013/>. Acesso em: 20 dez de 2016.

SILVA, A. L.; LIMA, B. M.; SIMÃO, L. N. Neodesenvolvimentismo: “uma velha roupa colorida?” Uma análise crítica das políticas sociais para as cidades. **Ser Social**, v. 16, n. 35, p. 354-376, jul-dez 2014.

SORENSEN, K. M.; FISHER, W. L.; ZALE, A. V. Turbine passage of juvenile and adult fish at a Warmwater Hydroelectric facility in Northeastern Oklahoma: monitoring associated with relicensing. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 18, p. 124-136, 1998.

STEPHENSON, J. R.; GINGERICH, A. J.; BROWN, R. S. PFLUGRATH, B. D.; DENG, Z. D.; CARLSON, T. J.; LANGESLAY, M. J.; AHMANN, M. L.; JOHNSON, R. L.; SEABURG, A. G. Assessing barotrauma in neutrally and negatively buoyant juvenile salmonids exposed

to simulated hydro-turbine passage using a mobile aquatic barotrauma laboratory. **Fisheries Research**, v. 106, p. 271-278, 2010.

SVENSSON, B. S. Hydropower and instream flow requirements for fish in Sweden. **Fisheries Management and Ecology**, v. 7, p. 145-155, 2000.

TRUSSART, S.; MESSIER, D.; ROQUET, V.; AKI, S. Hydropower Projects: a review of most effective mitigation measures. **Energy Policy**, v. 30, p. 1251–1259, 2002.

WILLIAMS, J. G. Mitigating the effects of high-head dams on the Columbia River, USA: experience from the trenches. **Hydrobiologia**, v. 609, p. 241-251, 2008.

WINEMILLER, K. O.; et al. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, issue 6269, p. 128-129, 2016.

WIŚNIEWOLSKI, W. Hydroelectric facilities and fish. **Archives of Polish Fisheries**, v. 16, p. 203-212, 2008.

XIAO-LI, F.; DAN, L.; XIAO-FENG, Z. Simulations of the three-dimensional total dissolved gas saturation downstream of spillways under unsteady conditions. **Journal of Hydrodynamics**, v. 22, p. 598-604, 2010.