



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

ADRIANO DOS GUIMARÃES DE CARVALHO

**INJÚRIAS E MORTE DE PEIXES EM HIDRELÉTRICAS
ESTUDO DAS USINAS DE PEIXE ANGICAL, LUÍS EDUARDO MAGALHÃES E
ESTREITO**

**PALMAS (TO)
2019**

ADRIANO DOS GUIMARÃES DE CARVALHO

INJÚRIAS E MORTE DE PEIXES EM HIDRELÉTRICAS
ESTUDO DAS USINAS DE PEIXE ANGICAL, LUÍS EDUARDO MAGALHÃES E
ESTREITO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente da Fundação Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente.

Orientadora: Dr^a Elineide Eugênio Marques

PALMAS (TO)
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- C331i Carvalho, Adriano dos Guimarães de.
Injúrias e Morte de Peixes em Hidrelétricas: estudo das usinas de Peixe Angical, Luis Eduardo Magalhães e Estreito. / Adriano dos Guimarães de Carvalho. – Palmas, TO, 2019.
138 f.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciências do Ambiente, 2019.
Orientador: Elneide Eugênio Marques
1. Morte de ictiofauna. 2. Hidrelétricas. 3. Turbinas. 4. Vertedouros. I.
Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).


ADRIANO DOS GUIMARÃES DE CARVALHO

INJÚRIAS E MORTE DE PEIXES EM HIDRELÉTRICAS
ESTUDO DAS USINAS DE PEIXE ANGICAL, LUÍS EDUARDO MAGALHÃES E
ESTREITO


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, avaliada para a obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca examinadora.

Data de Aprovação 29 / 05 / 2019

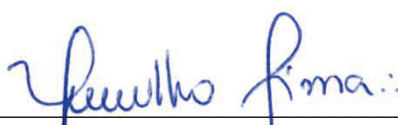
Banca examinadora:



Prof. Dra. Elineide Eugênio Marques, Orientadora - UFT



Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza – Examinador, UFT



Prof. Dr. Elton Carvalho de Lima – Examinador, UFT



Prof. Dr. Flávio Roldão de Carvalho Lelis – Examinador, IFG



Prof. Dr. Leandro Fernandes Celestino – Examinador, UNIOESTE

Dedico este trabalho a Mauro e Eimar, ambos professores que dedicaram grande parte de suas vidas a promover a formação e educação de milhares de alunos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela sabedoria, por vencer as dificuldades e pela perseverança para a elaboração deste trabalho. Nos momentos difíceis, a ajuda do grande arquiteto do universo é crucial para apontar caminhos a serem trilhados visando atingir seus objetivos.

Agradeço também a minha orientadora, Elineide Eugênio Marques, na qual me auxiliou no desenvolvimento deste estudo, me encorajou a superar as dificuldades encontradas, e acreditou no meu trabalho.

Agradeço as importantes contribuições dos professores Elton Carvalho de Lima e Cláudio de Castro Monteiro.

Gostaria de demonstrar também gratidão a minha esposa e meu filho pela compreensão, paciência, e também por me motivar a continuar minha capacitação profissional.

Aos meus pais, Mauro e Eimar, pelos valores a mim repassados ao longo dos anos durante minha formação/educação. Em especial as orações realizadas pela minha mãe com o pedido de proteção, força, sabedoria, e também a todos os demais familiares que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos que sempre me apoiaram nos diversos estudos realizados e também aos meus colegas de trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Tocantins, aos professores do programa de Doutorado em Ciências do Ambiente e professores de outros programas de graduação e Pós-Graduação que contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal do Tocantins pelo afastamento para capacitação e pela concessão de bolsa de doutorado.

RESUMO

Ao longo do período de funcionamento das usinas hidrelétricas (UHEs) existentes na bacia do rio Tocantins, foram documentados alguns eventos de mortandade de ictiofauna. Moradores ribeirinhos observam todos os dias, carcaças de animais mortos nas margens do rio. Neste sentido, este trabalho visa identificar elementos que possam contribuir para a mitigação de injúrias e morte de peixes em UHEs, a partir de uma análise das condições existentes em Peixe Angical (PEA), Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Estreito (EST). Durante a pesquisa, observou-se grande deficiência no detalhamento das informações relativas aos animais mortos resgatados, inexistências de abordagens para fins de avaliação do risco de episódios de morte em casos da realização de manobras, ausência de estudos que visem esmiuçar características da contribuição acústica de equipamentos da usina no comportamento da ictiofauna. Para tanto, foi proposto um protocolo de resgate, uma avaliação de risco e apresentada a paisagem acústica advinda do funcionamento das turbinas e vertedouros de LEM.

Palavras-chave: Hidrelétricas. Morte de Ictiofauna. Turbinas. Vertedouros.

ABSTRACT

Along the period of operation of the hydroelectric power plants (HPPs) existing in the Tocantins river basin, some events of ichthyofauna mortality were documented. River dwellers watch every day, carcasses of dead animals on the banks of the river. In this sense, this work aims to identify elements that may contribute to the mitigation of fish injuries and death in HPPs, based on an analysis of the conditions in Peixe Angical (PEA), Luís Eduardo Magalhães (LEM) and Estreito (EST). During the research, there was a great deficiency in the detailing of the information on the rescued dead animals, the lack of approaches for the evaluation of the risk of death episodes in cases of maneuvering, and the absence of studies aiming to analyze characteristics of the acoustic contribution of plant equipments in the ichthyofauna behavior. For this purpose, a rescue protocol was proposed, a risk assessment and the acoustic landscape resulting from the operation of LEM turbines and spillways was presented.

Keywords: *Hydropower. Ichthyofauna Death. Turbines. Spillways.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Correlações mais fortes entre revistas (círculo) e coleções (quadrado).....	28
Figura 2 - Correlações entre as IPs e os corpos hídricos.....	32
Figura 3 - UHE's operacionais, em construção e previstas.....	40
Figura 4 - Riscos submetidos aos peixes na passagem pela casa de força.....	47
Figura 5 – Principais elementos da UHE de Tucuruí.....	51
Figura 6 – Principais elementos do circuito de geração.....	53
Figura 7 – Principais elementos da tomada d'água.....	54
Figura 8 – Canal de baixa pressão.....	54
Figura 9 – Conduitos forçados.....	55
Figura 10 – Chaminé de equilíbrio da PCH de Nova Fátima.....	55
Figura 11 – Casa de força da UHE de Estreito.....	56
Figura 12 – Gráfico indicativo para escolha de turbinas.....	57
Figura 13 – Turbina <i>Pelton</i>	58
Figura 14 – Turbina <i>Francis</i>	59
Figura 15 – Turbina <i>Kaplan</i>	60
Figura 16 – Turbina <i>Bulbo</i>	61
Figura 17 – Turbina <i>Kaplan Minimum Gap Runner (MGR)</i>	62
Figura 18 – Detalhe do tubo de sucção e canal de fuga.....	63
Figura 19 – Vertedouro tipo comporta.....	64
Figura 20 – Tipos de vertedouros.....	64
Figura 21 – Vertedouro de fundo.....	65
Figura 22 - Aproveitamento Hidrelétrico de Peixe Angical.....	68
Figura 23 - Aproveitamento Hidrelétrico de Luís Eduardo Magalhães.....	69
Figura 24 - Aproveitamento Hidrelétrico de Estreito.....	69
Figura 25 – Características do vertedouro da UHE de Estreito.....	73
Figura 26 – Pedral à jusante dos vertedouros da UHE LEM.....	75
Figura 27 – Dique à direita e pedral remanescente à esquerda.....	77
Figura 28 – Canal de restituição da UHE de Jaguará.....	77
Figura 29 – Desvio na entrada da tomada d'água de UHE.....	90
Figura 30 – Fluxograma com proposição do procedimento de resgate de ictiofauna.....	98
Gráfico 1 - Oferta de energia elétrica no Brasil.....	18
Gráfico 2 – Frequência de artigos nas bases de dados/coleções.....	27

Gráfico 3 – Periódicos preferidos para publicações de artigos relacionados ao tema.....	27
Gráfico 4 – Evolução das publicações no mundo.....	29
Gráfico 5 - Distribuição geográfica das publicações.....	30
Gráfico 6 - Tendências de estudos realizados entre 1997 e 2017.....	33
Gráfico 7 - Frequência dos processos de mitigação tratados nos artigos	35
Gráfico 8 – Entidades que financiaram as pesquisas avaliadas.....	37
Gráfico 9 – Cenário investigado: vertedouro fechado.....	109
Gráfico 10 – Vazão total registrada nas turbinas de LEM.	111
Gráfico 11 – Espectrograma, SPL e PSD.	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos vertedouros das UHEs de PEA, LEM e EST.....	70
Tabela 2 – Características da casa de força das UHEs de PEA, LEM e EST	82

LISTA DE SIGLAS

AAE – Avaliação de Impacto Ambiental, Social, Saúde e Segurança, Patrimoniais e Culturais
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ACI – *Abitibi Consolidated Inc.*
ACADIAU – *Acadia University*
AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
AMC – Análise Multicritério
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
APP – Aplicativo
AUC – Avaliação do Ciclo de Vida da Usina
ARIER – *Arthur Rylah Institute for Environmental Research*
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CARLETON – *Carleton University*
CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CESTE – Consórcio Estreito Energia
CE – Comporta de Emergência
CFD – Dinâmica Computacional dos Fluidos
CHALMERS – *Chalmers University of Technology*
CJ – Comporta de Jusante
CM – Comporta de Montante
CRIFC – *Columbia River Inter-Tribal Fish Commission*
DALHOUSIE – *Dalhousie University*
DEAKIN – *Deakin University*
DOE – *US Department of Energy*
DURHAM – *Durham University*
EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A.
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EST – Estreito
EUA – Estados Unidos da América

FAB – *Fiskevårdsteknik AB*
FERC – *Federal Energy Regulatory Commission*
FOC – *Fisheries and Oceans Canada*
GW – Gigawatt
GWH – Gigawatt hora
H – Altura da Queda
H₀ – Carga de projeto
HHEC – *HydroChina Huadong Engineering Corporation*
HPP – *Hydroelectric Power Plant*
HYSC – *Hydroscience & Engineering*
Hz – Hertz
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICOLD – *International Commission on Large Dams*
IDE – *Integrated Development Environment*
IFC – *International Finance Corporate*
IHA – *International Hydropower Association*
INMET – Instituto Nacional de Metrologia
IP – Instituto de Pesquisa
IPC – *Idaho Power Company*
KARLSTAD – *Karlstad University*
KHz – Quilohertz
KW – Quilowatt
LARRC – *Living Aquatic Resources Research Centre*
LEM – Luís Eduardo Magalhães
LGL – *LGL Ltd*
LOW – *Lotek Wireless*
LULEÄ – *Luleä University of Technology*
MA – Estado do Maranhão
MACQUARIE – *Macquarie University*
MGR – *Minimum Gap Runner*
MMAB – *Marine Monitoring AB*
MW – Megawatt
NASS – *Normandeau Associates Inc.*
NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins

NFIC – *Narrandera Fisheries Centre*
NFSC – *Northwest Fisheries Science Center*
NLA – Núcleo de Licenciamento Ambiental
NTU – Unidade nefelométrica de turbidez
NUIR – *National University of Ireland*
NULAOS – *National University of Laos*
OAKC – *Oakwood Consulting*
OD – Oxigênio dissolvido
OKSTATE – *Oklahoma State University*
ONGs – Organizações não governamentais
ONS – Operador Nacional do Sistema
P – Altura de crista na elevação da barragem
Pa – Pascal
PEA – Peixe Angical
PNNL – *Pacific Northwest National Laboratory*
POC – Plano de operação das comportas
POTo – *Politecnico di Torino*
PSD – Densidade espectral de energia
PSFI – *Port Stephens Fisheries Institute*
PUDCC – *Public Utility District No. 1 of Chelan County*
PUDDC – *Public Utility District No. 1 of Douglas County*
PUDGC – *Public Utility District No. 2 of Grant County*
S – South
SFU – *Simon Fraser University*
SO – Sistema operacional
SOUTHAMPTON – *University of Southampton*
SPL – Nível de pressão sonora
SU – *Stockholm University*
TD – Tomada d'água
TO – Estado do Tocantins
TS – Tubo de sucção
TWh – Terawatt hora
UALBERTA – *University of Alberta*
UBC – *University of British Columbia*

UF – Universidade da Flórida

UG – Unidade geradora

UHE – Usina hidrelétrica

UIDAHO – *University of Idaho*

UIOWA – *University of Iowa*

USACE – *US Army Corps of Engineers*

USGS – *United States Geological Survey*

UU – *Uppsala University*

UW – *University of Washington*

UWATERLOO – *University of Waterloo*

W – West

WCD – *The World Commission on Dams*

WEB APP – Aplicativos desenvolvidos para a WEB

WHPU – *Wuhan Polytechnic University*

ZJU – *Zhejiang University*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	18
CAPÍTULO I – META-SÍNTESE DE PESQUISAS CIENTÍFICAS PUBLICADAS EM PERIÓDICOS	23
1.1 INTRODUÇÃO	23
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS	24
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
1.4 CONCLUSÕES	38
CAPÍTULO II - BOAS PRÁTICAS NA CONSTRUÇÃO DE UHEs, A ICTIOFAUNA DO RIO TOCANTINS E IMPACTOS DAS USINAS	40
2.1 INTRODUÇÃO	40
2.2 BOAS PRÁTICAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UHEs.....	41
2.3 RIO TOCANTINS E SUA ICTIOFAUNA	42
2.4 IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DE UHEs NA ICTIOFAUNA.....	45
2.5 CONCLUSÕES	48
CAPÍTULO III - CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E SEUS COMPONENTES	50
3.1 INTRODUÇÃO	50
3.2 COMPONENTES	50
3.2.1 Caminho da água para produção de energia	52
3.2.2 Vertedouros.....	63
3.3 CONCLUSÕES	65
CAPÍTULO IV - MORTE DE PEIXES EM VERTEDOUROS: estudo de caso em Luís Eduardo Magalhães, Peixe Angical e Estreito	67
4.1 INTRODUÇÃO	67
4.2 METODOLOGIA	68
4.2.1 Características dos Empreendimentos	68
4.3 MORTES DE PEIXES REGISTRADAS EM DOCUMENTOS OFICIAIS	71
4.4 DISCUSSÕES	72
4.5 CONCLUSÕES	78
CAPÍTULO V - MORTE DE PEIXES EM TURBINAS: estudo de caso em Peixe Angical, Luís Eduardo Magalhães e Estreito	80

5.1	INTRODUÇÃO	80
5.2	EMPREENHIMENTOS ESTUDADOS	81
5.3	METODOLOGIA APLICADA.....	83
5.4	MORTE DE PEIXES A PARTIR DE DOCUMENTOS OFICIAIS	84
5.5	DISCUSSÕES	85
5.6	CONCLUSÕES	93
CAPÍTULO VI - OTIMIZANDO TÉCNICAS DE RESGATE E ANÁLISE DE RISCO PARA MORTE DE ICTIOFAUNA EM UHEs		95
6.1	INTRODUÇÃO	95
6.2	MORTE DE PEIXES À JUSANTE DE LEM	96
6.3	PROTOCOLO PARA O RESGATE DE ICTIOFAUNA	98
6.4	MATERIAIS E MÉTODOS	99
6.5	ANÁLISE DE RISCO	101
6.6	CONCLUSÕES	103
CAPÍTULO VII - ACÚSTICA SUBAQUÁTICA EM LUÍS EDUARDO MAGALHÃES		
105		
7.1	INTRODUÇÃO	105
7.2	METODOLOGIA.....	107
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	109
7.4	CONCLUSÕES	113
CAPÍTULO VIII - O CONTRAPONTO ENTRE SUSTENTABILIDADE E A CONSTRUÇÃO DE HIDRELÉTRICAS.....		115
8.1	INTRODUÇÃO	115
8.2	DISCUSSÕES	116
CONCLUSÕES GERAIS		121
REFERÊNCIAS GERAIS		124

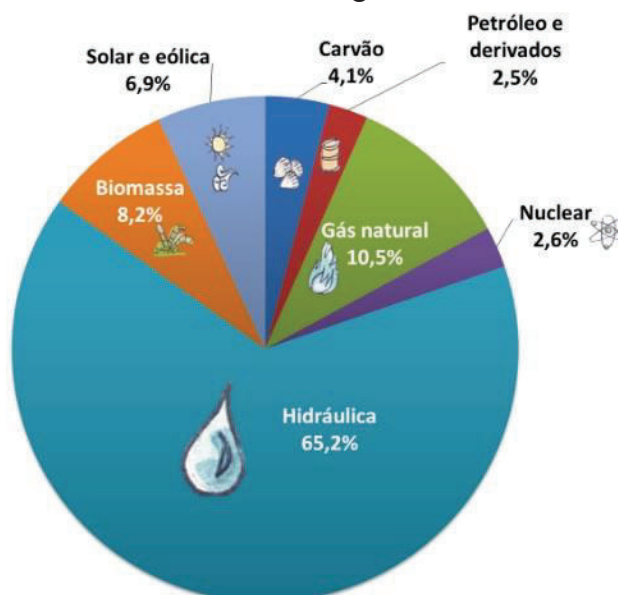
INTRODUÇÃO GERAL

A energia elétrica tornou-se um bem indispensável e valioso. A utilização da eletricidade tem alavancado o consumo e o desenvolvimento tecnológico em diversos países do mundo, sendo neste momento, um instrumento que garante uma série de facilidades para a sociedade do século XXI.

Apesar dos avanços na produção de energia, questões são postas na agenda política pública diante do custo-benefício decorrente dos métodos de geração desse recurso e sua utilização para atingir níveis de desenvolvimento nas quais possibilitem atender as demandas internas do país.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão vinculado ao Ministério das Minas e Energia (MME), destaca que, no Brasil, o consumo total de energia (petróleo, gás natural, energia elétrica, carvão mineral, energia eólica, biodiesel e produtos da cana) cresceu mais de 30% em pouco menos de uma década (BRASIL, 2015). Ainda segundo a EPE, apesar de existir uma diversidade dos meios de produção de eletricidade, e, baseado nas políticas públicas estabelecidas pelo governo brasileiro, a matriz energética está focada principalmente na hidroeletricidade, vide Gráfico 1.

Gráfico 1 - Oferta de energia elétrica no Brasil



Fonte: Brasil, 2018.

A recessão econômica em que o Brasil se encontra desde o fim de 2014, tem provocado uma retração geral, o que se reflete no consumo energético. Tal fato promoveu uma redução de

1,85% no consumo de eletricidade entre os anos de 2014 e 2015. Em 2014, o consumo total foi de 532,6 TWh e em 2015, de 522,8 TWh. Apesar disso, as previsões para o futuro são de aumento de demanda (BRASIL, 2016).

Neste sentido, obras de infraestrutura elétrica estão sendo executadas em diversas regiões do país. Observa-se neste momento, a implantação de algumas e previsão de várias dezenas destes grandes empreendimentos hidrelétricos a serem instalados, principalmente na região Amazônica, tendo incorporado no discurso a sustentabilidade como matriz norteadora para o desenvolvimento da Amazônia Legal, através da produção de energia (FEARNSIDE, 2014).

Porém, segundo Lima *et al.* (2005, p. 50), trata-se de empreendimentos de orientação lucrativa que:

[...] visam a acumulação do capital, o que no meio rural amazônico implica na expansão constante das frentes pioneiras ou a transformação da paisagem florestal para instalar empreendimentos capitalistas, a exemplo da construção de hidrelétricas como a Usina Hidrelétrica de Belo Monte.

Ainda segundo Silva *et al.* (2014, p. 364), a política macroeconômica priorizada pelo Governo Brasileiro, definida pela “criação de megaempreendimentos, financiamento público, parcerias público-privadas e programas de transferência de renda”, tem como objetivo exclusivo promover a acumulação do capital.

Os princípios norteadores para novas usinas devem estar balizados em métodos de produção que promovam pouca agressão ao meio ambiente, ou melhor, que minimizem seus impactos socioambientais e maximizem aspectos econômicos. O que se tem notado é que a construção de empreendimentos hidrelétricos tem proporcionado uma série de conflitos, tanto na sua implantação, como também durante o seu funcionamento, principalmente aqueles vinculados à conservação e preservação socioambiental.

Ao participar de um projeto de pesquisa que visava, entre outros objetivos, verificar a eficácia do uso da escada de peixes de LEM quando de situações pré-estabelecidas, acabei por observar algumas citações sobre a recorrência de eventos de morte de ictiofauna em usinas. Além disso, foi notada determinada restrição das informações relativas ao tema, por parte dos responsáveis pela gestão de UHEs.

Posteriormente, investigações mais aprofundadas já para a elaboração deste trabalho confirmaram vários episódios de mortalidade de peixes em diversas usinas hidrelétricas (UHEs) espalhadas pelo país. Nas bacias hidrográficas do Brasil, observa-se algumas pesquisas sobre o assunto (AGOSTINHO *et al.*, 2007a; 2007b; MANYARI *et al.*, 2007).

Existem também estudos sobre a questão nos Estados Unidos (MARCH *et al.*, 1999; NEITZEL *et al.*, 2004; DENG *et al.*, 2010), no Canadá (TRUSSART *et al.*, 2002; KATOPODIS *et al.*, 2012), na Europa (KLIMPT *et al.*, 2002) e na China (HUANG *et al.*, 2015).

Excetuando-se Agostinho *et al.* (2007a) e Manyari *et al.* (2007), grande parte das pesquisas realizadas referem-se à habitats e ictiofauna característicos de regiões completamente divergentes da realidade brasileira, algumas delas apresentando biodiversidade de peixes de poucas espécies.

Algumas soluções foram implementadas no hemisfério norte visando mitigar a morte de ictiofauna em usinas. Entretanto, não é satisfatório apenas se replicar tais metodologias em biomas aquáticos com características completamente diversas daquelas para os quais foram projetadas (como por exemplo no Brasil).

Antes de se propor técnicas de mitigação deve-se investigar o comportamento da ictiofauna em questão (rios amazônicos, por exemplo), quando da instalação destes empreendimentos. Neste sentido, alguns questionamentos iniciais devem ser postulados. O que mudou quando da implantação destas usinas? Quais os principais riscos? Como irá funcionar a usina? Por onde ocorrerá a migração? Que animais estariam em risco? Como fazer o monitoramento? Como medir os riscos de morte de ictiofauna?

Visando cooperar com o diálogo entre as áreas interdisciplinares e com a minimização dos problemas gerados pela construção de UHEs foi realizada uma análise dos projetos e procedimentos operacionais de três usinas hidrelétricas (UHEs) instaladas na bacia do rio Tocantins (Peixe Angical, Luís Eduardo Magalhães e Estreito), com viés de apoiar a redução da ocorrência de injúrias e morte de peixes provenientes de sua passagem através dos elementos que compõem a geração de energia (casa de força) e dos vertedouros.

Na casa de força, os principais parâmetros analisados foram características do canal de adução, dispositivos de proteção que previnem a entrada de objetos na tomada d'água, elementos do distribuidor, altura de queda, número de pás da turbina, velocidade de rotação, atributos de rugosidade das paredes e gradientes de pressão.

Nos vertedouros observou-se propriedades do perfil de escoamento, das comportas, da bacia de dissipação, do ressalto hidráulico, níveis da água de jusante, padrões de funcionamento para verter a água e padrões do perfil da calha do rio à jusante.

A análise comparativa dos elementos permitiu elencar aspectos positivos e negativos, e desta forma, colaborar para o aprimoramento das técnicas de elaboração de projetos para a construção de novas usinas com elementos estruturais mais “amigáveis”, e também quanto aos procedimentos operacionais mais adequados à passagem dos peixes.

A replicação de técnicas de mitigação já utilizadas em outros empreendimentos, ou ainda, o desenvolvimento de novas práticas, devem estar condicionadas a um diagnóstico do histórico de observações do comportamento dos animais nas imediações da usina, e de informações coletadas em episódios de morte de peixes que porventura tenham ocorrido no passado. Tais elementos poderiam contribuir para a busca de soluções sustentáveis de forma a minimizar eventos de morte de ictiofauna em UHEs.

Dentre os objetivos aqui sugeridos ressalta-se uma proposta de protocolo visando permitir um aperfeiçoamento das técnicas de resgate de animais mortos, garantindo assim o registro e um melhor detalhamento de informações relevantes para orientar os empreendedores e pesquisadores na busca de soluções de mitigação de mortes de ictiofauna.

Além disso, pretende-se orientar os responsáveis pela operação das usinas, para se evitar a morte de peixes, por meio de uma avaliação do risco, antes da realização de manobras. Desta forma, a operação poderá avaliar os riscos inerentes ao funcionamento da hidrelétrica, e, se for o caso, postergar alterações na geração ou vertimento.

De forma a contribuir para se identificar características específicas no comportamento da ictiofauna nas imediações de uma UHE, foi realizado um estudo para a determinação da paisagem acústica, considerando cenários diversos no funcionamento da usina de Luís Eduardo Magalhães. Tais informações poderiam subsidiar estudos futuros de forma a contribuir para um melhor entendimento da influência da acústica, na conduta da ictiofauna nas proximidades do barramento.

Quanto à organização da tese tem-se no capítulo I a realização de uma meta-síntese sobre a mitigação de injúrias e mortalidade de peixes quando da passagem através de turbinas e vertedouros. Foi realizada a busca de artigos científicos no metabuscador da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Este capítulo visa à identificação de possíveis lacunas de pesquisa sobre o tema proposto.

No capítulo II são apresentadas as sugestões de boas práticas que têm por objetivo orientar empreendedores na construção de empreendimentos hidrelétricos. As medidas foram elaboradas pela Comissão Mundial de Barragens (*WCD* – sigla em inglês), a Associação Internacional de Hidrelétricas (*IHA* – sigla em inglês), a Corporação Financeira Internacional (*IFC* – sigla em inglês) e o Banco Mundial. Tais propostas visam garantir que a implantação de barragens seja considerada, segundo as entidades, menos impactantes. Além disso, abordou-se a ictiofauna presente no rio Tocantins e os principais impactos causados pela construção de usinas hidrelétricas nestes animais.

No capítulo III destacam-se alguns dos principais componentes e dispositivos de hidrelétricas, principalmente aqueles relativos à casa de força e vertedouros. As características mais importantes são apresentadas de forma a subsidiar um melhor entendimento dos capítulos seguintes.

No capítulo IV foi desenvolvido um estudo nas usinas de Peixe Angical (PEA), Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Estreito (EST) na região dos vertedouros. Destaca-se um levantamento de mortandade registradas em órgãos ambientais para a LEM. São propostas alterações de projeto e no perfil da entrada dos vertedouros e bacia de dissipação.

No capítulo V foi avaliado o circuito da casa de força das três usinas considerando as características particulares de cada uma. Foram propostas melhorias de projeto, dispositivos e operação visando a mitigação de injúrias e morte de peixes nos empreendimentos.

No capítulo VI propõem-se um protocolo para o resgate de animais mortos e uma análise de risco antes da realização de manobras. O protocolo tem por objetivo proporcionar a construção de um banco de dados com informações detalhadas do resgate de peixes mortos. A análise de risco permitiria a avaliação do risco de morte de animais no caso da realização de manobras na usina. Ambos foram transcritos para linguagem de programação, visando sua utilização em celulares e *tablets*.

No capítulo VII foi realizado um estudo da paisagem acústica de LEM considerando diferentes cenários de funcionamento da UHE.

No capítulo VIII apresentou-se uma discussão sobre o contraponto sustentabilidade e a construção de usinas. Como se promover a manutenção dos estoques de ictiofauna e produzir hidroeletricidade.

Por fim, conclui-se o trabalho, considerando as pesquisas realizadas neste estudo, com sugestões de melhorias, alterações, adaptações em elementos que podem ser considerados críticos de usinas (turbinas e vertedouros), principalmente para peixes migradores, de forma a garantir uma passagem segura a estes animais.

CAPÍTULO I – META-SÍNTESE DE PESQUISAS CIENTÍFICAS PUBLICADAS EM PERIÓDICOS¹

1.1 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 do 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 pela ANEEL (2002) indicam que os estados da região norte somados ao Maranhão 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 têm-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 e São Simão Alto (EPE, 2013).

Existem 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. Fato é que o foco de diversas nações está na política desenvolvimentista baseada desta matriz. Neste sentido é preciso 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.*,

¹ Artigo publicado na Revista CEREUS em Dezembro de 2018. DOI: 10.18605/2175-7275/cereus.v10n4p45-67. ISSN: 2175-7275. Recebido em 20/03/2018. Aceito em: 30/10/2018.

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).

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.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

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

Tal método permitirá o levantamento sistemático de uma amostra de artigos cujo tema esteja análogo ou muito semelhante ao assunto de pesquisa aqui proposto (Kirchherr *et al.*, 2016). Tal diagnóstico pode contribuir para se identificar lacunas de conhecimento sobre o tema, contribuindo 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 para se identificar as bases de dados e/ou coleções preferidas, a evolução das publicações, a distribuição geográfica das pesquisas, uma análise de correlação entre instituições de pesquisa e bacias hidrográficas, tipos de estudos realizados, processos de mitigação mais avaliados, tipos de turbinas pesquisadas e principais agentes de financiamento para os estudos.

Foi realizada uma busca de informações científicas publicadas (amostragem de artigos) em bases de dados e/ou coleções 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, encontrou-se 583 artigos, que, a partir daí, foram verificados quanto à sua pertinência ao tema proposto.

Após a análise dos artigos quanto à 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.

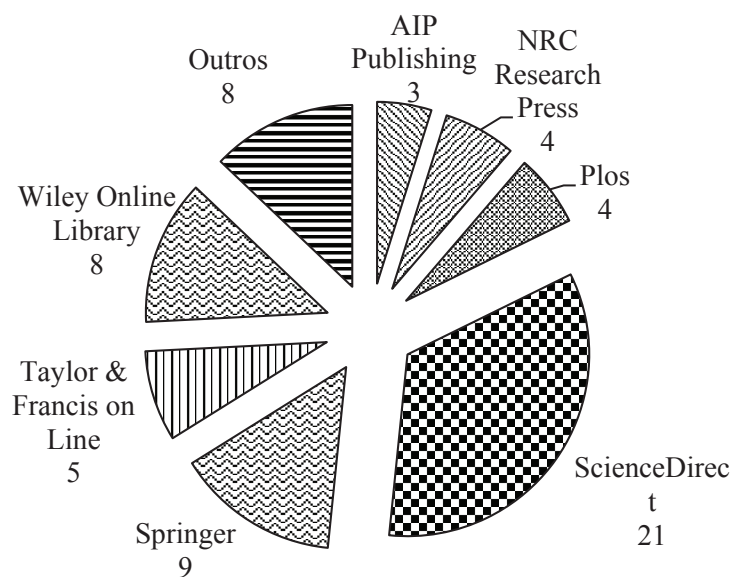
Com o objetivo de verificar a eficiência e a abrangência de conteúdo do metabuscador disponibilizado no portal da Capes, realizou-se uma busca no portal da Universidade da Flórida (UF). Impuseram-se as mesmas condições de restrição elencadas nos subitens **a**, **b**, **c** e **d** mencionados anteriormente. 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.

1.3 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 nove artigos, *Wiley Online Library* com oito e *Taylor & Francis On Line* com cinco (Gráfico 2). 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.

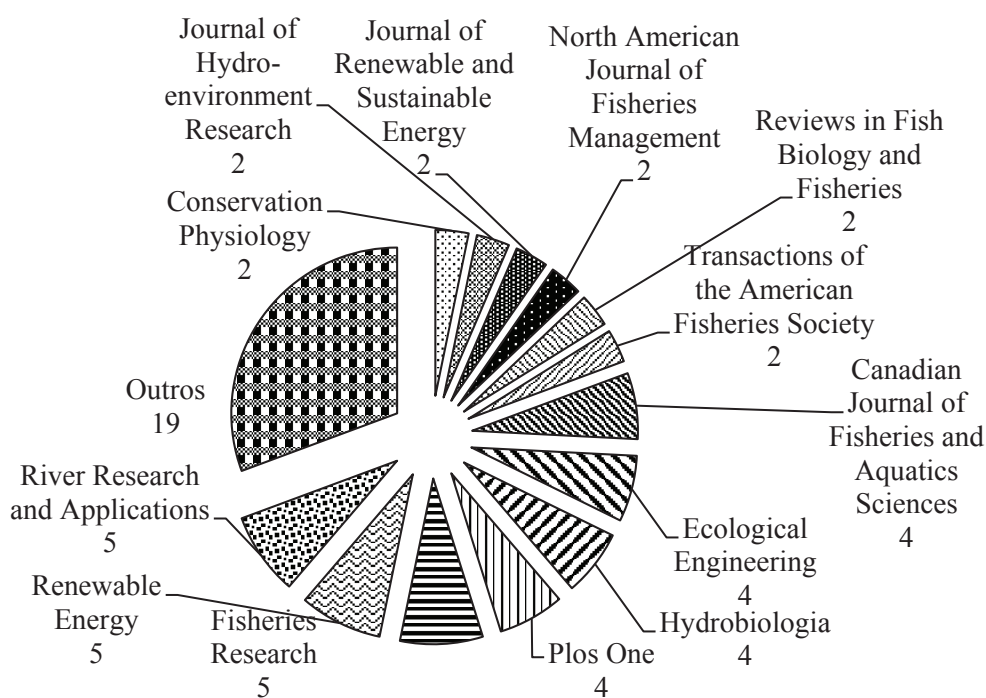
Gráfico 2 – Frequência de artigos nas bases de dados/coleções



Fonte: 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* – quatro artigos cada, ver as distribuições da frequência no Gráfico 3.

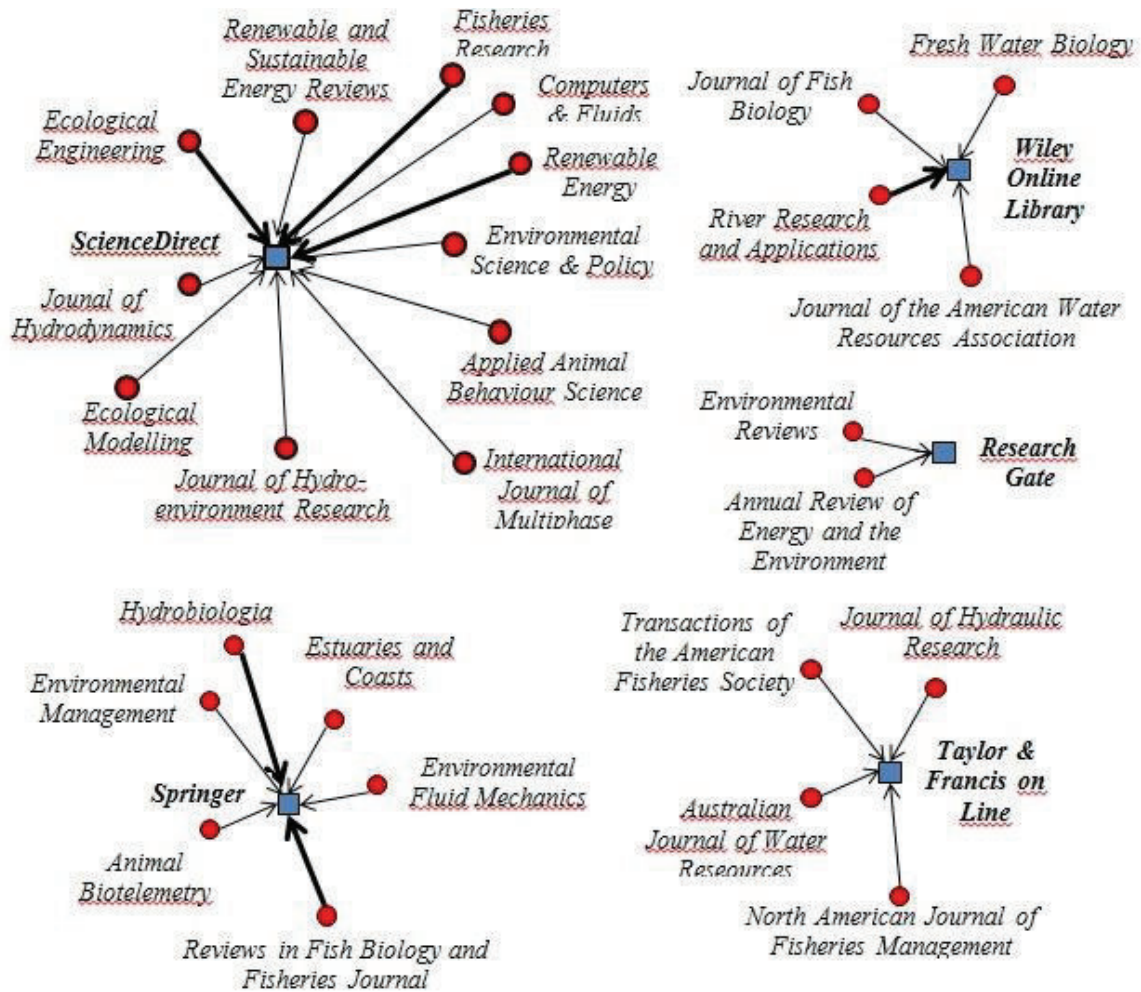
Gráfico 3 – Periódicos preferidos para publicações de artigos relacionados ao tema



Fonte: Capes, 2017.

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)



Fonte: o autor.

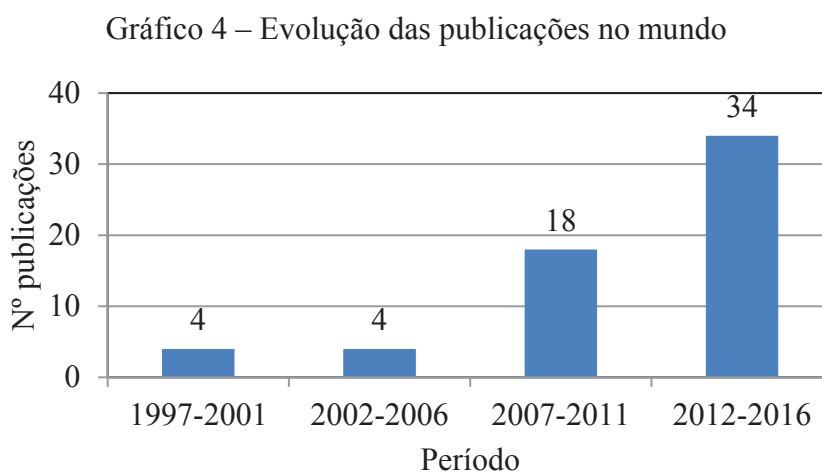
A base *ScienceDirect* apresentou forte correlação com revistas relacionadas a ecologia, sustentabilidade, modelagem, hidrodinâmica, meio ambiente e comportamento animal. A base *Springer*, com periódicos voltados ao meio ambiente, fluidomecânica, biotelemetria e biologia.

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. E a *Research Gate*, com meio ambiente e energia.

Na Figura 1, setas com linhas mais grossas indicam que foram encontrados mais de um artigo daquela revista com publicação na coleção, 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*, *NRC Research 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 4.



Fonte: o autor.

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

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

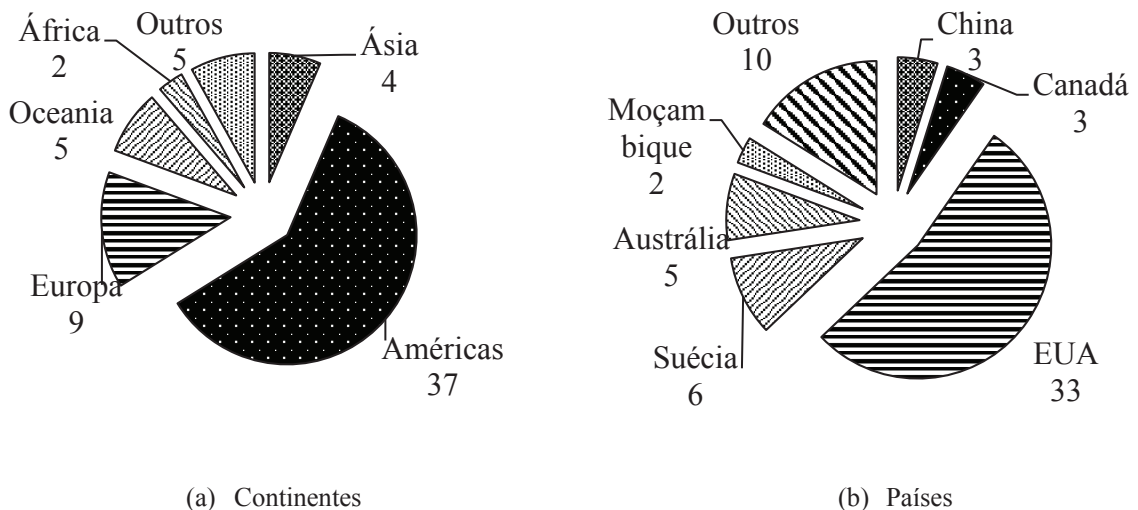
de estudos elaborado por especialistas com indicação dos efeitos diretos, indiretos e cumulativos da operação sobre os recursos, certificações para qualidade da água, compensações às comunidades ribeirinhas e indígenas e custos dos programas de mitigação.

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 em empreendimentos localizados em bacias hidrográficas do Continente Americano (37) e da Europa (9), especialmente nos Estados Unidos da América e Suécia (Gráficos 5a e 5b). 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 5 - Distribuição geográfica das publicações



Fonte: o autor.

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 viram-se 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.

A *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 três 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 quatro artigos pesquisados (Gráfico 5a).

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 5a).

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 e turbulência sobre estes animais.

As agências responsáveis pelos setores de água e energia 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).

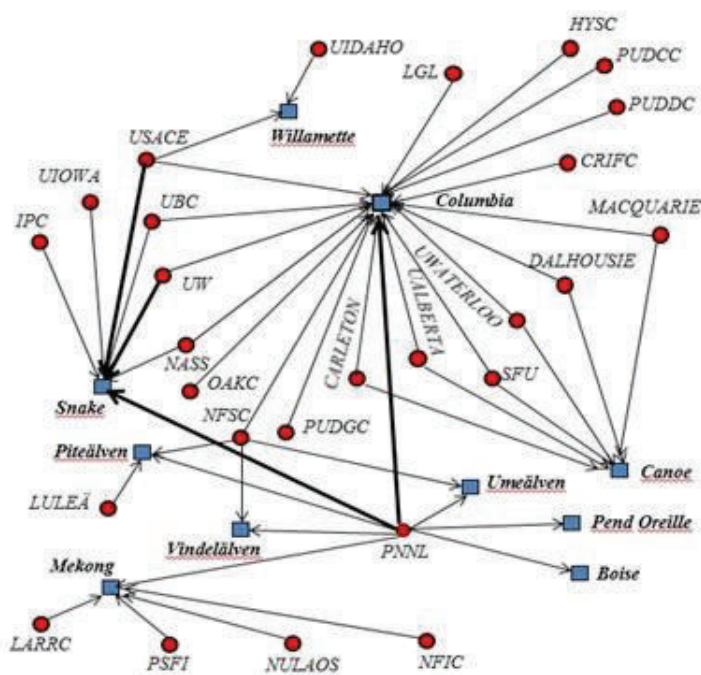
A construção destes empreendimentos sem a informação precisa de como a ictiofauna responderá quando submetida a condições adversas geradas pelas UHEs poderá provocar alterações relevantes nas populações de peixes, podendo ocasionar ainda a extinção de espécies mais vulneráveis. Este impacto afeta diretamente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

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% da geração deste modal num total de 56 usinas (NWCOUNCIL, 2014).

Diversas Instituições de Pesquisa – IPs² 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 e os corpos hídricos



Legenda: IPs – Círculo; corpos hídricos – quadrado.

Fonte: o autor.

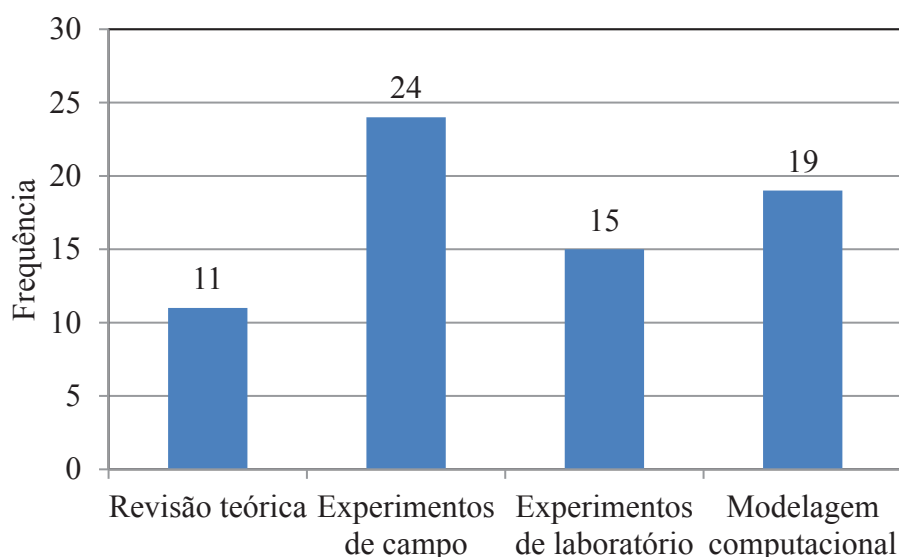
² Os nomes das IPs analisadas cujas siglas são apresentadas na Figura 2 estão disponíveis em: <https://drive.google.com/file/d/0ByZXuUZOmF86aVk0cDY0YWpKazg/view?usp=sharing>.

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* e *Pend Oreille* (Canadá), *Ätran* (Suécia) e um rio na China (Figura 2).

A preferência dos estudiosos pela realização de pesquisas do tipo experimentos de campo fica evidenciada no Gráfico 6. 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 e 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 6 - Tendências de estudos realizados entre 1997 e 2017



Fonte: o autor.

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 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; XIAOLI *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 às 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 à 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.

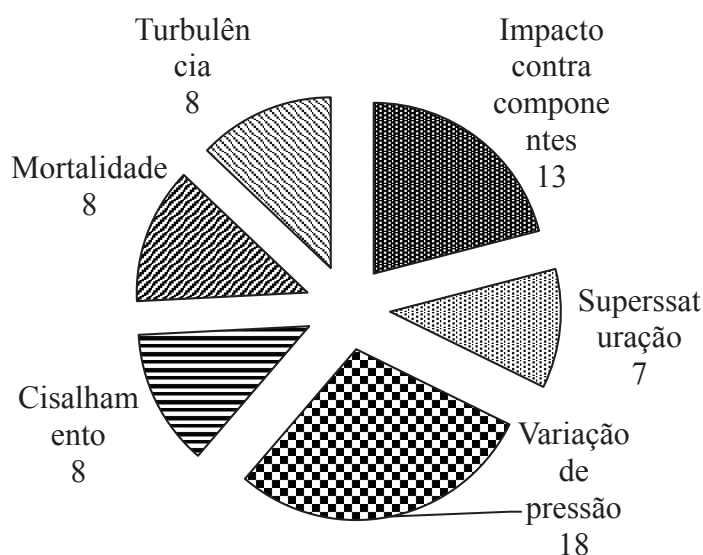
O cisalhamento ocorre por choques entre massas de água com velocidades distintas. Essa diferença pode promover nos peixes deformações no corpo, perda de muco e escamas, danos nos olhos, esmagamentos e hemorragias internas (CADA *et al.*, 1997).

Turbulências ocasionadas por movimentos caóticos do fluxo de água em escalas variadas causam turbilhões ou rodamosinhos. 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 entre 1997 e 2017. 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) – Gráfico 7.

Gráfico 7 - Frequência dos processos de mitigação tratados nos artigos



Fonte: o autor.

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. 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).

Ressalta-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 à 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 à revisão teórica, pesquisas em vertedouros, ou ainda ensaios de laboratório. Do restante, 50% diziam respeito às 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, existe 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.

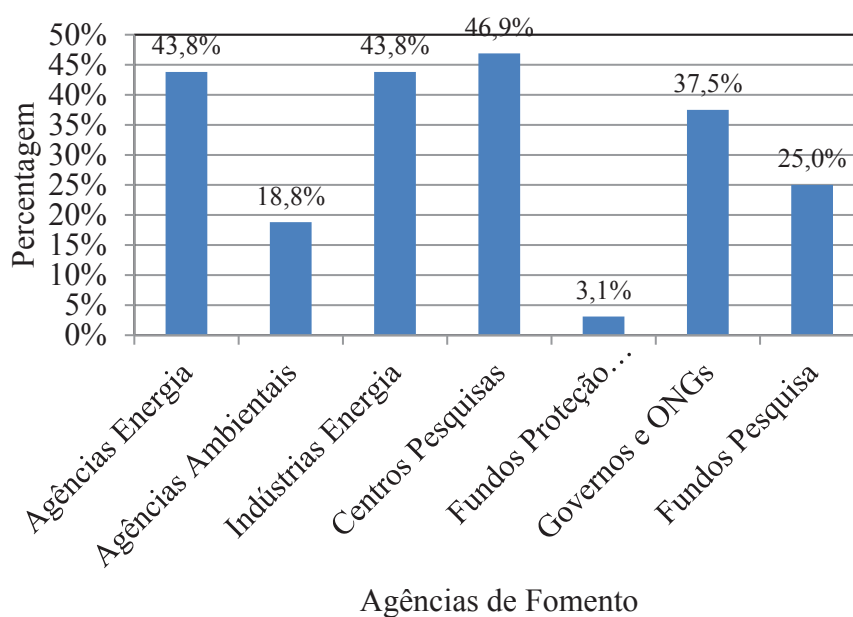
Segundo Martins *et al.* (2007) e Agostinho *et al.* (2007a) as turbinas do tipo *Francis* causam mais injúrias e mortes em peixes do que as *Kaplan*. Estas últimas possuem mais espaços entre as palhetas, permitindo, assim, uma passagem “segura” aos peixes, além de operarem em

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 do rio *Columbia*), onde, devido às características daquela bacia, utilizou-se 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 realizados 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 foram os que menos investiram nos estudos de mitigação aqui avaliados como observado no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Entidades que financiaram as pesquisas avaliadas



Fonte: o autor.

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 à sua produção. Tal fato poderá evitar que, em caso de se descobrir a existência de tal conflito de forma tardia, o leitor sinta-se enganado com sua leitura, não havendo, a partir deste momento, confiabilidade nos estudos elaborados pelo autor.

1.4 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 buscar 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 a 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, as 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?

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 Humanas, 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 sustenta uma 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”.

CAPÍTULO II - BOAS PRÁTICAS NA CONSTRUÇÃO DE UHEs, A ICTIOFAUNA DO RIO TOCANTINS E IMPACTOS DAS USINAS

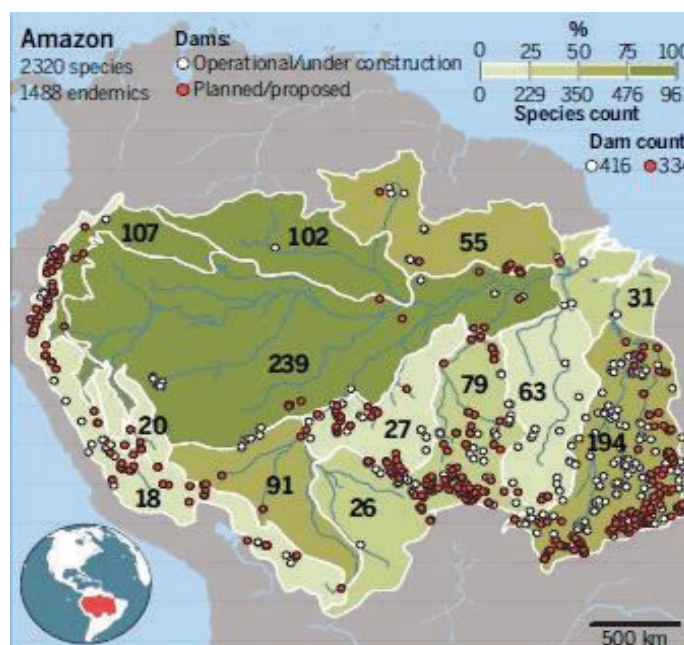
2.1 INTRODUÇÃO

É notória a crescente demanda por eletricidade no mundo, seja pelo crescimento populacional, padrões de consumo, ampliação ou construção de indústrias, expansão do comércio, setor de serviços, moradias, sistemas de irrigação, dentre outros. Dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BRASIL, 2015) preveem a necessidade de expansão na produção de energia para o período de 2016 a 2020 de 4% ao ano, ou seja, os níveis de produção de energia deverão ser ampliados de 519 TWh em 2015 para 633 TWh em 2020.

O Brasil possui grande potencial hidrelétrico ainda não explorado, principalmente na região norte, que contempla a floresta Amazônica (ANA, 2016). Os estudos de inventário para a construção de novas UHEs indicam uma tendência para a construção de dezenas de usinas para a produção de energia nesta região, o que poderá provocar graves problemas à ictiofauna de bacias hidrográficas com grande diversidade de espécies de animais.

Segundo Winemiller *et al.* (2016) a construção destas barragens (Figura 3) deverá promover acentuada redução na diversidade de peixes, impedindo principalmente espécies migratórias de completar seu ciclo de vida.

Figura 3 - UHE's operacionais, em construção e previstas



Fonte: Winemiller *et al.*, 2016.

Com esse viés de disseminação da construção de barragens numa das regiões de maior biodiversidade do mundo, os defensores do meio ambiente têm intensificado seus esforços com o intuito de se reduzir ao máximo os impactos gerados pelos grandes represamentos provocados pelas usinas (FEARNSIDE, 2014).

A implantação de barramentos nos rios vem promovendo alterações relevantes na fauna de peixes. Algumas dessas modificações são as transformações do ambiente lótico em lântico, interrupção de rotas de migração de peixes, alterações químicas e de temperatura da água, redução no nível de carreamento de sedimentos e redução de áreas de desova (AGOSTINHO *et al.*, 1997).

No Brasil, a construção de barramentos tem gerado grandes discussões e conflitos entre ribeirinhos, ecologistas, órgãos ambientais, agências de regulação, governos, ONGs, indígenas, dentre outros. É notório que para os empreendimentos já construídos, as medidas mitigadoras implantadas são insuficientes e não atendem a todos os afetados.

A minimização desta problemática deve estar balizada na introdução de boas práticas no processo de planejamento, projeto, construção e operação destas usinas. Neste sentido, serão apresentados a ictiofauna do rio Tocantins, os principais impactos nos animais gerados pela implantação de UHEs e sugestões de boas práticas que podem auxiliar os empreendedores responsáveis a minimizar os problemas advindos da construção das mesmas. Tais práticas poderão contribuir para a redução de conflitos socioambientais gerando experiências positivas que, talvez, possam ser replicadas nas novas usinas.

2.2 BOAS PRÁTICAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UHEs

A construção de hidrelétricas no mundo tem gerado uma série de desafios, principalmente aqueles voltados à mitigação dos problemas socioambientais decorrentes de sua implantação.

Visando auxiliar os empreendedores a minimizar problemas socioambientais advindos da construção de barragens, a Comissão Mundial de Barragens (*WCD* – sigla em inglês), a Associação Internacional de Hidrelétricas (*IHA* – sigla em inglês), a Corporação Financeira Internacional (*IFC* – sigla em inglês) e o Banco Mundial criaram diretrizes e protocolos, com sugestões de ações a serem seguidas. As orientações visam garantir que as implantações de barragens sejam consideradas, segundo as entidades, menos impactantes.

As diretrizes do *WCD*, por exemplo, definem categorias para um conjunto de aspectos distintos das várias etapas do projeto. Em seu relatório técnico a entidade apresenta sugestões visando à implantação de boas práticas, sendo algumas delas reproduzidas a seguir (*WCD*, 2000):

- a) identificar as partes interessadas mais vulneráveis;
- b) negociar a tomada de decisão;
- c) promover a avaliação de todos os tipos de impactos;
- d) realizar análise multicritério (AMC) para a ranquear os projetos;
- e) apresentar previsão da emissão de gases de efeito estufa;
- f) precificar os impactos socioambientais;
- g) garantir que regras de operação sejam estabelecidas com foco em preocupações socioambientais;
- h) manter a produtividade pesqueira;
- i) realizar uma análise do risco de empobrecimento;
- j) apresentar um plano de mitigação aos reassentados;
- k) promover a divisão dos benefícios do projeto;
- l) promover a redução da corrupção.

Os critérios de boas práticas para a construção de barragens devem estar alicerçados em cinco áreas principais: gestão socioambiental, avaliação e mitigação de impactos, gestão das partes envolvidas e aspectos operacionais. A adoção destes preceitos pode auxiliar na mitigação dos problemas derivados da construção de UHEs, proporcionando uma gestão transparente, integrada, participativa e, principalmente, passível de reavaliação constante.

A construção de hidrelétricas deve permitir uma melhor qualidade de vida para a população, por meio do uso racional e sustentável deste recurso. Todavia, tais empreendimentos devem estar alicerçados em processos de gestão socioambiental na fase de projeto, passando pela construção e se prolongando durante toda a vida útil da usina, minimizando assim os efeitos negativos advindos de sua implantação.

2.3 RIO TOCANTINS E SUA ICTIOFAUNA

Algumas das principais bacias do Brasil (Tocantins/Araguaia, Paraná, São Francisco e Amazônica), possuem ictiofauna como sendo uma das mais ricas do planeta (BONETTO *et al.*, 1985; GODINHO *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 1999).

A distribuição das espécies de peixes nas bacias hidrográficas é desigual, e algumas delas estão restritas a locais específicos. Neste sentido, modificações realizadas em ambientes aquáticos continentais nas últimas décadas, como por exemplo, a construção de UHEs, vem ameaçando a perpetuação de populações naturais de peixes (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

Levantamentos realizados por Reis *et al.* (2003) indicam que a ictiofauna brasileira compreende cerca de 2.300 espécies de água doce. Entretanto, observa-se a descoberta de novas espécies de peixes a cada ano, o que leva os cientistas a indagarem que a diversidade desta fauna está ainda incompleta, indicando que a sua biodiversidade deve ser ainda maior.

A grande diversidade de peixes de água doce do Brasil pode estar vinculada a fatores como o isolamento geográfico da América do Sul e também de algumas bacias de drenagem em épocas passadas. Acrescenta-se também a grande variedade de habitats como lagos, poças, riachos, corredeiras, rios e planícies inundadas (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

A bacia hidrográfica do Tocantins/Araguaia está localizada na região centro-norte do território do Brasil. Estende-se pelos estados de Goiás, Mato Grosso, Pará, Maranhão e Tocantins. Seu principal rio é o Tocantins e seu principal afluente é o rio Araguaia. Ela drena cerca de 10% do território brasileiro, sua nascente está centrada nos divisores do Planalto Central, possui uma área aproximada de 967 mil km² e seus principais biomas são a Amazônia (norte e noroeste) e o Cerrado (SCHIAVETT *et al.*, 2002).

O rio Tocantins surge da confluência dos rios Paranã e Maranhão (cota aproximada de 230 m), sendo que este último possui sua nascente localizada na serra do Paranã, região que fica a cerca de 60 km de Brasília (altitude de 1.100 m). Após um percurso total de cerca de 2.400 km, desemboca na baía de Marapatá (rio Pará), nas proximidades da cidade de Belém.

Na parte alta da bacia a vegetação é dominada por cerrado, sendo que matas de galeria e florestas de inundação com buritizais (*Mauritia flexuosa*) acompanham o curso dos rios e igarapés. Percorrendo a bacia em direção ao norte ocorre a transição do cerrado para a floresta amazônica (HALES *et al.*, 2013).

Considerada como a terceira maior sub-bacia do rio Amazonas, a bacia do Tocantins/Araguaia possui média anual de descarga de cerca de 11.000 m³/s. As suas águas são claras e não possuem muitos nutrientes, haja vista que drenam terrenos cristalinos. Na região mais alta da bacia (parte superior), existem várias cataratas e corredeiras (HALES *et al.*, 2013).

Apesar de estar localizada em uma região considerada de baixa densidade populacional, observa-se que a mesma está submetida a uma série de alterações e problemas socioambientais desencadeada por grandes corporações relacionadas à geração de energia. Dentre eles podemos

elencar a construção das usinas de Cana Brava, Serra da Mesa, São Salvador, Peixe Angical, Luís Eduardo Magalhães, Estreito e Tucuruí.

Sua ictiofauna é estimada em mais de 400 espécies descritas para toda a bacia, porém este número pode chegar a mais de 600 espécies válidas (ABELL *et al.*, 2008). As dominantes são *Characidae* (73 espécies), *Loricariidae* (39) e *Rivulidae* (32). Várias espécies de peixes são endêmicas desta região (cerca de 175), sendo as famílias com maior grau de endemismo *Characidae* (36 espécies), *Rivulidae* (30) e *Loricariidae* (26) (ALHO *et al.*, 2013).

Uma avaliação dos EIA/RIMA realizados nos estudos para a implantação das usinas de Luís Eduardo Magalhães (THEMAG, 1996), Peixe Angical (THEMAG, 2000) e Estreito (CNEC, 2001) apontam as principais espécies de peixes encontradas no rio Tocantins.

Na UHE de Luís Eduardo Magalhães os levantamentos realizados pela Themag (1996) indicaram a presença do Voador (*Hemiodus unimaculatus*), da Branquinha (*Curimata cyprinoides*), do Mandí-sardinha, do Facão, da Sardinha-colim e da Sardinha-papolargo, do Mandí (*Pimelodus maculatus*), da Bicuda (*Boulengerella maculata*), do Cará (*Astronotus ocellatus*), do Tucunaré (*Cichla spp.*), da Piabanha (*Brycon gouldingi*), do Cachorrinho (*Roeboides spp.*) e da Piranha (*Serrasalmus spp.*).

Foram identificadas as seguintes espécies migradoras: o Surubim (*Pseudoplatyatomia coruscans*), o Jaú (*Zungaro zungaro*), o Barbado (*Pinirampus pinirampu*), o Bacu (*Lithodoras dorsalis*), o Curimbatá (*Prochilodus nigricans*), o Jaraqui (*Semaprochilodus brama*) e a Ubarana (*Albula vulpes*). São peixes que podem sofrer alterações relevantes em suas populações, devido à construção de barragens (barreiras artificiais), pelo fato da necessidade de migrarem longas distâncias para a reprodução e/ou alimentação. Todavia, as espécies mais abundantes em todos os ambientes analisados foram a Piaba, o Voador, a Branquinha, o Facão e o Mandí-sardinha.

Na usina de Peixe Angical as espécies mais representativas foram a *Hypostomus cf marginatus*, *Geophagus altifrons*, *Plagioscion squamosissimus*, *Raphiodon vulpinus*, Piranha (*Serrasalmus rombheus*), Curimbatá (*Prochilodus nigricans*), Piau (*Leporinus af amblyrhynchus*), *Retroculus sp.*, Mandí (*Pimelodus blochii*), *Mylesinus paucisquamatus*, *Leporinus friderici*, Branquinhas (*Curimata cf cyprinoides*), *Hemiodus unimaculatus*.

Os levantamentos efetuados na UHE de Estreito indicaram que a ordem mais relevante em número de espécies foi a *Characiformes* (espécies rústicas de médio porte). Os animais encontrados foram Branquinhas (*Curimata cyprinoides* e *Steindachnerina amazônica*), Pacús (*Myleus torquatus*, *Myleus sp.* e *Mylossoma duriventre*), Piranhas (*Serrasalmus spp.*), Ladinhas (*Brycon brevicauda*), Sardinhas (*Triportheus*), Piabas (*Tetragonopterinae*), Cachorrinhos

(*Roeboides spp.*), Piaus (*Leporinus spp.*), Aracus (*Schizodon vittatum*). Outros peixes das famílias *Sciaenidae* e *Cichlidae* também foram encontrados, como: Pescadas, Corvinas, Tucunarés, Acarás e Acarás-bicudo.

Conforme os estudos do EIA/RIMA, os peixes iliófagos como Voadores (*Hemiodus unimaculatus*) e Branquinhas (*Steindachnerina amazonica* e *Curimata cyprinoides*), ocorrem na região da UHE de Estreito em assembleias bastante numerosas.

Os migradores observados em Estreito foram Ladina (*Brycon breviceauda*), Tubarana (*Salminus hilarii*), Curimatá (*Prochilodus nigricans*), Jaraqui (*Semaprochilodus brama*), Fidalgo (*Ageneiosus brevifilis*), Jaú (*Zungaro zungaro*), Barbado (*Pinirampus pinirampu*), Surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Chicote (*Sorubimichthys planiceps*) e Cuiú-cuiú (*Pseudodoras niger*).

As espécies mais capturadas foram *Prochilodus nigricans*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Schizodon vittatum*, *Triportheus angulatus*, *Curimata cyprinoides*, *Hemiodous unimaculatus* e *Leptodoras acipenserinus*.

Algumas espécies de peixes realizam a migração ao longo da bacia hidrográfica associado à sua reprodução. Entretanto, é possível reconhecer outras motivações para o deslocamento destes animais, como de caráter térmico ou sazonal, trófico ou nutricional e ontogenético ou de crescimento, sendo as mesmas geralmente vinculadas ao regime hidrológico (BONETTO, 1986; GOULDING *et al.*, 1996).

Considerando que os barramentos das usinas funcionam como barreiras, e impedem a movimentação dos peixes ao longo da bacia hidrográfica, as populações de peixes migradores podem sofrer redução populacional por não conseguirem completar seu ciclo natural para reprodução (subir o rio para desova).

Vale ressaltar que para Luís Eduardo Magalhães e Peixe Angical foram construídos dispositivos de transposição (escadas para peixes). Entretanto, pode-se considerar que tais elementos (configurações construtivas) foram baseados em estudos realizados para uma ictiofauna diversa daquela existente na região do Tocantins.

2.4 IMPACTOS DA CONSTRUÇÃO DE UHEs NA ICTIOFAUNA

A construção de hidrelétricas produz uma série de impactos ao meio ambiente, às populações ribeirinhas e à ictiofauna. Os problemas gerados se iniciam durante a construção e prolongam-se enquanto do funcionamento da usina, se estendendo também ao longo de toda a

bacia hidrográfica. No geral as alterações mais significativas ocorrem durante a fase de construção, todavia durante a operação, episódios de morte de peixes tem sido observado em várias usinas.

O impacto físico usual são alterações do nível de correnteza do rio, modificando a dinâmica do mesmo. Ocorre também uma completa mudança no fluxo de sedimentos e na temperatura (fundo do lago possui água mais fria). Estas modificações promovem pouca mistura na água do ambiente e favorece também a eutrofização (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

Quanto aos impactos biológicos, o principal deles ocorre devido à existência de uma barreira física, constituindo-se como um fator de isolamento entre populações que antes estavam em contato entre si. Existirão dificuldades para a piracema das espécies de peixes, afetando tanto regiões de montante quanto de jusante. Tais fatores promoverão alterações na biodiversidade da bacia, repercutindo efeitos negativos, principalmente para ribeirinhos que dependem do rio para sua subsistência.

Após a construção de uma hidrelétrica os peixes migradores se veem obrigados a fazer algumas escolhas. Para a sua migração pela transposição de uma UHE, normalmente existem três possibilidades principais: de montante à jusante, a passagem pode ser realizada através das turbinas, escadas de peixe (ou outro dispositivo de passagem) e pelos vertedouros. A migração ascendente, normalmente acontece por meio de escadas de peixes ou outros dispositivos especialmente construídos para tal fim (eclusas, elevadores, canais de passagem secundários, dentre outros). Cabe ressaltar que em todas as possibilidades os animais estarão sujeitos a ocorrência de injúrias e morte.

Segundo Halsband *et al.* (1984) e Hartley (1990), os migradores são atraídos por águas turbulentas, ou ainda a partir do fluxo da água que sugere ao peixe, o caminho a ser adotado dentro do rio. Apesar de existir uma barreira artificial para a passagem do peixe (a barragem), os mesmos podem ser atraídos para posições onde acontece o fluxo de água, tais como a turbina ou os vertedouros.

Vários fatores contribuem para a ocorrência de mortalidade, sendo que os mais importantes são o desenho dos componentes da usina, os procedimentos operacionais adotados, a natureza da ictiofauna existente no local e a abundância de peixes nas imediações, sendo esta última vinculada à época do ano.

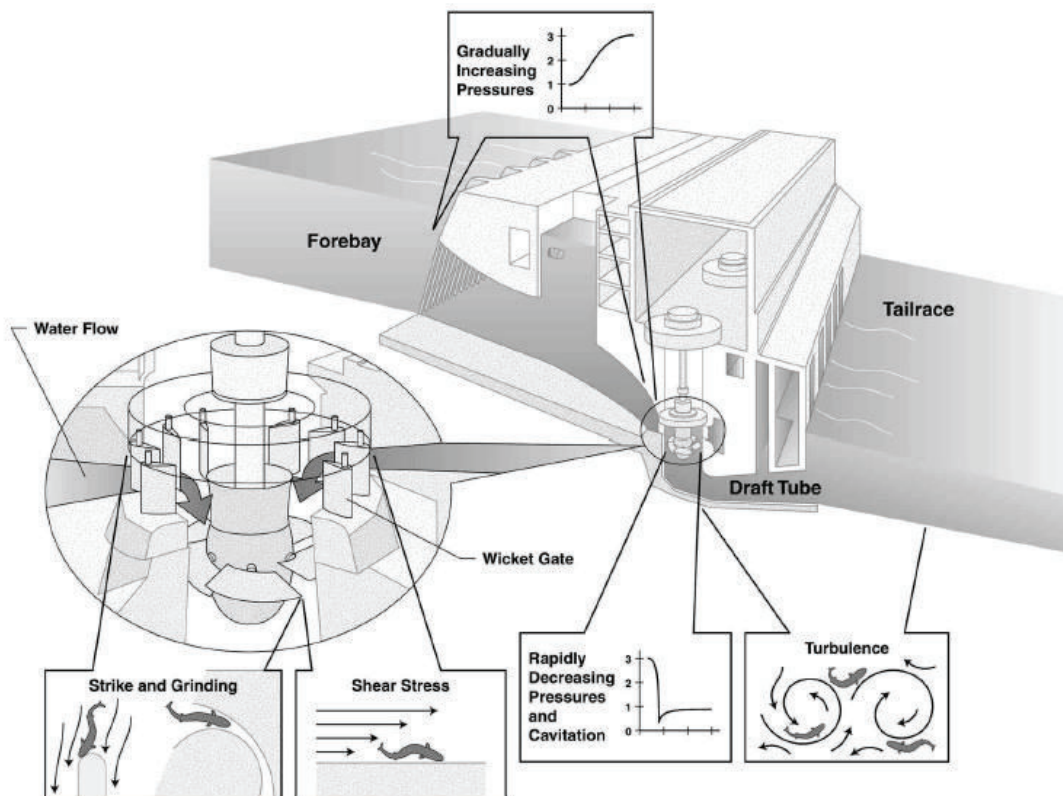
As injúrias e morte de peixes em hidrelétricas, no geral, podem ser provocadas por gradientes de pressão, cavitação, estresse cisalhante, turbulência, choques físicos e esmagamentos (CADA, 1990, 1997; PRACHEIL *et al.*, 2016).

Em relação à passagem pelas turbinas existem duas principais possibilidades de ocorrência de injúrias e morte: (i) fluxo descendente, que são os animais que migram de montante à jusante. Tratam-se de animais provenientes da tomada d'água que são forçados a passar pelas turbinas; (ii) peixes atraídos para o canal de fuga e submetidos a condições de estresse variadas (tentativa de migração ascendente através das turbinas).

As condições hidrodinâmicas durante a operação e o contato com as estruturas físicas da usina são os principais motivos da ocorrência de lesões e morte de peixes na casa de força. Este último também pode ser evidenciado em situações de parada das máquinas, nas quais os peixes são atraídos para dentro do tubo de sucção (pelo canal de fuga) ficando aprisionados (LARINIER, 1989; CADA, 1997).

Especificamente quando de sua passagem por turbinas, estes animais poderão ser submetidos a riscos tais como gradientes de pressão, cavitação, estresse cisalhante, turbulência, choques físicos e esmagamentos. Na Figura 4 consta uma síntese dos riscos em que os peixes se submetem na passagem através das turbinas.

Figura 4 - Riscos submetidos aos peixes na passagem pela casa de força



Fonte: CADA, 2001.

Agostinho *et al.* (2007a) relatam sobre a ocorrência de injúrias e mortalidade também no vertedouro, associando-as a dois fatores combinados: ao efeito de sua operação e morfologia de seu canal. Entretanto, segundo o mesmo, tem-se observado altas taxas de sobrevivência de peixes na sua passagem pelo vertedouro (de 97 a 100%).

Vertedouros projetados para verterem águas superficiais, possibilitam uma pequena probabilidade de promover distúrbios na qualidade da água à jusante. Todavia, verter a partir de camadas oxigenadas superficiais, poderá trazer problemas à qualidade da água e à sobrevivência dos peixes no reservatório, pois ocorrerá uma redução dos níveis de oxigênio dissolvido (OD) na mesma.

Considerando usinas de baixa queda (altura de coluna d'água) e dissipadores do tipo bacia de dissipação, os principais riscos na passagem pelos vertedouros estão associados principalmente à ocorrência de supersaturação gasosa na bacia de dissipação. Este fenômeno ocorre quando o ar da atmosfera é incorporado à água que desce e mergulha profundamente na bacia receptora, que, sob condições de elevada pressão hidrostática, na forma de bolhas, é conduzido à dissolução na água, elevando consideravelmente o nível de OD.

Este excesso de bolhas poderá alcançar vários órgãos no peixe, e assim provocar o surgimento de disfunções neurológicas, vasculares, respiratórias ou processos de osmorregulação. Tais gases, através de difusão, podem atingir locais chamados de nucleação microscópica, ou ainda, cavidades existentes no corpo do animal e, desta maneira, formarem bolhas. Também poderão ser observados eventos de embolismos sob a pele, causando ulcerações motivadas pela ação de micro-organismos e fungos (ABERNETHY *et al.*, 2001).

Ao passar pelo vertedouro, os peixes estarão sujeitos também às injúrias físicas que normalmente são atribuídas à fricção ou abrasão do animal com as estruturas, incluindo defletores ou dissipadores de energia (*flip lips, flip buckets*) (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

Além disso, a existência de turbulência pode provocar colisões com elementos imersos pela água (rochas). Devem ser ainda considerados como relevantes fatores relacionados à desaceleração abrupta e forças de cisalhamento, que geralmente podem ocorrer na bacia receptora.

2.5 CONCLUSÕES

A eficiência destes mecanismos que visam facilitar a migração nos rios brasileiros ainda são uma incógnita para a comunidade científica. Estudos realizados por Agostinho *et al.* (2007b,

2007c) indicaram que a escada para peixes em Luís Eduardo Magalhaes não está contribuindo favoravelmente para a reprodução dos peixes, pois eles migram à montante para desova, mas não há retorno de animais e larvas para jusante. Makrakis *et al.* (2007) analisaram o funcionamento da escada de peixes da barragem Engenheiro Sérgio Motta, e os resultados indicaram que o dispositivo de transposição é seletivo favorecendo peixes com elevada capacidade de natação.

No Brasil existem poucas informações disponíveis para orientar na tomada de decisão de medidas mitigadoras para se evitar injúrias e mortalidade de peixes. A aplicação de medidas eficazes pressupõe um total conhecimento da fonte de estresse e do processo que leva a injúrias ou morte. A ausência destas informações pode levar a um acentuado risco de fracasso, desperdício de esforços, recursos e oportunidades.

CAPÍTULO III - CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E SEUS COMPONENTES

3.1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais existe uma grande discussão sobre os impactos socioambientais causados pela construção de novas hidrelétricas. De um lado, ambientalistas vem alertando para os graves problemas socioambientais gerados pela sua implantação, como do outro lado, grupos econômicos e governos ressaltam a necessidade de energia para atender as cidades, fábricas, indústrias, comércio e agricultura. Ressalvam também que as barragens podem ser utilizadas para realizar o controle de enchentes, para o lazer, produção de peixes em tanques rede e reserva de água para consumo da população.

Aliado a isso, durante a fase de construção de uma UHE promove-se geração de empregos, desenvolvimento da economia local e também recursos financeiros, na forma de impostos e devido à geração da energia na fase de operação.

Outro argumento adotado está vinculado à pouca poluição gerada pela operação de UHEs, quando comparada a outros modais de produção (nuclear e termelétricas). O atraso gerado nos planos de implantação de usinas hidrelétricas tem forçado o governo brasileiro a promover a construção de térmicas alimentadas por combustíveis fósseis. Tais usinas descarregam elevados níveis de gases poluentes na atmosfera, propícios a contribuir para o efeito estufa.

A produção de hidroeletricidade ainda é muito sedutora, haja vista os altos níveis de eficiência, o baixo custo de geração, a vida útil relativamente longa do empreendimento e também por se tratar de uma fonte renovável. A seguir serão apresentadas características de alguns elementos importantes para este estudo.

Visando promover um melhor entendimento de empreendimentos hidrelétricos, são apontados a seguir informações relevantes sobre UHEs tais como seus principais componentes, classificação, além de detalhar o caminho percorrido pela água no circuito de geração e de vertimento.

3.2 COMPONENTES

A produção da hidroeletricidade ocorre em função de algumas variáveis chaves, como a vazão do rio, a altura da queda d'água e as características topográficas do local no qual vai

ser instalada a usina. Para se promover um melhor aproveitamento do potencial energético são realizadas obras civis cujo objetivo visa aumentar o desnível e poder captar a água que será conduzida à turbina. Quanto maior o desnível entre montante e jusante (valor da queda bruta) e a vazão hidráulica do rio, maior será a potência de uma central.

Algumas das principais partes de uma UHE são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Principais elementos da UHE de Tucuruí



Fonte: http://cidadedetucuruí.com/inicio/usina_hidreletrica_tucuruí/USINA_HIDRELETRICA_TUCURUI.htm.

Observando a Figura 5 pode-se elencar algumas das principais partes de uma usina hidrelétrica:

- 1) lago da usina. Trata-se do reservatório de água a ser utilizado para a geração de energia (montante);
- 2) tomada d'água. Local de entrada de água que será conduzida às turbinas através dos condutos forçados ou canal de adução;
- 3) barragem. Dispositivo utilizado para se promover o represamento da água, podendo ser de concreto ou enrocamento (pedras e outros materiais);
- 4) vertedouro. Nas situações em que o volume de água utilizado na geração é inferior à vazão do rio, poderá ocorrer o transbordamento da barragem. Neste caso, os vertedouros são abertos para se garantir um nível seguro ao reservatório (montante).

Também utilizado quando da parada total das máquinas da usina para se manter um fluxo mínimo no leito do rio;

- 5) casa de força. Local onde acontece a transformação da energia hidráulica (energia cinética) do fluxo de água em energia mecânica (turbina) na forma de torque e velocidade de rotação. Esta rotação é transferida para o gerador através de um eixo, que irá convertê-la em eletricidade;
- 6) canal de fuga. Após a água passar pelas turbinas elas são devolvidas ao leito do rio (jusante);
- 7) subestação de energia. A energia gerada passa então pela subestação de elevação para ser transportada aos centros de consumo.

Os empreendimentos hidrelétricos podem ser classificados em função do tipo de utilização, da queda e das características de operação (PEREIRA, 2015).

A classificação pelo tipo de utilização pode ser:

- a) base: atendem continuamente a carga que estiver sendo demandada pelo sistema;
- b) ponta: atendem horários de pico.

Segundo a altura da queda (H):

- a) baixa: podem utilizar turbinas *Bulbo* ($H < 20$ m) ou *Kaplan* ($20 < h < 60$ m);
- b) média a alta: turbinas *Francis* ($40 < H < 400$ m);
- c) muito alta: turbinas *Pelton* ($350 < H < 1100$ m).

Em função das características de operação:

- a) usinas a fio d'água: são empreendimentos com reservatórios menores nas quais o nível da água varia pouco ao longo do ano, o que implica em geração de energia inconstante;
- b) usinas com reservatório de acumulação (lago), ou seja, a geração de energia é constante, mas o nível do reservatório varia ao longo do ano.

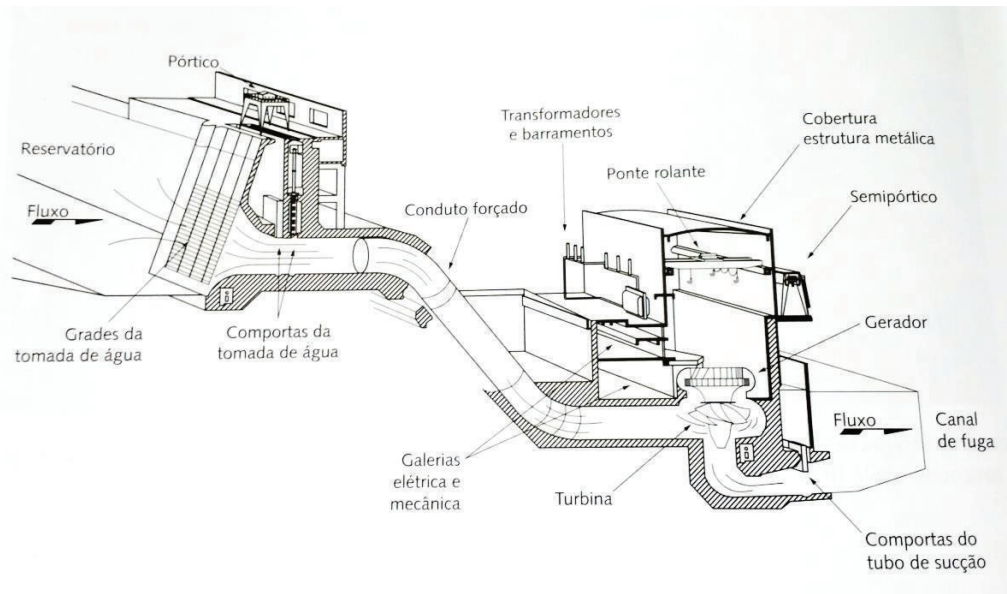
Outras classificações são abordadas por Eletrobras (2012), tais como a forma de desvio para adução, tipo de adução e segundo a potência instalada, mas que não serão abordados por não estarem relacionadas ao objeto deste estudo.

3.2.1 Caminho da água para produção de energia

Os elementos que compõe o circuito de geração dependem do tipo de arranjo geral do empreendimento que foi escolhido durante os estudos prévios à construção da usina. Neste

sistema estarão todos os elementos necessários à captação da água, transporte da mesma até as turbinas para a produção da energia e a sua devolução ao leito do rio (Figura 6).

Figura 6 – Principais elementos do circuito de geração



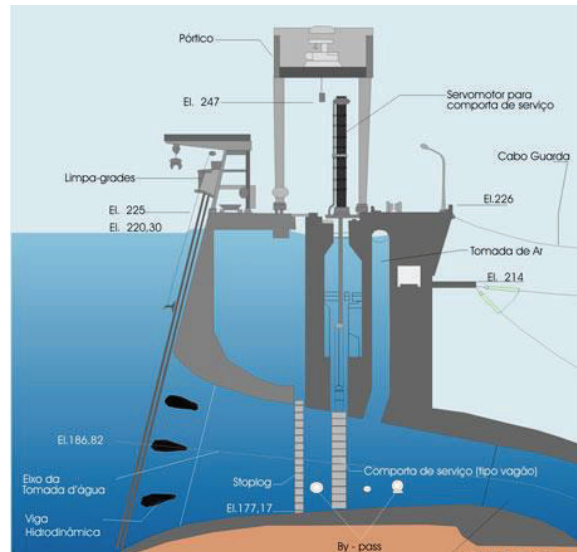
Fonte: Pereira, 2015.

No geral, os elementos principais que compõe este circuito são: (i) tomada d'água (região a montante das grades); (ii) sistema de adução (comportas, conduto forçado e outros); (iii) chaminés de equilíbrio; (iv) casa de força ou casa de máquinas (equipamentos elétricos, gerador, turbinas, etc.); (v) canal de fuga – após a passagem da água pelas turbinas existe o tubo de sucção, e logo em seguida o canal de fuga, sendo por meio deste último que acontece a devolução da água turbinada ao leito do rio.

3.2.1.1 Tomada D'água

A tomada d'água é formada por um conjunto de dispositivos utilizados para captar a água do reservatório e conduzi-la até o conduto forçado. Trata-se de um local de transição, a água passa de um escoamento livre do lago, para um sob pressão no conduto forçado. Suas principais funções são conduzir a água aos componentes adutores, impedir a entrada de partículas sólidas e fechar a entrada de água. Alguns elementos usuais fazem parte da tomada d'água, tais como grades de proteção, comportas e dutos de ventilação/aeração (SOUZA *et al.*, 1999) (Figura 7).

Figura 7 – Principais elementos da tomada d'água



Fonte: <http://www.google.com.br>.

3.2.1.2 Sistema de Adução

São elementos localizados após a tomada d'água para promoverem a condução da água até as turbinas. O escoamento pode acontecer de duas formas principais: permanente e uniforme (características não variam com o tempo), ou não permanente (ocorrem variações na vazão e pressão).

Os condutos permanentes e uniformes, também conhecidos como em baixa pressão, apresentam baixa declividade e baixa velocidade de escoamento de água. Sendo o escoamento realizado normalmente por canais de superfície livre (Figura 8).

Figura 8 – Canal de baixa pressão



Fonte: <http://www.google.com.br>.

Condutos não permanentes também são chamados de condutos forçados, geralmente são tubulações em aço com diâmetro constante. A pressão interna aumenta de montante à jusante,

atingindo o seu valor máximo, isto é, o máximo valor do aproveitamento na parte inferior próximo às turbinas (PEREIRA, 2015). Os condutos forçados devem possuir sistema de chaminés de equilíbrio que visam proteger os mesmos contra o Golpe de Aríete ocasionado pelo fechamento do distribuidor (Figura 9), conforme será explicado no próximo item.

Figura 9 – Condutos forçados



Fonte: <http://www.google.com.br>.

3.2.1.3 Chaminé de Equilíbrio

Trata-se de um reservatório vertical utilizado para se fazer o amortecimento das variações de pressão (Golpe de Aríete) que podem ocorrer nos condutos forçados. Estas variações bruscas ocorrem durante fechamentos súbitos do distribuidor ou válvula de controle de vazão, ou ainda, por rejeição de carga (comporta aberta e distribuidor ou válvula fechados) (Figura 10).

Figura 10 – Chaminé de equilíbrio da PCH de Nova Fátima



Fonte: <http://www.construtorafraga.com.br/obras/pch-nova-fatima>.

A chaminé de equilíbrio também é utilizada para armazenar água de modo que a mesma possa prover, ao conduto forçado, um fluxo inicial motivado por uma nova abertura do distribuidor, até que seja reestabelecido o regime contínuo de trabalho do sistema (ELETROBRÁS, 2012).

3.2.1.4 Casa de Força

Trata-se de uma obra civil (edificação) na qual abrigará todos os equipamentos necessários à geração da eletricidade. Podem ser em três tipos principais: abrigadas, semi-abrigadas e desabrigadas. Quanto a sua localização, pode estar situada no corpo da barragem, no pé da barragem ou isoladas da barragem (Figura 11).

Figura 11 – Casa de força da UHE de Estreito



Fonte: <http://www.google.com>

Na casa de força serão instaladas as turbinas, geradores e todos os equipamentos elétricos e mecânicos contidos no projeto. Outros elementos como a sala de comandos, escritórios e depósitos podem estar contidos na casa de força. É importante salientar que suas dimensões e elementos estruturais devem permitir e suportar as cargas dos diversos componentes necessários à construção da usina (Figura 11).

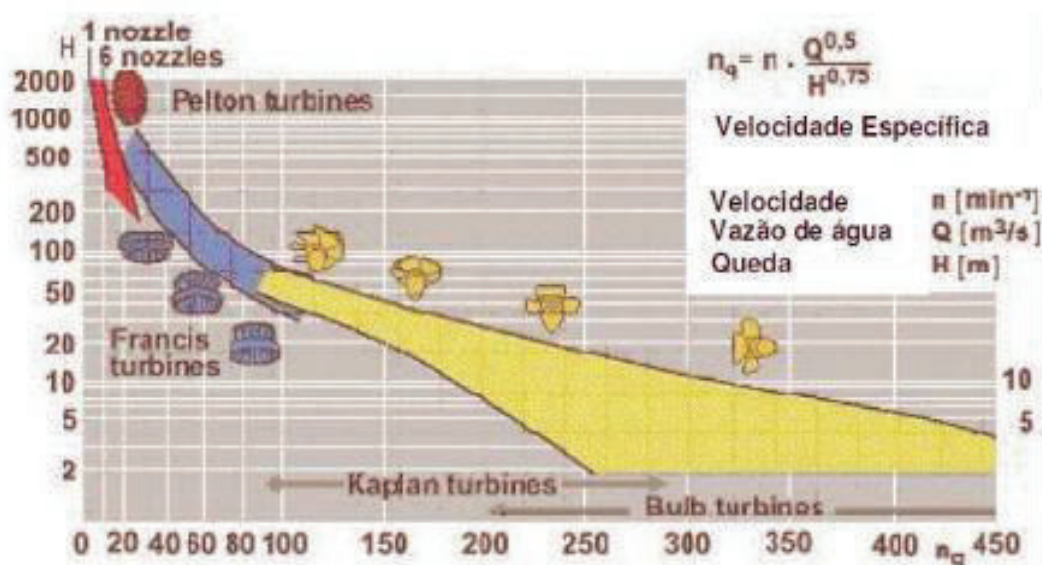
3.2.1.5 Turbinas

As turbinas são responsáveis por transformar a energia hidráulica proveniente do fluxo de água em mecânica. Esta é transferida para o rotor que posteriormente se converte em eletricidade no gerador.

Normalmente as turbinas são constituídas por quatro elementos principais: (i) rotor – local onde ocorre a conversão de energia hidráulica em potência de eixo; (ii) caixa em espiral – trata-se de uma tubulação em forma de toróide que tem por finalidade distribuir igualmente a água na turbina. Fica localizada em torno da região do rotor, e é parte integrante da obra civil da usina. A montante está conectada ao conduto forçado e a jusante ao distribuidor; (iii) distribuidor - composto por um conjunto de 18 a 24 paletas. Tratam-se de peças móveis, que são acionadas hidráulicamente de forma a permitir o controle da potência da turbina (regula o fluxo de vazão); (iv) pás ou conchas – responsáveis por captar a energia hidráulica proveniente do fluxo de água e transferi-la para o rotor na forma de potência de eixo. Em alguns tipos de turbinas estes dispositivos são reguláveis, permitindo controlar a eficiência da turbina em função das variações do nível de água a montante.

A escolha de um tipo de turbina para um empreendimento hidrelétrico depende de vários fatores, mas podemos citar três como os principais: a altura de queda (desnível entre montante e jusante), a velocidade e a vazão. A Figura 12 apresenta um gráfico que sugere a escolha do tipo de turbina em função da velocidade, vazão e altura de queda.

Figura 12 – Gráfico indicativo para escolha de turbinas



A turbina converte energia hidráulica em mecânica que é transferida ao eixo, que por sua vez promove a rotação do gerador para a produção de eletricidade.

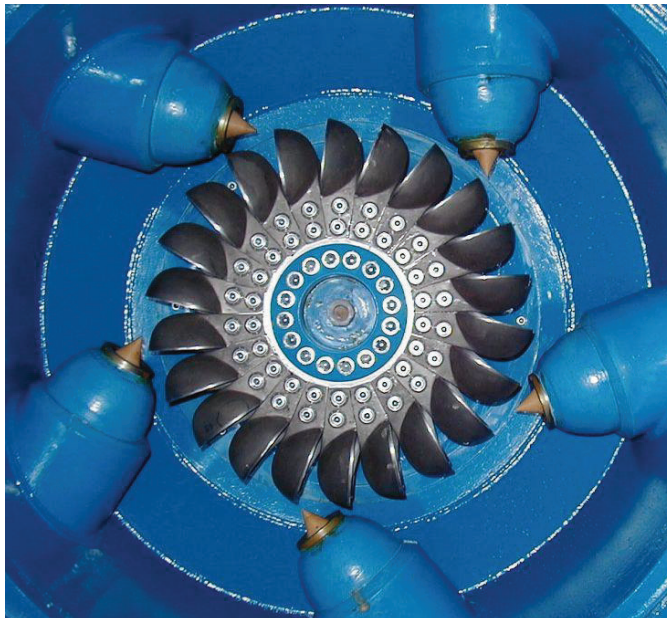
São geralmente produzidas sob medida para atender determinadas características de queda e vazão de projeto. No geral existem dois tipos de turbinas: (i) ação: toda energia hidráulica é convertida em cinética. O rotor opera fora da água (pressão atmosférica), geralmente empregadas em quedas muito altas (*Pelton*); (ii) reação: rotores trabalham dentro da água sob pressão. Parte da energia hidráulica é convertida em cinética, ou seja, ocorre a ação de impulso devido à alteração da direção da água e da reação provocada pela queda de pressão (*Francis, Kaplan e Bulbo*) (PEREIRA, 2015).

A seguir descrevem-se as quatro principais turbinas utilizadas para a produção de hidroeletricidade no mundo.

3.2.1.5.1 Pelton

Utilizadas para alturas de queda superiores a 300 m, ou para quedas menores quando se tem baixas vazões ($< 2 \text{ m}^3/\text{s}$) (Figura 13).

Figura 13 – Turbina *Pelton*



Fonte: <http://www.google.com>

Trata-se de uma roda circular que tem na sua periferia um conjunto de conchas, sobre as quais é inserido tangencialmente um jato de água por um ou mais bicos injetores que são

distribuídos uniformemente na periferia da roda. A água é direcionada às conchas por meio dos jatos com aberturas reguláveis.

3.2.1.5.2 Francis

A água passa pelo conduto forçado e circunda ao redor da turbina por meio da caixa em espiral, onde o controle do volume de água turbinada é realizado pela regulação da abertura das pás do distribuidor que fica na parte superior da turbina (Figura 14).

Figura 14 – Turbina *Francis*



Fonte: <http://www.google.com>

Considerando máquinas verticais, a água segue a direção radial pelo rotor, que estará sempre submerso, atingindo a turbina. A turbina é constituída por pás com perfis de curvaturas específicas, estruturadas e fixas entre elementos de coroas.

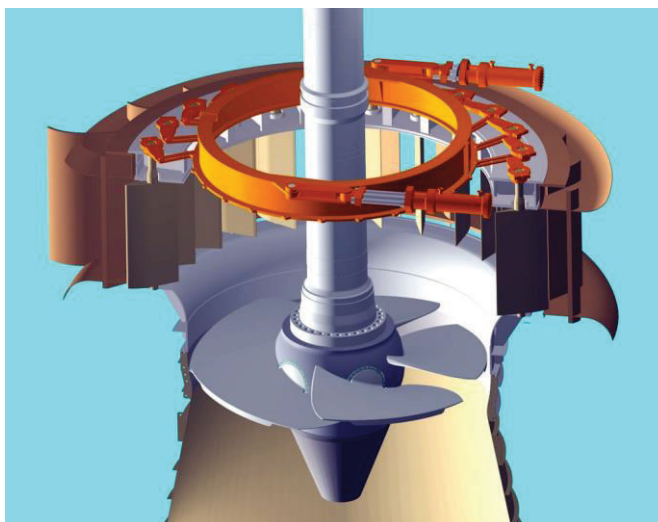
3.2.1.5.3 Kaplan

As turbinas *Kaplan* foram desenvolvidas por Victor Kaplan (1876-1934). Seus estudos teóricos e experimentais criaram um novo tipo de turbina, proveniente a partir das turbinas Hélice, com a possibilidade de variar o passo das pás.

Os sistemas *Kaplan* são turbinas de reação empregadas para grandes vazões e baixas quedas. Normalmente têm eixo vertical, porém é possível encontrar com eixo horizontal que

são designadas turbinas *Bulbo*. Possuem um distribuidor, uma roda com quatro ou cinco pás (hélices) e uma câmara de entrada que pode ser fechada ou aberta (Figura 15).

Figura 15 – Turbina *Kaplan*



Fonte: <http://www.google.com>

As pás são reguláveis, e possibilita variar o ângulo de ataque da água (GOMES, 2010). Cabe ressaltar que existem turbinas com pás fixas, sendo estas normalmente conhecidas como *Propeller*. O volume turbinado e a eficiência do conjunto podem ser controlados a partir da regulação na abertura do distribuidor e das pás da turbina. Isto promove uma melhor condição de eficiência em função dos níveis de montante e jusante. Vale acrescentar que seu rotor está sempre submerso.

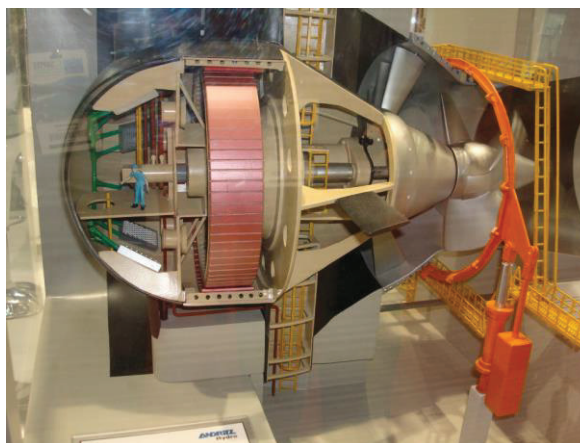
Esta turbina foi projetada de modo a acomodar as grandes faixas de fluxo de água necessárias ao seu funcionamento. Nestes tipos de sistemas, o fluxo de água caminha através da turbina de forma radial na entrada e axial na saída. Seu rotor se assemelha a hélice de um navio, as pás estão conectadas ao eixo a partir de juntas móveis.

As lâminas possuem regulação na sua angulação, permitindo uma maior eficiência no seu funcionamento. Um servomotor localizado no interior do cubo do rotor (ponta do eixo) fica responsável pela variação do ângulo de inclinação das pás. Neste sistema hidráulico, o óleo é injetado por bombeamento e conduzido até o rotor por um conjunto de tubulações rotativas que passam por dentro do eixo. As pás são projetadas com uma torção ao longo do seu comprimento, permitindo assim um fluxo de arrasto na entrada e outro fluxo axial na saída.

3.2.1.5.4 Bulbo

As turbinas tipo bulbo são semelhantes as *Kaplan*, todavia tratam-se de máquinas de eixo horizontal (Figura 16).

Figura 16 – Turbina *Bulbo*



Fonte: <http://www.google.com>

Ela está conectada diretamente ao gerador, tudo envolvido por uma cápsula hermética. Normalmente são empregadas para usinas de baixíssima queda, na qual todos os equipamentos ficam totalmente submersos pela água captada pela tomada d'água. Esta água flui ao redor do gerador encapsulado, e mais à frente atinge as hélices da turbina que faz rodar o conjunto.

3.2.1.5.5 Turbinas *Fish Friendly*

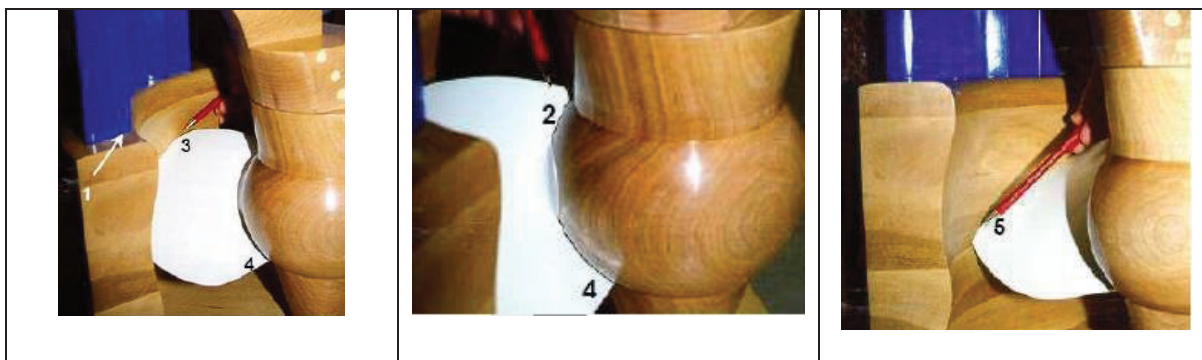
Com o objetivo de proporcionar mais segurança à passagem dos peixes foi desenvolvida a partir de estudos realizados pela *Voith Hydro Inc.* uma turbina que permitisse a redução das lesões na ictiofauna.

Foram realizados estudos de dinâmica computacional dos fluidos (*CFD*), construídos modelos reduzidos de turbinas *Kaplan* para se identificar os efeitos que fossem prejudiciais aos peixes. Naquela ocasião, os principais efeitos negativos levantados foram de origem mecânica (esmagamento, choque ou contato, moagem e raspagem), gradientes de pressão, cavitação, turbulência e tensões cisalhantes. Alguns dos fatores influenciantes mais importantes foram o tamanho do peixe, a localização do animal e por onde ele transita, a rugosidade das superfícies e características fluidodinâmicas (CADA, 1997, 2001).

Os estudos indicaram a necessidade de eliminar os espaços vazios (*gaps* ou frestas) entre as pás e o rotor e também entre as pás e as paredes (extremidades). Isto implicou em novos desenhos para as pás, e em determinadas situações, houve a necessidade de se realizar alterações nas paredes da câmara onde localiza-se a turbina (estruturas civis de concreto).

Tais modificações, além de eliminar os *gaps*, reduziram consideravelmente áreas de turbulência nas quais traziam riscos aos peixes. Além disso, suprimindo-se os espaços vazios, mais água pode ser turbinada o que proporcionou um aumento de potência para o equipamento (Figura 17).

Figura 17 – Turbina *Kaplan Minimum Gap Runner (MGR)*



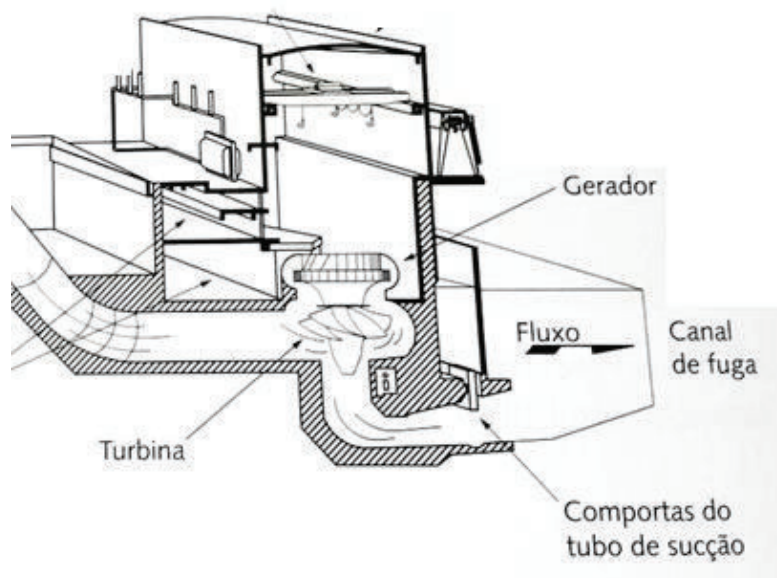
Fonte: HEINLEIN *et al.*, 2009 e <http://www.voith.com>.

As alterações realizadas foram: (1) a eliminação de saliências das pás do distribuidor; (2) inexistência de vão entre a entrada das pás e a ogiva; (3) inexistência de vão entre as pás e o aro câmara; (4) não existe vão entre a saída das pás e a ogiva; (5) não existe vão entre a saída das pás e o aro câmara.

3.2.1.6 Tubo de Sucção e Canal de Fuga

O tubo de sucção é utilizado em turbinas de reação para se fazer a condução da água para o canal de fuga. Em determinadas situações ele também é conhecido como tubo reparador, haja vista que ele promove a recuperação de parte da energia do fluido ao deixar o rotor. O tubo induz uma pressão negativa na saída da turbina, permitindo um ganho adicional na carga de pressão da máquina. A região do tubo de sucção possui fluxo bastante turbulento e grande concentração de bolhas de ar que podem provocar a cavitação (Figura 18).

Figura 18 – Detalhe do tubo de sucção e canal de fuga



Fonte: Pereira, 2015.

O canal de fuga promove a desaceleração do fluxo de água para que a mesma possa ser devolvida ao leito do rio sem provocar erosão. Em determinadas situações o canal de fuga pode ser em carga, ou seja, promover uma contrapressão na turbina para se evitar a cavitação. Normalmente são instaladas comportas de forma a permitir o fechamento do acesso à turbina quando de sua parada.

3.2.2 Vertedouros

Consistem em obras de engenharia com a finalidade de conduzir a água de forma segura através da barragem, de montante à jusante, quando da ocorrência de aumento da vazão do rio acima da capacidade de geração da usina. Desta forma, pode-se evitar o transbordamento da mesma e danos ao empreendimento, aos equipamentos ou às pessoas. Normalmente os vertedouros são utilizados somente em períodos de cheia, sendo que a água vertida é descartada, ou seja, não passa pela turbina, e, portanto, não produz eletricidade.

Os principais tipos de vertedouros são: de superfície com comportas, de superfície de crista livre e de fundo. Os mais utilizados são de superfície com comportas, pois possuem segmentos de comportas que quando são acionadas permitem a passagem da água pela parte inferior da mesma. Dependendo do número de comportas abertas, pode-se regular a velocidade com a qual se deseja reduzir o nível do reservatório (Figura 19).

Figura 19 – Vertedouro tipo comporta



Fonte: <http://www.google.com>.

Algumas barragens na forma de diques possuem vertedouros de crista livre, ou seja, quando o nível da água atingir seu valor máximo, ela fluirá na forma de transbordamento através de uma seção especialmente construída para este fim (Figura 20a). Estes elementos também podem possuir características especiais, como na forma de tulipas (Figura 20b).

Figura 20 – Tipos de vertedouros



(a) Borda livre

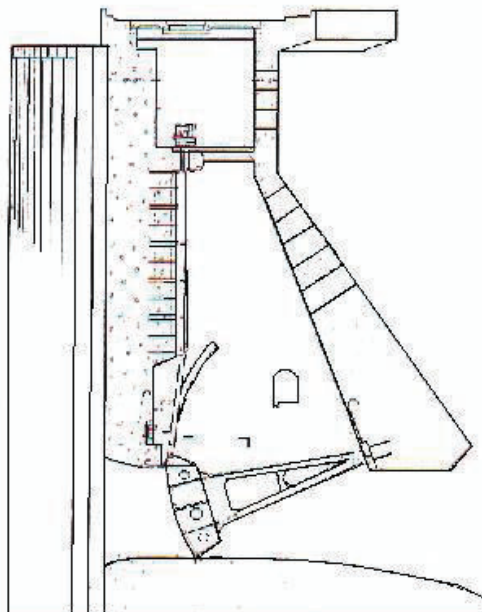


(b) Tipo tulipa

Fonte: <http://www.google.com>.

Também pode-se construir UHEs com vertedouros de fundo, ou seja, localizados na parte profunda da barragem em montante. Normalmente a água vertida destes dispositivos é conduzida à jusante por meio de dutos (Figura 21).

Figura 21 – Vertedouro de fundo



Fonte: <http://www.google.com>.

Vertedouros de fundo são importantes em barragens com vertedouros de crista livre, em épocas em que o nível da água encontra-se abaixo da crista, haja vista a necessidade de se garantir uma vazão mínima ao rio (vazão sanitária). Isto pode acontecer em épocas de seca, ou ainda, quando da parada das máquinas.

3.3 CONCLUSÕES

Centrais hidrelétricas são um conjunto de obras de engenharia necessárias ao aproveitamento do potencial hidráulico de uma determinada região. Geralmente utiliza-se do desnível do rio, ou ainda, idealiza-se um desnível por meio da construção de uma barragem. Este último irá possibilitar que a água seja captada e direcionada à turbina, que por sua vez, promoverá a geração de energia elétrica no gerador.

Existem diversos tipos de equipamentos para geração e vertimento da água para hidrelétricas. Cada um com características próprias que podem atender as especificidades das mais variadas unidades de geração de energia a base de hidropulsores. As especificidades dos elementos aqui apresentados podem subsidiar os cientistas na busca de soluções que visem encontrar as melhores técnicas de mitigação para a morte de ictiofauna em empreendimentos

hidrelétricos. Entretanto, as decisões quanto ao melhor equipamento a ser utilizado não devem estar pautadas apenas em critérios econômicos.

CAPÍTULO IV - MORTE DE PEIXES EM VERTEDOUROS: estudo de caso em Luís Eduardo Magalhães, Peixe Angical e Estreito³

4.1 INTRODUÇÃO

A construção de usinas hidrelétricas UHEs em bacias hidrográficas da região norte vem intensificando-se nos últimos vinte anos. Tal fato tem gerado desafios relevantes por conta de características singulares dos rios e da fauna de peixes da região (características das espécies, biodiversidade, variações acentuadas de vazão na cheia e na seca, dentre outros).

Dentre alguns dos empreendimentos hidrelétricos previstos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, na bacia do Tocantins/Araguaia pode-se citar Paranã, Ipueiras, Tupiratins, Santa Izabel, Araguaianã, Marabá, Mirador, Porteira, Maranhão, Barra do Palma e Lajeado Montante (Aneel, 2019).

Episódios de morte de peixes em hidrelétricas durante a construção e operação são registrados em usinas espalhadas pelo mundo (PARRISH *et al.*, 1998; SVENSSON, 2000; KEEFER *et al.*, 2013). A mortandade desses animais vem sendo muito criticada por parte de ecologistas, ribeirinhos, cientistas e da sociedade em geral.

Na bacia do Tocantins/Araguaia, tais eventos têm provocado perdas relevantes a indivíduos de uma mesma espécie, proporcionando prejuízos a animais como o Curimbá e o Jaú, à biodiversidade, prejuízos financeiros aos pescadores, danos à imagem da UHE e multas por descumprimento de leis ambientais.

Os vertedouros apresentam riscos à ictiofauna. Todavia, também são utilizados de forma a permitir a migração de peixes de montante para jusante. Apesar dos perigos inerentes à ocorrência de injúrias e mortes na passagem destes animais, os riscos existentes nos vertedouros são menores do que aqueles ocorridos durante a travessia pelas turbinas, por exemplo.

No geral, na região dos vertedouros, os animais estarão sujeitos a estresse cisalhante, supersaturação e, quando aclimatados em profundidade, a gradientes de pressão, pois serão lançados a águas superficiais.

Algumas características dos vertedouros podem contribuir para o aumento do risco de injúrias e mortes, tais como padrões de funcionamento, rampas de abertura e fechamento, tipo de comportas, perfil do vertedouro, perfil da calha de restituição, dentre outros. Nestes termos,

³ Artigo submetido a revista CEREUS. ISSN: 2175-7275.

poderão existir medidas mitigadoras, as quais serão comuns a todos os empreendimentos, ou ainda, soluções de caráter particular, aplicado a uma ou outra usina.

Visando mitigar a morte de ictiofauna serão apresentadas as características dos projetos de engenharia dos vertedouros de Peixe Angical (PEA), Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Estreito (EST), além de relatos de eventos de morte de peixes em vertedouros das mesmas. O estudo tem por objetivo identificar melhorias de projeto e procedimentos operacionais que visem a mitigação de episódios de injúrias e morte de peixes em vertedouros de UHEs.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Características dos Empreendimentos

As proposições deste estudo serão analisadas a partir de empreendimentos localizados no Estado do Tocantins/Maranhão. As análises foram realizadas em três empreendimentos hidrelétricos em sequência, localizados no rio Tocantins, as UHEs de PEA, LEM e EST. Algumas características dos empreendimentos são apresentadas a seguir.

A usina de Peixe Angical está localizada no Rio Tocantins ente os municípios de Peixe e São Salvador do Tocantins (TO) (Figura 22).

Figura 22 - Aproveitamento Hidrelétrico de Peixe Angical



Fonte: <http://wikimapia.org/6071870/pt/Usina-Hidrel%C3%A9trica-Peixe-Angical>.

Seu reservatório ocupa uma área de 294,1 km². A barragem possui um comprimento de crista de 6.148,1 metros lineares e uma altura máxima de 39 metros. O vertedouro é composto por nove comportas do tipo segmento com amortecimento da água em bacia de dissipação. Possui três turbinas *Kaplan*.

A UHE de Luís Eduardo Magalhães está localizada no Rio Tocantins entre os municípios de Miracema do Tocantins e Lajeado (TO) (Figura 23).

Figura 23 - Aproveitamento Hidrelétrico de Luís Eduardo Magalhães



Fonte: http://www.naturezabrasileira.com.br/foto/5556/barragem_da_usina_hidrelétrica_luis_eduardo_magalhaes_to.aspx.

O reservatório ocupa uma área de 630 km². A barragem possui um comprimento de crista de 2.034,43 metros lineares e uma altura máxima de 74 metros. O vertedouro é composto por catorze comportas de superfície do tipo segmento, com fluxo amortecido por bacia de dissipação e a casa de força trabalha com cinco turbinas *Kaplan*.

A usina de Estreito, também no Rio Tocantins, situada entre os Estados do Tocantins e Maranhão (Figura 24).

Figura 24 - Aproveitamento Hidrelétrico de Estreito



Fonte: <http://www.redeto.com.br/noticia-20161-usina-hidreletrica-estreito-ja-repassou-mais-r-100-milhoes-a-titulo-de-compensacao-financiera-a-cida.html#.WsTJ7C7wbIU>.

Seu reservatório possui área de 400 km². A barragem de concreto compactado com rolo - CCR possui um comprimento de crista de 534,13 metros lineares e uma altura máxima de 57 metros. O vertedouro é do tipo de superfície, composto por catorze comportas do tipo segmento,

sendo o amortecimento da água realizado por meio de bacia de dissipação. A geração é composta por oito turbinas *Kaplan*.

Todos os três aproveitamentos hidrelétricos funcionam com reservatório a fio d'água, ou seja, o volume de água que entra no lago, também sai por meio das turbinas, ou se for o caso, a partir dos vertedouros (não há grandes variações no nível do reservatório). Épocas do ano de cheias, a geração é maior e, caso necessário, os vertedouros são abertos para escoar o excesso de água. Na seca, a geração é reduzida ocorrendo episódios de apenas uma turbina estar produzindo energia.

A Tabela 1 apresenta algumas características de cada um dos empreendimentos em relação aos seus vertedouros.

Tabela 1 – Características dos vertedouros das UHEs de PEA, LEM e EST
(continua)

Característica / UHE	Peixe Angical	Luís Eduardo Magalhães	Estreito
Nº de vãos	9	14	14
Tipo de comporta	Segmento	Segmento	Segmento
Altura comporta	22,82 m	23,0 m	24,27 m
Largura comporta	17 m	17 m	19,1 m
Tipo de perfil	Creager	Creager	Creager
Dissipação energia	Bacia com ressalto hidráulico	Bacia com ressalto hidráulico	Bacia com ressalto hidráulico
Cota nível água normal	263 m	212,3 m	156 m
Cota crista perfil Creager	241 m	190 m	133,5 m
Cota piso bacia dissipação	224 m	174 m	122,5 m
Cota crista ressalto hidráulico	229 m	178 m	127,5 m
Comprimento bacia dissipação	56,5 m	60 m	31,55 m
Largura bacia dissipação	193 m	303 m	329,15 m
Comportas enscadeiradas montante	Sim	Sim	Sim

Tabela 1 – Características dos vertedouros das UHEs de PEA, LEM e EST
(conclusão)

Característica / UHE	Peixe Angical	Luís Eduardo Magalhães	Estreito
Comportas ensecadeiras jusante	Sim	Sim	Sim
Quantidade elementos comportas ensecadeiras	9	8	10
Canal restituição	Escavado em rocha	Não escavado	Escavado em rocha

Fonte: ANEEL.

Visando contribuir com a mitigação da morte de peixes nos vertedouros foram realizadas pesquisas com o objetivo de se identificar autos de infração relativos a eventos de mortandade de peixes nas UHEs de PEA, LEM e EST. Buscou-se informações no Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins) e no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Também foram avaliadas informações a partir documentos técnicos relativos às UHEs (projeto básico) disponíveis na Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

No bojo dos documentos analisados identificou-se como relevantes à pesquisa aqui desenvolvida relatórios técnicos, pareceres, estudos, relatórios de vistoria, notas técnicas, projetos, memoriais e licenças. Outras referências, como artigos publicados em periódicos, teses e dissertações também foram avaliadas de forma a contribuir para o estudo. As documentações provenientes de órgãos estatais foram solicitadas via ofício, formulários protocolados junto às repartições, ou ainda a partir do portal da transparência do Governo Federal do Brasil.

4.3 MORTES DE PEIXES REGISTRADAS EM DOCUMENTOS OFICIAIS

As evidências de morte de peixes em vertedouros aqui presentes foram identificadas a partir de pareceres, relatórios, autos de infração e notificações existentes nos órgãos ambientais Naturatins e Ibama. Cabe ressaltar aqui que os episódios relatados foram alvo de fiscalização por parte dos órgãos ambientais por se tratarem de eventos relevantes. Ocorrências de mortes em pequenas proporções são corriqueiras em UHEs, e conforme busca realizadas nos órgãos oficiais, na maioria dos casos, não são documentados pelos mesmos.

Não houve registros de mortes de peixes nos órgãos ambientais nas proximidades dos vertedouros, ou em função de seu uso, relativo às usinas de Peixe Angical e Estreito. Desta forma, tem-se a seguir registros ocorridos na UHE de Luís Eduardo Magalhães.

Em outubro de 2012, segundo o relatório de vistoria do Ibama (GOULART *et al.*, 2012), houve uma interrupção brusca no fornecimento de energia nas regiões norte e nordeste. Tal fato provocou uma interrupção abrupta na geração por parte da UHE de LEM. Neste momento houve a parada total das turbinas, e, pelo fato das características do empreendimento não permitir acumular o excedente de vazão de água no seu reservatório (operação a fio d'água), houve a necessidade de se promover a abertura das comportas dos vertedouros da mesma.

No momento da parada das máquinas, havia também um cardume de Curimbas (*Prochilodus nigricans*) à jusante da usina na área do canal de fuga. Quando estes animais perceberam o aumento no fluxo de água vindo dos vertedouros, os mesmos migraram para aquela área, na tentativa de fazer a transposição para montante. Mais tarde, houve a necessidade de fechar as comportas dos vertedouros, pois as turbinas estavam voltando a operar. Como o nível da água baixou rapidamente, os animais ficaram aprisionados em poças e morreram.

Em fevereiro de 2014 um outro episódio de morte de peixes ocorreu a cerca de 900 metros à jusante dos vertedouros (próximo a foz do ribeirão Lajeado). Nesta ocorrência, segundo o Parecer Técnico de Monitoramento 1-2014 (SILVA *et al.*, 2014), os animais envolvidos também foram da espécie *Prochilodus nigricans* (Curimba).

As investigações realizadas indicaram que quando as comportas dos vertedouros estão fechadas, o nível de água de jusante, tanto no canal de fuga quanto nos vertedouros é influenciado pela geração. Desta forma, se a geração estiver alta, o nível da água a jusante dos vertedouros promove uma conexão entre as várias poças existentes no local.

Neste episódio de morte de peixes ocorrido em fevereiro havia a presença de um cardume de Curimbas na foz do ribeirão Lajeado (proximidades do pedral). Em determinado momento houve a necessidade de se diminuir a geração de energia, resultando em uma redução do nível de água à jusante, por um período bastante prolongado (cerca de 29 horas). Vários animais ficaram aprisionados nas poças que se formaram e morreram.

4.4 DISCUSSÕES

Os vertedouros são utilizados principalmente para permitir a passagem do excesso de água no reservatório, quando o mesmo atinge níveis críticos. Desta forma, pode-se garantir a

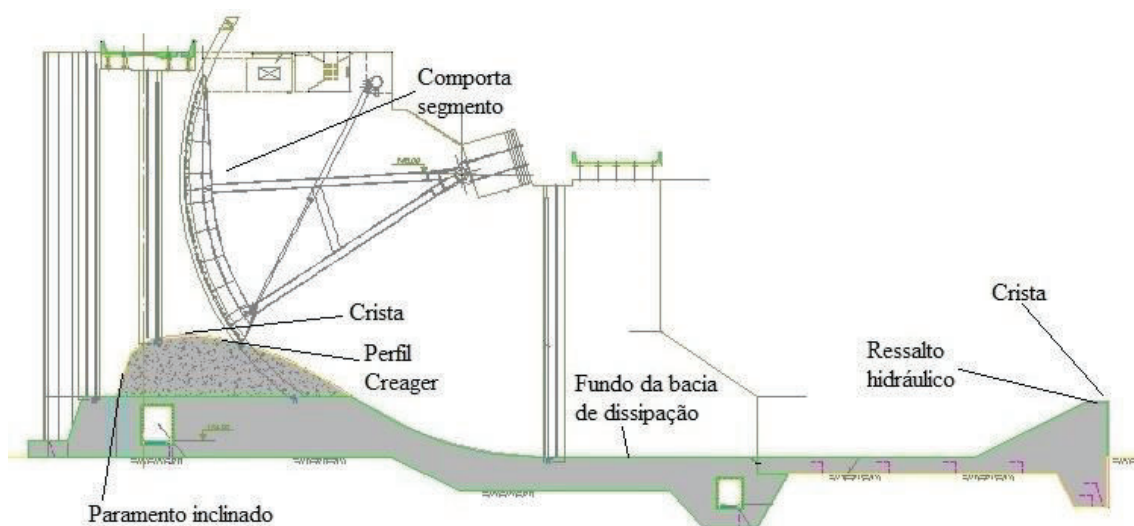
segurança estrutural do barramento considerando um nível máximo de água pré-estabelecido no projeto.

Quanto às dimensões de comportas para vertedouros, as orientações da documentação técnica para projetos de usinas hidrelétricas, sugerem que alturas superiores a 22 metros implicam em estruturas de concreto, necessárias à sustentação das comportas, mais robustas e por consequências mais custosas (PEREIRA, 2015).

As alternativas de dimensionamento estrutural para os vertedouros, segundo o ponto de vista da engenharia, devem sempre buscar soluções mais econômicas. Todavia, ressalta-se a necessidade de uma análise mais criteriosa no que tange a quesitos que visem a preservação da ictiofauna, sendo necessário existir um equilíbrio entre o interesse ambiental e o econômico.

O projeto do vertedouro da usina de EST foi elaborado por empresa diferente das de PEA e LEM. Todavia, de forma geral, todas possuem o mesmo conceito estrutural, observando-se uma pequena diferença, apenas em relação ao paramento inclinado no início do perfil *Creager* (montante) para EST (Figura 25). LEM e PEA possuem paramento vertical e desnível entre a crista do perfil *Creager* e do ressalto hidráulico de 12 metros (EST possui desnível de 6 metros), sendo os demais elementos com a mesma configuração geral.

Figura 25 – Características do vertedouro da UHE de Estreito



Fonte: Aneel (2014).

Perfis do tipo *Creager* são usualmente utilizados em vertedouros, pois sua geometria promove um melhor assentamento da lâmina d'água vertente sobre toda a sua soleira. Desta forma, pode-se reduzir a turbulência gerada durante a passagem da água, minimizando-se a formação de cavitação na superfície de escoamento da água. A cavitação pode ser observada em ambientes turbulentos com baixa pressão hidrostática, nas quais geram bolhas de vapor ou

gás, que ao se colapsarem podem danificar a estrutura que recobre, por exemplo, o pavimento da bacia de dissipação, ou ainda, provocar lesões graves nos animais.

Quando a comporta segmento é aberta (Figura 25), a água desce pelo perfil e encontra uma piscina cheia para fazer o amortecimento do fluxo (bacia de dissipação). A velocidade na qual a água colide com o colchão de água depende da altura da coluna d'água à montante da comporta e também do comprimento da rampa de descida do perfil (desnível entre as cristas do perfil e do ressalto hidráulico). Considerando a Figura 25 e os projetos das usinas, verifica-se um desnível entre a crista do perfil e a do ressalto hidráulico de 12 metros para as UHEs de PEA e LEM, e de 6 metros em EST.

Uma redução destes desníveis, poderia resultar em menores impactos da água junto à bacia de amortecimento, e desta forma, minimizar a ocorrência de turbulência, cisalhamento e supersaturação. Isso poderia promover mais segurança aos peixes que fazem a travessia de montante à jusante pelos vertedouros.

Uma solução vislumbrando minimizar estes riscos seria a elevação da bacia de dissipação, proporcionando vertedouros afogados, ou seja, com o nível de jusante pouco acima da crista do perfil *Creager*. Por se tratar de um elemento vultuoso, tais alterações poderiam acarretar em custos proibitivos para a construção do empreendimento, sendo necessário uma análise mais criteriosa quanto à sua viabilidade econômica para a sua execução.

Outra possibilidade seria a construção do perfil *Creager* com a sua crista rebaixada e a do ressalto hidráulico elevada, mantendo assim os vertedouros também afogados. Considerando a teoria hidrodinâmica utilizada para dimensionamento de vertedouros (USBR, 1983, 1990), quanto mais alto o ressalto hidráulico, maior a eficiência da bacia de dissipação em reduzir a velocidade do jato turbulento que provém dos vertedouros. Assim sendo, uma maior quantidade de água no colchão de amortecimento e comportas afogadas possibilitariam menores riscos à transposição dos peixes (de montante a jusante).

Alterações que promovam condições de contorno diferentes para o fluxo de água, necessitaria de um estudo detalhado para a nova hidrodinâmica existente, seja por modelagem computacional ou modelos reduzidos, de forma a garantir integridade estrutural ao empreendimento, e suas imediações, principalmente no tocante a possibilidade da ocorrência de correntes de retorno.

A construção de bacias de dissipação parece ser uma opção mais segura à travessia da ictiofauna pelos vertedouros, haja vista apresentar condições hidrodinâmicas menos

impactantes. Nestes termos, os estudos de viabilidade deveriam considerar também a ictiofauna da região, vislumbrando a possibilidade de construção de vertedouros afogados com bacia de dissipação, em desfavor de outras possibilidades como salto em esqui, queda livre e escadas.

Soluções que tornem mais seguras à passagem dos animais pelos vertedouros devem ser preferidas, em relação a outras que busquem apenas minimizar o custo de construção (preservação deveria sobrepor sobre o critério econômico). Entretanto os diversos documentos técnicos de engenharia avaliados, relativos a construção de UHEs (livros, manuais, apostilas, normas), não fazem referência expressa a tal situação, ao contrário, apresentam-se sempre com a orientação de melhorar sua performance, buscando otimizar o custo/benefício do empreendimento.

Episódios de mortandade de peixes foram observados em LEM nos anos de 2012 e 2014. Nestes eventos, as mortes ocorreram principalmente porque os peixes ficaram presos em poças que se formaram, ou pelo fechamento rápido das comportas dos vertedouros, ou pela redução brusca na geração.

Uma característica peculiar em LEM ocorre à jusante dos vertedouros. Naquele local existe um pedral que, quando a geração aumenta ou ocorre vertimento de água, eles ficam encobertos, enquanto que, quando ocorre redução no fluxo de água formam-se poças que se transformam em armadilhas aos peixes (Figura 26). Em 2012 e 2014, a redução da quantidade de água, aliada a outros fatores como falta de oxigenação e elevação da temperatura, resultaram na morte de diversos animais.

Figura 26 – Pedral à jusante dos vertedouros da UHE LEM



Fonte: <https://andarja.wordpress.com/category/lajeado>

As outras duas usinas (PEA e EST) possuem os canais de restituição dos vertedouros escavados em rocha até o leito do rio, não apresentando características com elementos que possam apresentar riscos de aprisionamento de peixes, a jusante das imediações do barramento.

Quanto ao pedral existente em LEM, nos estudos de inventário e projeto básico da usina, não havia previsão de escavação do canal de restituição dos vertedouros, haja vista que o mesmo ficaria submerso devido a construção, à jusante, da UHE de Tupiratins.

Não existe, por parte do Governo Brasileiro, previsão para a construção desta usina. Desta forma, dependendo da geração e do volume de água liberado pelos vertedouros, poças se formam abaixo do barramento trazendo riscos de aprisionamento e morte de peixes.

Nos eventos de morte ocorrido em outubro de 2012, vale ressaltar que houve uma alteração significativa no rio Tocantins, quilômetros à jusante do barramento de LEM. Ocorreu o fechamento das comportas da usina de Estreito para fins de enchimento de seu lago, iniciado em dezembro de 2010. Tal fato simulou um período de cheia prolongada no ano seguinte (MARQUES *et al.*, 2012).

Aliado a isso, em 2011, a quantidade de chuvas na região foi cerca de 27% superior às precipitações normais (1981-2010) calculado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018). Estas condições foram propícias ao surgimento de populações mais numerosos de algumas espécies de peixes, no caso Curimbas, o que contribuiu para intensificar as mortes ocorridas em 2012.

As mortes de peixes na área à jusante dos vertedouros na usina de LEM (pedral) instigaram os técnicos a idealizarem mecanismos de salvaguarda que pudessem evitar a incidência de novos episódios no futuro. Neste sentido, houve a proposição do empreendedor, apoiado pelo órgão ambiental, como medida mitigadora visando reduzir a morte de peixes no pedral, para a construção de um dique.

O dique conseguiu reduzir a quantidade de poças nas proximidades da bacia de dissipação, garantindo um suprimento de água àqueles animais que, quando da redução do nível de jusante ficavam aprisionados e morriam.

Tal elemento de engenharia evitou a formação de poças quando da redução do nível de jusante, entretanto ainda não há estudos nas quais indique o comportamento das condições ambientais existentes no local (níveis de oxigenação, temperatura, turbidez, etc.), nem tão pouco sobre a possibilidade de morte de animais no novo ambiente formado. A jusante do dique ainda existem diversas áreas propensas a formarem poças, quando da redução do nível de água (vertimento ou geração) (Figura 27). Todavia, com a nova conjuntura criada pela construção do

dique, a equipe de salvamento da UHE terá melhores condições para promover o resgate dos animais aprisionados.

Figura 27 – Dique à direita e pedral remanescente à esquerda



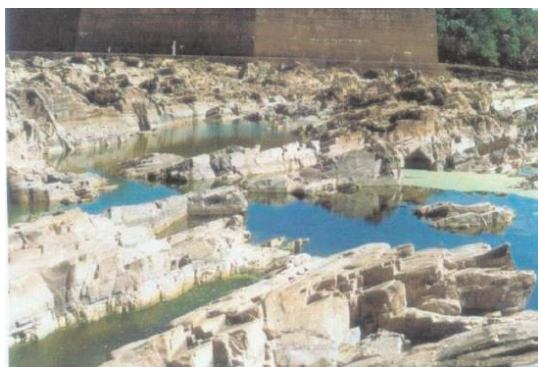
Fonte: o autor.

Considerando a situação atual de funcionamento da UHE de LEM (períodos definidos de cheias e outros de seca), a realização de monitoramento da qualidade da água na área do dique se mostra imprescindível, haja vista as características existentes no local.

No caso de se observar degradação, por exemplo, nos níveis de oxigênio dissolvido (OD), elevação de temperatura, ou outros parâmetros que possam vir a prejudicar a ictiofauna, deve-se promover a abertura das comportas dos vertedouros visando a salvaguarda dos animais existentes no local.

A experiência de pedrais após os vertedouros já foi vivenciada nas UHEs de Itutinga e Jaguara no Estado de Minas Gerais (Figura 28a). Nestes empreendimentos foram realizadas alterações na calha de restituição de forma a eliminar os riscos inerentes ao aprisionamento de peixes (Figura 28b).

Figura 28 – Canal de restituição da UHE de Jaguara



(a) Antes



(b) Após alterações

Fonte: Cemig.

Para a UHE de Itutinga foi realizada também uma análise a partir da teoria de mecânica dos fluidos, quanto às possibilidades de regularização do canal de restituição (atualmente pode-se empregar a modelagem computacional). Os objetivos da análise foram identificar possibilidades do aparecimento de novas poças e analisar o comportamento da nova configuração proposta, considerando as condições de funcionamento dos vertedouros. Também foram realizados estudos em modelo reduzido para subsidiar a escolha da melhor solução para a escavação do novo canal (JUNHO *et al.*, 2003).

As análises (computacional e modelo reduzido) permitiram definir um novo perfil para o fundo do leito de restituição, de forma a garantir segurança às estruturas, e eliminar também possibilidades da formação de novas poças, avaliando-se várias situações de vertimento.

Durante a fase das obras de reformulação do canal de Itutinga foram providenciados a retirada de blocos de rocha soltos, realizadas escavações para conformação do novo perfil, preenchimento de poças com concreto ciclópico, construção de muros de contenção laterais de concreto e também aterros laterais com proteção de enrocamento.

Considerando a situação atual do canal de restituição dos vertedouros da UHE de LEM, a ausência de previsão para a construção da UHE de Tupiratins, a existência de eventos repetidos de mortandade já registrados pelos órgãos ambientais, e ainda, a possibilidade de recorrência de mortes, sugere-se uma intervenção mais robusta no local visando a eliminação do problema.

Os procedimentos adotados em Itutinga podem ser replicados em Luís Eduardo Magalhães, garantindo assim mais segurança à ictiofauna presente na região. Algumas das soluções possíveis são: caracterização do perfil atual do fundo do canal de restituição, uso de modelagem computacional para se identificar novos perfis que possam garantir segurança estrutural e também evitar novas mortes de peixes, análise do perfil escolhido para se avaliar as soluções adotadas e estudos em modelos reduzidos para garantir segurança estrutural ao empreendimento considerando várias situações de funcionamento dos vertedouros.

4.5 CONCLUSÕES

O estudo permitiu averiguar eventos de mortandade de peixes em vertedouros visando identificar técnicas, metodologias e procedimentos que pudessem contribuir com a mitigação de injúrias e morte da ictiofauna nas UHEs de LEM, PEA e EST.

De forma geral, as usinas têm se preocupado com o desenvolvimento de mecanismos de salvamento, com o objetivo de minimizar a morte de animais. Todavia, as proposições

apresentadas nesta pesquisa podem contribuir para o aprimoramento das técnicas de salvaguarda para mitigar eventos de mortalidade de peixes em vertedouros de UHEs.

Estudos baseados em modelagem computacional e análise do comportamento do fluxo de água vertida em modelos reduzidos poderiam ser apropriados para se buscar soluções de mitigação, considerando situações específicas existentes em LEM.

A adoção de maiores rampas de operação quando de manobras realizadas nos vertedouros podem contribuir para a minimização do risco de morte de ictiofauna. Nesta situação, há de se ressaltar a importância de se monitorar o comportamento dos animais, com o objetivo de se prever a possibilidades de eventos de mortandade, desta forma, adotar medidas corretivas visando reduzir as perdas de ictiofauna.

CAPÍTULO V - MORTE DE PEIXES EM TURBINAS: estudo de caso em Peixe Angical, Luís Eduardo Magalhães e Estreito⁴

5.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a matriz hidroelétrica possui capacidade de geração da ordem de 101,29 GW, o que representa 63,86% dentre todos os modais de produção de energia do país (ANEEL, 2018). As projeções de crescimento para a demanda de energia elétrica até 2026 deve se situar em patamares de 3,5% ao ano (MME, 2017).

O planejamento do setor elétrico brasileiro possui forte apelo na construção de usinas com base na hidroenergia, principalmente, a partir dos últimos anos, na região norte do país, onde, segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, estão concentrados a maior parte do potencial de exploração para a hidroeletricidade, estimado em 77 GW (MME, 2017).

A construção destes empreendimentos neste território traz consigo grandes desafios: (i) construir usinas hidrelétricas (UHEs) minimizando os impactos socioambientais gerados; (ii) garantir a preservação de um dos ecossistemas mais ricos do mundo; (iii) preservar a cultura de populações ribeirinhas, indígenas, modos de produção locais, costumes, paisagens, sítios históricos, dentre outros.

Trata-se de um gigantesco desafio à ciência, de forma a encontrar subsídios nas quais garantam essa expansão, em contrapartida das inúmeras restrições e impactos socioambientais existentes.

Os impactos decorrentes da construção de UHEs vêm sendo documentados ao longo dos anos (FEARNSIDE, 2014, 2016), inclusive aqueles onde observa-se a ocorrência de mortes de ictiofauna, tanto durante a sua implantação, quanto na operação. Alguns eventos foram registrados em pesquisas realizadas no Brasil e no mundo (SVENSSON, 2000; AGOSTINHO *et al.*, 2008; KEEFER *et al.*, 2013; CREW *et al.*, 2017).

Manobras no funcionamento de hidrelétricas são rotineiros no Brasil, acontecem ao longo do dia em função da demanda de energia e, normalmente, modificam o fluxo de água no leito do rio. Estas mudanças podem incorrer em situações de perigo, e gerar mortandade e prejuízos relevantes à biodiversidade da bacia hidrográfica.

Nos Estados Unidos foram implantados requisitos regulatórios, aos empreendimentos hidrelétricos, nas quais incorporam medidas que visem minimizar a morte de peixes, tais como

⁴ Artigo submetido a revista RAMA. ISSN: 1981-9951.

a construção de sistemas de passagem, turbinas amigáveis e operações controladas (DENG *et al.*, 2011). O atendimento destes requisitos proporcionou um aumento de custos para construtores e operadores de UHEs. Sendo assim, houve uma busca por mecanismos de salvaguarda com o objetivo de mitigar a ocorrência de injúrias e morte de ictiofauna, inclusive em turbinas de usinas hidrelétricas.

Estudos vêm sendo realizados no sentido de desenvolver tecnologias integradas comprovadas, que visem caracterizar as condições de funcionamento e impactos hidráulicos das hidrelétricas. Este artigo, a partir da análise de episódios de mortandade e também dos projetos das UHEs de Peixe Angical, Luís Eduardo Magalhães e Estreito, localizados no rio Tocantins, visou identificar possibilidades de melhorias que possam contribuir para mitigar a ocorrência de injúrias e mortes de peixes na casa de força destas usinas.

Tais avaliações poderão trazer elementos importantes para contribuir na mitigação dos impactos provocados na ictiofauna, pela implantação de projetos de aproveitamento hidrelétricos, considerando a instalação de dispositivos de salvaguarda e condições operacionais mais amigáveis na casa de força, evitando assim, a recorrência de não conformidades já observadas durante a construção e operação de usinas.

5.2 EMPREENDIMENTOS ESTUDADOS

O estudo foi desenvolvido a partir da análise de UHEs construídas no Rio Tocantins (Tocantins/Brasil). Os empreendimentos em questão foram as usinas de Peixe Angical (PEA), Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Estreito (EST). Algumas características dos empreendimentos, no que tange à sua casa de força, são apresentadas a seguir.

Na UHE de PEA a casa de força possui três turbinas tipo *Kaplan* com capacidade de geração de 166,25 MW cada, potencial total de 498,75 MW e vazão nominal de 704 m³/s (cada unidade).

A usina de LEM possui cinco turbinas tipo *Kaplan* com capacidade de geração de 180,5 MW cada, potencial total de 902,5 MW e vazão nominal de 700 m³/s (cada unidade).

A hidrelétrica de EST é composta por casa de força tipo convencional abrigada com oito turbinas *Kaplan* com capacidade de geração de 135,8 MW cada, potência total de 1.087 MW e vazão nominal de 650 m³/s (cada unidade).

As três UHEs foram concebidas com reservatório a fio d'água, ou seja, a água que entra no lago deve ser utilizada para a geração de energia (através das turbinas), ou o seu excedente

deve ser descartado a partir dos vertedouros (não deve haver grandes variações no nível das represas).

A Tabela 2 apresenta algumas características específicas de cada um dos empreendimentos, em relação à casa de força.

Tabela 2 – Características da casa de força das UHEs de PEA, LEM e EST
(continua)

Característica / UHE	Peixe Angical	Luís Eduardo Magalhães	Estreito
Tipo de usina	Baixa queda	Baixa queda	Baixa queda
Tipo de turbina	Kaplan	Kaplan	Kaplan
Queda líquida de referência	24,2 m	29 m	18,94 m
Nº de turbinas	3	5	8
Potência queda líquida referência (cada turbina)	153,12 MW	173 MW	135,87 MW
Rotação turbinas	85,71 rpm	100 rpm	69,23 rpm
Sistema medição vazão turbinas	Sim	Sim	Sim
Tipo tomada d'água (TD)	Gravidade	Gravidade	Gravidade
Dimensões cada vão TD (altura x largura)	28 x 8,5 m	27 x 5,65 m	26,3 x 7,65 m
Comprimento aproximado canal adução	25 m	30 m	25 m
Velocidade água entrada TD	1,0 m/s	1,3 m/s	1,2 m/s
Possui grades entrada TD	Sim	Sim	Sim
Espaçamento vãos grades entrada TD	15 cm	15 cm	14 cm
Tipo comportas montante (CM)	Ensecadeira/deslizante	Ensecadeira/deslizante	Ensecadeira/deslizante
CM (altura x largura)	16,43 x 7,1 m	15,36 x 5,65 m	18,88 x 7,65 m
Tipo comporta emergência (CE)	Vagão/hidráulica	Vagão/hidráulica	Vagão/hidráulica
CE (altura x largura)	15,28 x 7,1 m	14,05 x 5,65 m	11,54 x 12,35 m
Fechamento CE	4 a 8 m/min	Máx. 4 min	****

Tabela 2 – Características da casa de força das UHEs de PEA, LEM e EST
(conclusão)

Característica / UHE	Peixe Angical	Luís Eduardo Magalhães	Estreito
Estrutura do tubo de sucção (TS)	Concreto	Concreto	Concreto
Revestimento do TS	Aço na parte vertical	Aço na parte vertical	Aço na parte vertical
Nº vãos na saída do TS	2	2	2
Vãos de saída do TS (altura x largura)	10,15 x 12,7 m	8,9 x 10,2 m	12,77 x 12,2 m
Cota nível água máximo montante	265,21 m	212,6 m	158 m
Cota nível água normal montante	263 m	212 m	156 m
Cota nível água máximo jusante	250,46 m	202,65 m	134,1 m
Tipo comportas jusante - CJ	Ensecadeira/deslizante	Ensecadeira/deslizante	Vagão/hidráulica
Nº CJ	2	2	2
Nº elementos CJ	3	4	4
Dimensões CJ (altura x largura)	10,35 x 12,7 ^a m	8,9 x 10,2 ^b m	11,54 x 12,35 ^c m
Sistema medição nível água TS	Sim	Não observado projeto/memorial	Sim
Sistema medição pressão TS	Sim	Sim	Sim

^a Especificado no projeto de componentes mecânicos

^b Não há especificação detalhada no projeto de componentes mecânicos.

^c Comportas posicionadas antes do final do tubo de sucção.

Fonte: Aneel, 1998, 2001, 2005.

5.3 METODOLOGIA APLICADA

Visando identificar episódios de mortes de peixes, foi realizada uma análise de documentos existentes em órgãos de fiscalização ambiental, nas esferas estadual e federal. As

pesquisas encontraram autos de infração emitidos apenas para as hidrelétricas de Luís Eduardo Magalhães (LEM) e Estreito (EST).

As informações relativas a projetos, plantas, desenhos, esquemas e memoriais sobre as construções das mesmas foram obtidas junto ao órgão de regulação do setor elétrico brasileiro (Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel). Os documentos técnicos possibilitaram identificar características relevantes do circuito de geração das usinas, de forma que a sua análise forneceu subsídios, para a definição de elementos e dispositivos que possam contribuir para a mitigação de injúrias e morte de peixes quando da passagem pelas turbinas das UHEs.

As evidências de morte de peixes ocorridas em decorrência da operação de turbinas aqui presentes foram identificadas a partir de documentos (pareceres, relatórios, autos de infração, notificações e outros) existentes no órgão ambiental na esfera federal (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama) e estadual (Instituto Natureza do Tocantins - Naturatins).

Considerando a região das turbinas das UHEs, foi desenvolvida uma análise dos projetos e dos eventos de mortes, no sentido de encontrar deficiências e fortalezas, com o intuito de colaborar para o aprimoramento das técnicas utilizadas em construções e operações de empreendimentos hidrelétricos.

5.4 MORTE DE PEIXES A PARTIR DE DOCUMENTOS OFICIAIS

Na UHE de LEM, o Relatório de Vistoria 012/03 NLA/IBAMA/TO e o Relatório Técnico nº 005/2004 NLA/IBAMA/TO mencionam uma mortandade de peixes à jusante da UHE de Luís Eduardo Magalhães nos meses de janeiro e fevereiro ocorridas nos anos de 2003 e 2004, respectivamente (IBAMA, 2004).

Os animais mortos foram encontrados desde o canal de fuga, até as proximidades da região conhecida como funil (cerca de oito quilômetros à jusante da barragem). Nos dois episódios houve a morte de Cuiú-cuiús (*Oxidoras niger*), sendo que em 2004 foram retirados do rio mais de 350 exemplares sem vida, durante o período de cinco horas de vistoria por parte do Ibama.

Um Parecer Técnico contratado pela Investco, sob responsabilidade da Empresa Limnobios - Consultoria em Ambientes Aquáticos relacionou as espécies afetadas nas mortandades de 2003 e 2004, sendo que 99,6% das mortes de 2003 e 86% das de 2004 resultaram de peixes do tipo Cuiú-cuiú (*Oxidoras niger*). Outros animais menos afetados nestes eventos foram: Tucunaré (*Cichla sp*), Surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Piau vara

(*Schizodon vittatus*), Mandi (*Pimelodus blochii*), Jaú (*Zungaro zungaro*), Fidalgo (*Ageneiosus brevifilis*), Corvina (*Plagioscion squamosissimus*), Cachorra (*Hydrolicus armatus*), Cachorra facão (*Rhaphiodon vulpinus*).

Em março de 2011 iniciou-se pelo Consórcio Estreito Energia (CESTE), a fase de testes da primeira unidade de geração da UHE de EST (fase de comissionamento). Logo em seguida o Ibama foi informado da ocorrência de mortandade de peixes à jusante da usina.

A análise da documentação do auto de infração emitido pela fiscalização ambiental estima a morte de cerca de 230 peixes (aproximadamente sete toneladas), com predominância de indivíduos da espécie *Zungaro zungaro* (Jaú) com tamanhos variando de 0,5 a 1,5 metros de comprimento (99%) (IBAMA, 2011).

5.5 DISCUSSÕES

O circuito da casa de força possui locais com características que podem oferecer riscos aos peixes, como por exemplo: grades na entrada da tomada d'água, tubo de adução, distribuidor, rotor, paletas, pás e tubo de sucção.

Nestes locais os peixes poderão estar submetidos a condições consideradas críticas, sendo que, os principais riscos potenciais inerentes são: gradientes de pressão, cavitação, supersaturação, estresse cisalhante e impactos contra partes fixas e móveis. Existe também a possibilidade de morte tardia por predação, visto que, não havendo a ocorrência de lesões graves ao animal, ele ao passar pela casa de força, poderá ficar atordoado, facilitando assim a ação de predadores à jusante.

Estudos realizados por Thorstad *et al.* (2003), Scruton *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2012) indicaram que, em situações onde os volumes de água são maiores (maior geração ou vertimento), tem-se observado cardumes nas proximidades de usinas. Outros fatores que têm contribuído para a presença de ictiofauna nas proximidades de empreendimentos hidrelétricos são a época do ano, a temperatura, migração para reprodução ou dispersão e abundância de determinada espécie. A presença de cardumes nas imediações de UHEs eleva o risco da ocorrência de morte da ictiofauna.

Algumas situações de perigo podem estar relacionadas com a necessidade da realização de manobras por parte da usina. Alterações nos níveis de produção de energia acabam por resultar em variações no fluxo de água à jusante, que dependendo das características do empreendimento e da calha do rio, podem resultar em situações com potencialidade da ocorrência de mortes por encalhamento.

Operações de manobras em UHEs podem promover a morte de peixes em quantidades que variam de poucos quilos até várias toneladas. Alguns fatores têm contribuído para esta amplitude de faixa de variação, tais como: tipo de manobra executada, a presença de cardumes, a época do ano, a vazão turbinada, a estrutura civil e hidráulica da usina, características do perfil do canal de restituição e a tipologia da ictiofauna.

Nos eventos de mortes de peixes da usina de LEM ocorridos em 2003 e 2004 foram realizados estudos mais aprofundados com a finalidade de se entender melhor os episódios de mortandade. Os exames identificaram animais com diferentes tipos de danos: eversão ou ruptura da bexiga natatória, lesões externas, congestão e hemorragia na cavidade celomática (AGOSTINHO *et al.*, 2005).

Normalmente tais lesões provêm de animais que sofreram descompressão, supersaturação gasosa e estresse cisalhante. Vale ressaltar que a análise de animais injuriados deve acontecer o mais rápido possível, haja vista que alguns tipos de danos podem desaparecer com o tempo, como aquelas causadas por supersaturação gasosa.

A passagem de peixes pelas turbinas implica na possibilidade de os animais estarem submetidos a riscos como gradientes de pressão, choques contra partes móveis e fixas, estresse cisalhante, cavitação e supersaturação. A maioria das lesões identificadas nos episódios de 2003 e 2004 corroboram a suspeita de que elas ocorreram nas turbinas, haja vista ter sido observado lesões como rompimento ou eversão da bexiga natatória, hemorragias internas ou olhos que saltam para fora de sua órbita.

Propulsores hidráulicos de usinas hidrelétricas são normalmente construídos de forma específica para atender determinadas características relacionadas à queda líquida e a vazão de projeto do empreendimento. Diagramas elaborados por Vinogg e Elstad (2003), Miranda (1982) e Gulliver e Arndt (1991) auxiliam na definição da escolha da turbina a ser empregada (*Kaplan, Francis, Pelton, Bulbo, Hélice*, dentre outras).

No geral, máquinas hidráulicas *Kaplan* foram desenvolvidas para serem utilizadas em baixas quedas e altas vazões. Vale ressaltar também que estes equipamentos possuem bom desempenho em intervalos de regulação de 30 a 100% da vazão, considerando as possibilidades de controle nas pás da turbina e do distribuidor do equipamento (PEREIRA, 2015).

Estas condições são usuais em reservatórios a fio d'água, onde a vazão turbinada depende da água que entra no reservatório. Tais elementos são preponderantes na maioria das UHEs existentes na bacia do Tocantins, onde o volume de água é maior na época das chuvas e menor na seca.

Haja vista os ajustes permitidos em turbinas *Kaplan*, as chances de sobrevivência dos peixes, quando de sua passagem pela geração, podem variar de 85 a 96%, enquanto que em equipamentos *Francis*, por exemplo, que possibilitam regulagens apenas no distribuidor, as probabilidades oscilam entre 5 e 50% (EICHES ASSOCIATES, 1987; FRANKE *et al.*, 1997).

As turbinas são projetadas para trabalharem em determinada velocidade de rotação, buscando sempre otimizar a geração. Na verdade, o desejável é que elas girem na maior velocidade possível, pois desta forma, o conjunto turbina-gerador poderia ser menor e, desta forma, mais econômico (PEREIRA, 2015).

Todavia, quanto mais rápido elas estiverem girando, maior o risco de ferimentos à ictiofauna quando de sua passagem pelas mesmas, tais como esfolamentos, esmagamentos, decepamentos, dentre outros. A rotação depende principalmente de fatores como a queda líquida e a potência de saída no eixo (KW). Outras variáveis relevantes são a vazão, o rendimento da turbina, a frequência (no Brasil é fixa em 60 Hz) e o número de polos do gerador.

Considerando as equações de dimensionamento de turbinas para UHEs (SIMONE, 2010), para menores rotações são necessários pequena queda líquida, maior vazão, alto rendimento, maiores diâmetros do propulsor e maiores quantidades de polos no gerador. Por conta destas características, propulsores *Kaplan* tem se mostrado mais eficientes para atender requisitos para a construção de hidrelétricas de baixa queda, o que de certa forma, também tem contribuído com menores riscos à ictiofauna.

Quando da passagem pela casa de força, os gradientes de pressão aos quais os peixes são submetidos podem gerar alterações nos fluidos corporais, podendo os mesmos supersaturar e provocar situações de embolia no sangue, órgãos, brânquias e barbatanas (BROWN *et al.*, 2014).

Os principais riscos aos peixes, inerentes a variações bruscas de pressão nas turbinas estão atrelados à altura da coluna d'água à montante (desnível entre as pás da turbina e a cota do nível de água do reservatório), ao tamanho do animal, de sua posição na entrada da tomada d'água (aclimatado no fundo ou superfície), a idade do animal e características da espécie (fisóstomos ou fisóclistos). Vale ressaltar que a pressão cresce à medida que se aproximam das pás do hidropulsor, sendo que, logo abaixo das mesmas, ocorre um decréscimo acentuado, podendo ocorrer pressões negativas.

Animais aclimatados no fundo, ou seja, com a bexiga natatória cheia de ar, ao sofrerem rápida descompressão podem apresentar lesões como hemorragias, rompimento ou eversão da bexiga natatória e embolia. Quando da redução brusca da pressão duas situações são evidenciadas: (i) o ar no interior do animal se expande (Lei de Boyle), na mesma proporção que

a redução da pressão (PFLUGRATH, *et al.*, 2012); (ii) a solubilidade pode diminuir (Lei de Henry), promovendo a formação de novas bolhas de ar no interior do animal (BROWN *et al.*, 2012).

Uma forma de se reduzir as taxas de descompressão na região das pás da turbina seria a construção de usinas de baixa queda. Um estudo específico detalhado das taxas de descompressão suportadas por peixes predominantes na região da usina poderia instruir na adoção de barramentos com alturas de queda mais amigáveis aos animais, reduzindo-se assim os riscos de mortes por descompressão abrupta nas espécies consideradas mais vulneráveis.

Analisando as características das UHEs de PEA, LEM e EST é possível observar se tratarem de usinas de baixa queda, ou seja, as pressões hidrostáticas máximas (altura de queda) assimiladas pelos animais próximos às turbinas (logo acima) serão menores, quando comparadas a hidrelétricas de alta queda (acima de 40 m).

A UHE de EST possui as melhores características pela menor altura de queda (18,94 m), proporcionando as menores pressões hidrostáticas na região logo acima das turbinas (comparado a LEM e PEA). Todavia, animais que adentrarem no canal de adução, e que estejam aclimatados em menor profundidade, terão maiores chances de não sofrerem injúrias por gradientes de pressão, haja vista que os gases corporais estarem menos diluídos (BROWN *et al.*, 2014).

A construção de dispositivos de engenharia (rampas direcionais) que conduzissem e mantivessem os peixes próximos ao barramento (montante), em águas superficiais, permitiriam que os mesmos fossem aclimatados em condições de baixa pressão (bexiga natatória menos inflada), aumentando as chances de sobrevivência quando submetidos a acentuada descompressão.

Situações de estresse cisalhante pode ocasionar lesões do tipo danos ao opérculo (responsável pelo fechamento das brânquias), sangramento, pequena ruptura do istmo (região ventral imediatamente abaixo das aberturas branquiais), ferimentos com hematomas, sangramento, lacrimejamento, vincos (marcas de dobras), lesões múltiplas, deficiência de natação, desorientação e perda de equilíbrio (DENG *et al.*, 2010).

Na mitigação de injúrias por cisalhamento, há a necessidade de identificar quais as velocidades de impacto podem oferecer riscos aos peixes. Duas situações precisam ser avaliadas: (i) peixe lento – água rápida, quando a água vem em alta velocidade e colide com o peixe e (ii) peixe rápido – água lenta, peixe vem em alta velocidade e colide com uma massa de água estática.

A identificação das velocidades críticas, as quais possam oferecer riscos, depende de fatores como a espécie de peixe, do tamanho do animal e velocidade da água.

Estas informações permitiriam identificar velocidades “seguras” entre massas de água no circuito de adução, e, a partir daí, pela análise das características do campo de fluxo de água durante o funcionamento da turbina, seria possível, do ponto de vista teórico, gerenciar o escoamento de forma a minimizar a ocorrência de injúrias aos peixes (considerando situações de estresse cisalhante).

Um estudo realizado a partir de fluido dinâmica computacional (CFD – sigla em inglês) pode auxiliar na definição do risco de cisalhamento para o circuito de adução. Os estudos poderiam indicar regiões de maiores riscos, condições operacionais perigosas, o tamanho dos animais mais suscetíveis e quais espécies são mais vulneráveis.

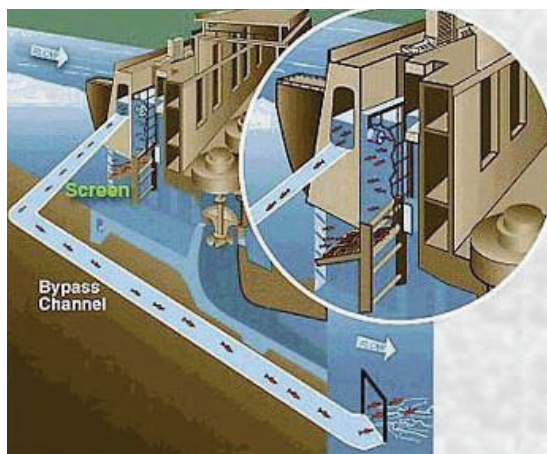
Lesões comuns provocadas por impactos contra partes fixas e móveis (paletas do distribuidor, paredes, pás das turbinas) compreendem amputação, hematomas, decapitação e hemorragia. Os principais fatores relacionados ao risco de ocorrência destas injúrias são o tamanho do peixe (quanto maior o animal, maior o risco), a velocidade do fluxo e o número de paletas e pás (quanto maior a quantidade maior o risco) (DENG *et al.*, 2011).

Sistemas preventivos têm auxiliado os técnicos na minimização de morte de peixes arrastados para canais de adução. Normalmente são baseados em barreiras que evitam a passagem dos animais, ou ainda focados no direcionamento da ictiofauna. Alguns mecanismos de mitigação neste sentido são barreiras físicas (grelhas, telas ou grades), ou ainda comportamentais (som, luz, eletricidade e bolhas).

As grelhas (sistemas de desvios) têm proporcionado resultados promissores. São compostas por uma série de barras posicionadas de forma a indicar uma direção, e assim acabam por conduzir os animais a regiões com menores riscos (LARINIER *et al.*, 2002).

No geral, estes sistemas devem possuir canais específicos construídos para redirecionar os animais sugados para áreas mais “seguras” (escadas de peixes, canais de desvios ou para os vertedouros), evitando-se assim a sua entrada na região das turbinas (Figura 29).

Figura 29 – Desvio na entrada da tomada d'água de UHE



Fonte: <http://fwec.org/nw-hydro-tours/fish-passage-tour/bypass-systems>

O projeto civil das UHEs de PEA, LEM e EST indicam como dispositivo de proteção instalado à montante do canal de adução – para se evitar a entrada de peixes e outros objetos na tomada d'água – grades removíveis com inclinação de 12.43°, 11.31° e 19.73°, e espaçamentos entre as barras verticais de 15, 15 e 14 cm, respectivamente. Todas possuem equipamentos para a realização da limpeza das mesmas (máquina limpa-grades).

Estes espaçamentos de barras não oferecem muita eficiência no impedimento da passagem de peixes, exceto para grandes animais (Jaús na fase adulta por exemplo). Todavia, considerando grandes animais, se as suas capacidades de natação forem reduzidas, eles não conseguirão se afastar e morrerão presos à grade.

Os principais fatores vinculados à eficiência das barreiras físicas são a velocidade do fluxo de água, a forma do corpo, o tamanho do peixe, a magnitude das aberturas da malha, a quantidade de sedimentos carreados pelo rio, a turbidez da água e a capacidade de natação do animal. Peixes com boa capacidade de natação estão menos suscetíveis a se enroscarem nestes equipamentos de proteção.

Quanto ao uso de telas, grades e grelhas é preciso dimensionar as aberturas, de forma a atender uma maior variedade de espécies, considerando ainda os vários estágios de vida dos animais (tamanhos). Assim sendo, é necessário verificar quais as características dos animais em risco, em determinado momento, para se escolher o método de proteção mais adequado.

A escolha do melhor mecanismo de barreira física deve ser avaliada caso a caso. Além disso, um método pode ser eficiente, por exemplo, quando da presença de jaús e ineficiente para impedir a passagem de corvinas. Desta forma, as barreiras físicas devem trabalhar de forma integrada e complementar. Quando grades forem ineficientes, tem-se em seguida as telas, e se estas últimas não tiverem eficiência, usa-se as grelhas.

Vale ressaltar que o uso destes dispositivos de mitigação para corpos hídricos nas quais possuam muito carreamento de sedimentos, geram os custos de manutenção para limpeza dos equipamentos muito acentuados, o que pode levar a tornarem-se economicamente inviáveis.

Outro risco de morte por parte dos peixes junto às turbinas seria durante a parada de máquinas. Nesta situação, existindo cardumes no canal de fuga, os mesmos tendem a entrar no tubo de sucção. Havendo a retomada do funcionamento dos equipamentos de geração, ou ainda, a drenagem da água, os animais estariam submetidos ao risco de injúrias e morte.

Tubos de sucção com formato cônico, como os de PEA, LEM e EST, são muito utilizados em UHEs. Também são conhecidos como aspirador-difusor, pois induzem pressões negativas logo abaixo das pás das turbinas. Tal situação contribui de forma indireta para um acréscimo na altura de queda da usina, ou seja, aumenta a eficiência da turbina para a produção de energia.

Foi observado um episódio de mortandade de peixes em março de 2011 na usina de EST, durante a fase de comissionamento da turbina 1 (IBAMA, 2011). O comissionamento consiste em certificar que os sistemas, equipamentos, dispositivos e componentes estejam projetados, instalados, testados, operados e mantidos conforme as necessidades e requisitos operacionais designados pelos fabricantes (IEC, 1991).

Em EST quando houve a parada da UG (isso ocorreu de forma repetitiva), um cardume de Jaús (*Zungaro zungaro*) localizados à jusante no canal de fuga, entrou pelo tubo de sucção e se alojou na região da turbina. Durante a retomada da operação os animais foram submetidos a condições de perigo, tais como gradientes de pressão, turbulência, estresse cisalhante, supersaturação e impacto contra partes móveis e fixas.

O evento em questão provocou mortandade de um grande número de peixes. Todavia, como já fora observado em outras usinas na bacia do rio Tocantins, não foi documentado informações detalhadas sobre o local, horário, condições climáticas, operação da UHE, tamanho dos animais, peso, tipos de lesões internas e/ou externas, procedência, dentre outras informações. Tal situação traz dificuldades para uma análise mais detalhada quanto à escolha e verificação da eficácia de medidas mitigadoras.

Equipes de operação de UHEs têm adotado algumas medidas para a mitigação da entrada de animais no interior de tubos de sucção. Uma delas é uma manobra popularmente conhecida como “desvia peixe” (LOURES *et al.*, 2016). Tal artifício visa desviar a atenção do peixe para outro local, longe daquele onde ocorrerá a parada da unidade geradora (UG).

Neste sentido, pode-se promover, por exemplo, a redução na vazão de máquinas adjacentes àquela que será parada, servindo de atração aos animais, desviando sua atenção para

outras unidades. As ações adotadas poderão ou não surtir o efeito desejado, sendo necessário uma avaliação, por parte da equipe de meio ambiente, quanto à sua eficiência.

Um importante aliado em paradas de UGs são as comportas ensecadeiras de jusante tipo vagão (stop-log). Elas devem ser baixadas quando da parada das máquinas para se evitar a entrada de animais. Alguns empreendimentos promoveram, já durante a fase de construção, a previsão de “trilhos” complementares, adjacentes ao das comportas, para a instalação de grades, impedindo a entrada de animais ainda durante a fase de redução do fluxo de água na geração.

Para a configuração das UHEs de PEA, LEM e EST, como não há “trilhos” adicionais, poder-se-ia, nas situações em que não houvesse a drenagem do tubo de sucção, substituir as comportas ensecadeiras, por grades com espaçamentos entre as barras reguláveis. Isto permitiria bloquear a entrada de uma maior amplitude de animais na região abaixo das turbinas. O monitoramento das características dos animais nas imediações do canal de fuga poderia subsidiar a definição do espaçamento ótimo das barras.

Quando da drenagem do tubo de sucção é indispensável a realização do resgate dos animais aprisionados em seu interior. Usualmente os peixes são colocados em caixas e levados aos locais de devolução ao rio. Nas usinas de LEM e EST existe grande dificuldade para o transporte dos animais para fora da usina, haja vista a existência de corredores e escadas apertadas. Isto provoca aumento no tempo de resgate, acarretando em maior risco de mortes.

No projeto da UHE de PEA, verificou-se a existência de uma comporta na parte final do tubo de sucção. Esta abertura é utilizada exclusivamente para o salvamento de peixes aprisionados no interior do mesmo. Os animais são capturados (normalmente separados por espécie), colocados em compartimentos de transporte, pesados, içados pelo pórtico utilizado na movimentação das comportas ensecadeiras de jusante, e lançados no canal de fuga. O curto espaço de tempo entre a captura e o lançamento tem contribuído para que as taxas de sobrevivência durante o resgate dos peixes no tubo de sucção de PEA sejam elevadas.

A previsão de implantação de dispositivos e sistemas específicos para salvamento da ictiofauna em tubos de sucção, ainda durante a fase de projeto, são essenciais e indispensáveis em empreendimentos hidrelétricos. As condições de trabalho no salvamento e as possibilidades de sucesso no resgate justificam qualquer custo adicional para a implantação dos mesmos.

5.6 CONCLUSÕES

Não existe uma solução única para a mitigação de morte de peixes em UHEs, haja vista as inúmeras variáveis envolvidas. Na verdade, deve-se sempre conjugar diversos métodos para atingir maior eficiência na proteção da ictiofauna.

As soluções implementadas devem ser complementares e atuarem de forma integrada. A utilização de qualquer dispositivo que vise a mitigação da morte de peixes deve ser balizada por um estudo minucioso quanto à sua eficiência/eficácia, além de avaliar também a probabilidade de interferência dos mesmos no funcionamento da turbina, visto que elas podem provocar perda de carga no equipamento, prejudicando sua performance.

A adoção de qualquer mecanismo de salvaguarda de mitigação será muito facilitada, se a infraestrutura para os mesmos for construída no momento da execução da obra, visto que dependendo do dispositivo, é inviável a sua instalação após o início do funcionamento do empreendimento.

Empreendimentos de baixa queda, propulsores tipo *Kaplan*, redução na velocidade de rotação das turbinas, condições hidrodinâmicas menos impactantes à ictiofauna (operação), implantação de telas, grades, grelhas, sistemas direcionais, dentre outros, podem contribuir de forma bastante relevante para a mitigação da morte de ictiofauna em UHEs.

Aliado a isso, a realização de manobras na operação de empreendimentos hidrelétricos deve acontecer em consonância com os diversos entes ligados ao sistema de gestão da bacia hidrográfica, órgãos ambientais e da geração de energia. A utilização de padrões de funcionamento que atendam os dois lados (empreendedor e preservação da ictiofauna), pode contribuir de forma significativa para preservação dos peixes nas imediações de usinas.

O estabelecimento de regulamentos voltados a mitigar a morte de peixes foi observado em alguns países como a Suécia, Holanda, Noruega e Estados Unidos da América. Alguns elementos importantes observados nas legislações destes países são a definição da entidade/órgão (federal, estadual ou distrital) responsável pela fiscalização, condições mínimas de operação que garantam a segurança da ictiofauna (vazão mínima), monitoramento da qualidade da água, licenças de funcionamento com prazo de validade pré-estabelecido (exceto Suécia) e a não aceitação de eventos de mortes de ictiofauna (exceto Holanda que estabeleceu um patamar máximo).

Apesar de existirem críticas, por parte de cientistas e ambientalistas em pontos específicos destes regulamentos, eles podem fornecer um norte para a criação de normativos com critérios mais robustos para a mitigação de mortes de peixes em UHEs.

É notório que os problemas ocasionados pela construção de empreendimentos hidrelétricos devem ser tratados com mais critérios técnicos, considerando de forma mais equilibrada as questões econômicas e socioambientais, e ainda, levando os estudos a nível de bacia hidrográfica. As abordagens adotadas atualmente se refletem em preocupações meramente econômicas, quando, por exemplo, da elaboração dos projetos de engenharia de UHEs.

Vislumbra-se a necessidade de ampliar a comunicação e o diálogo, proporcionando a participação de entidades de pesquisa, cientistas, ambientalistas e da sociedade em todos os processos, principalmente em regiões mais sensíveis. Nestes casos é perceptível a necessidade da elaboração de estudos regionais, com o objetivo de promover o desenvolvimento sustentável, visando a internalização destas atividades no processo de planejamento para a construção de usinas.

CAPÍTULO VI - OTIMIZANDO TÉCNICAS DE RESGATE E ANÁLISE DE RISCO PARA MORTE DE ICTIOFAUNA EM UHEs

6.1 INTRODUÇÃO

A construção de aproveitamentos hidrelétricos promove interferências bastante representativas de cunho socioambiental, nas quais podem-se elencar a grande área inundada pelo reservatório, remoção de populações ribeirinhas atingidas e alterações relevantes no meio físico-biótico. Neste último, ressalta-se a construção do barramento que se constitui um obstáculo para peixes migradores, além de promover risco de morte à ictiofauna, principalmente quando da realização de manobras.

Alguns dos argumentos utilizados pelos técnicos que visam justificar a implantação de usinas hidrelétricas - UHEs, normalmente estão balizados em demonstrar a necessidade de expansão da oferta de energia, a grande disponibilidade do potencial hídrico brasileiro, que se tratam de usinas com baixíssima emissão de gases poluentes (energia limpa e provinda de recursos renováveis) e custos de geração de energia muito inferiores a outros modais, como por exemplo, solar, termelétrica ou nuclear.

Moreira (2012) destaca que, para calcular os custos e a viabilidade econômica de um projeto hidrelétrico, o Governo Brasileiro não contabiliza a maior parte das externalidades negativas relativas aos custos dos impactos sociais, culturais e ambientais irreversíveis impostos à sociedade em geral, inclusive para as gerações futuras. Pelo contrário, apenas considera os custos para construção da hidrelétrica e para os programas de mitigação e compensação que visam reduzir os seus efeitos adversos de curto prazo.

Uma das principais barreiras na busca de respostas a estes questionamentos está na falta de dados, no que tange a morte de ictiofauna nas imediações de UHEs, disponíveis aos pesquisadores. Para a usina de Luís Eduardo Magalhães - LEM, sobre os eventos de morte de peixes, existem apenas alguns relatórios técnicos e pareceres emitidos por órgãos ambientais e/ou consultorias contratadas pela própria usina, quando da ocorrência de mortandade relevante.

A ausência de informações detalhadas destes registros se reverte em dificuldade na busca de soluções de médio e longo prazo que possam contribuir para a mitigação das mortes de ictiofauna nas imediações da UHE.

Este estudo propõe um protocolo de resgate de peixes mortos com o objetivo de se obter informações mais detalhadas sobre os episódios de morte de ictiofauna. Sugere-se também uma

sistemática para análise do risco de morte, considerando as informações coletadas no primeiro estudo. Os métodos aqui desenvolvidos podem contribuir para a mitigação de eventos de morte de peixes e outros animais aquáticos em hidrelétricas.

Além disso foi estabelecida uma rotina de otimização apoiada nas linguagens de programação *APACHE CORDOVA™* e *PHP* para o desenvolvimento de dois aplicativos, um visando o registro das informações do resgate de animais mortos, e outro para uma análise de risco de forma a subsidiar a equipe de operação da usina quanto ao risco de realização de manobras na UHE.

O estudo aqui apresentado está estruturado com relatos de peculiaridades do projeto da usina de LEM e comentários sobre eventos de morte de peixes nesta UHE. Posteriormente propõe-se dois protocolos, um para o resgate de animais mortos e outro para se realizar uma análise de risco de modo a subsidiar a realização de manobras em LEM. Por fim os protocolos foram transcritos para aplicativos de forma a potencializar a aplicabilidade dos mesmos.

6.2 MORTE DE PEIXES À JUSANTE DE LEM

Pesquisas têm indicado que, em determinadas ocasiões, pode existir uma relação entre manobras realizadas em UHEs, como por exemplo, alterações na vazão vertida ou ainda na geração, com episódios de morte de peixes nas proximidades de usinas (LOURES E GODINHO, 2016).

Observando o projeto de engenharia para a construção de LEM verifica-se que o canal de fuga, responsável pela restituição da água turbinada ao rio foi escavado em rampa ascendente com cota máxima (encontro com a calha do rio) de 172 m. Todavia, na restituição da água vertida, as escavações, segundo projeto, foram realizadas apenas até poucos metros após a bacia de dissipação, cuja laje se encontra na cota 174 m (dois metros acima da cota máxima do canal de fuga).

A partir da bacia de dissipação do vertedouro, a água segue pelo leito natural do rio com muitas irregularidades, cujas cotas de nível apresentadas em projeto indicam variações de 164 m a 182 m. Os memoriais de cálculo relativo ao empreendimento, indicam que o nível de água mínimo de jusante ficaria na cota 173,2 m. Tal cota estava prevista quando da construção da UHE de Tupiratins, entretanto não há previsão de construção deste empreendimento, e desta forma, a cota de jusante em LEM pode ficar abaixo de 173,2 m dependendo da geração ou vertimento de água da mesma. Um dique foi construído para permitir que parte dessa área à jusante ficasse sempre alagada, reduzindo-se o risco de encalhamento de peixes.

Contudo, à jusante do barramento do dique, o canal de restituição da água vertida ainda apresenta diversas irregularidades de nível, aos quais, dependendo das variações existentes na vazão defluente e, por consequência do nível de jusante, podem oferecer riscos de aprisionamento de peixes em poças formadas quando da redução do nível da água, mesmo com a cota mínima prevista de 173,2 m.

Dos eventos de mortandade relevante de ictiofauna em LEM, registrados em autos de infração emitidos pelos órgãos ambientais (IBAMA, 2003; NATURATINS, 2014), pode-se elencar alguns elementos importantes no que tange às injúrias observadas, citam-se: morte por aprisionamento em poças (asfixia), hemorragias, rompimento de bexiga natatória, eversão de bexiga natatória, embolia e exoftalmia.

Vale ressaltar que existem indícios da relação entre as manobras e as mortes evidenciadas nos relatórios apresentados aos órgãos de fiscalização, entretanto, não se observa uma investigação mais aprofundada na maioria dos episódios relatados sobre morte de ictiofauna. Vários fatores podem promover a morte de peixes, tais como baixo nível de oxigênio dissolvido, temperatura da água, poluição, gradientes de pressão, dentre outros.

Grande parte dos documentos disponíveis sobre mortandade de peixes não apresentam preocupação em buscar informações detalhadas do local dos episódios, das causas das injúrias, das espécies mortas, do cuidado em esmiuçar as características das lesões observadas, da possível procedência dos animais, das características ambientais e do funcionamento da usina. Isto tem dificultado em demasia pesquisas que visem contribuir para a identificação de soluções para a morte da ictiofauna.

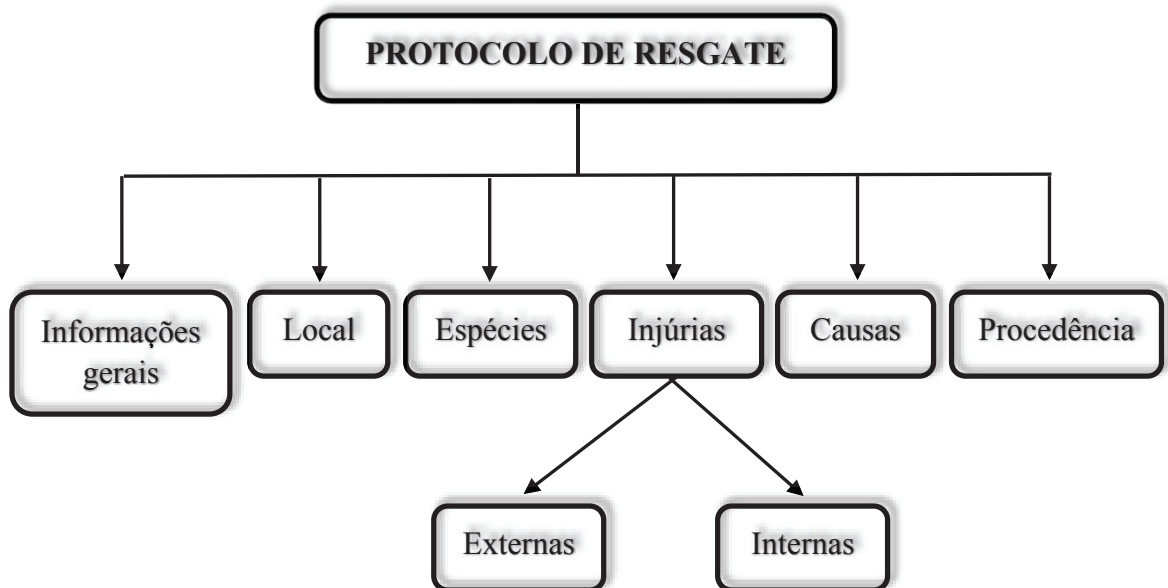
Loures e Godinho (2016) apresentaram estudos que tinham como foco uma avaliação do risco de morte de peixes em UHEs. O trabalho foi fundamento na análise de séries históricas de episódios de mortes, nas manobras realizadas, no período do ano e nas espécies mais atingidas. Tais informações visavam subsidiar a usina de forma a avaliar o risco da execução de manobras. O trabalho desenvolvido só foi possível a partir de uma força tarefa composta por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento que promoveram a coleta das informações, por vários anos, em diversas usinas do estado de Minas Gerais.

Todavia, para o estudo aqui realizado, observou-se que as informações existentes sobre morte de ictiofauna concentram-se apenas em identificar a quantidade de biomassa morta, as espécies envolvidas e a data dos episódios.

6.3 PROTOCOLO PARA O RESGATE DE ICTIOFAUNA

O protocolo proposto visa a montagem de um banco de dados relativo a ocorrência de morte de ictiofauna em hidrelétricas. Tais informações produzirão elementos para que pesquisas futuras possam subsidiar a operação da UHE na tomada de decisões que visem minimizar os riscos à ictiofauna oriundos do funcionamento de uma usina. Um fluxograma contendo os procedimentos gerais do protocolo é apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Fluxograma com proposição do procedimento de resgate de ictiofauna



Fonte: elaborado pelo autor.

As fontes de informação precisam estar devidamente identificadas (qual usina), caracterizadas quanto ao momento da coleta (data e hora), além de apresentar detalhes sobre as condições atmosféricas do momento das mortes. Informações relevantes são referentes à situação operacional da usina (turbinas, vertedouros e escada de peixe, se existir), que podem contribuir para futuras análises quanto às causas de mortes.

Haja vista um melhor detalhamento dos locais de coleta de animais mortos, pode-se introduzir os pontos de resgate na forma de coordenadas geográficas, acrescentando também, elementos que possam ter contribuído para as ocorrências de lesões, como por exemplo, componentes construtivos nas imediações (barramento, escada de peixe, vertedouros, tubo sucção, dentre outros).

reforçar as ações e procedimentos de inspeção que visem acompanhar o comportamento de cardumes.

Além disso, deve-se promover um aperfeiçoamento das técnicas de resgate de animais mortos com o objetivo de coletar dados mais precisos de tais episódios. Para tanto, os dados fornecidos pelo aplicativo desenvolvido para resgate de peixes (*FISHRESCUE APP*) permitirá a criação de um banco de dados para auxiliar na identificação de soluções mais eficientes que visem mitigar injúrias e morte de ictiofauna.

Estas informações poderão contribuir para estudos mais aprofundados que visem a adoção de elementos de projeto e de procedimentos amigáveis, tais como construção de usinas de baixa queda, dispositivos que promovam aclimatação dos peixes em águas superficiais nas proximidades da tomada d'água, canais de desvios, menores velocidades de rotação das turbinas, operação de usinas em flat (sem variações bruscas na geração) e adoção de rampas de operação adequadas.

A avaliação do risco de morte de peixes pode subsidiar o empreendedor para a tomada de decisão de realizar ou não manobras em turbinas e vertedouros, podendo assim contribuir para a redução de eventos de mortandade, principalmente à jusante de UHEs.

De forma geral, algumas das principais sugestões que visa prevenir injúrias e mortes de ictiofauna em UHEs são: (i) o monitoramento da ictiofauna nas proximidades da UHE; (ii) medir o risco para a realização de manobras em função de variáveis chave (abundância, localização, parâmetros ambientais, histórico de mortes, cota de jusante); (iii) promover o registro detalhado das informações de morte de peixes no empreendimento; (iv) utilizar de novas tecnologias que visem auxiliar no trabalho da mitigação, tais como sonares, sensores para monitorar a qualidade da água (turbidez, OD e temperatura), drones com câmeras digitais, Apps, dentre outros.

Soluções para a mitigação de mortes de ictiofauna em UHEs precisam estar balizadas em estudos prévios de monitoramento com informações precisas e confiáveis. Até então, não se observa, ou ainda, não há disponibilidade de tais dados de forma a subsidiar técnicos, pesquisadores ou cientistas, no sentido de desenvolver mecanismos de mitigação apropriados para se evitar a morte e injúrias em peixes nas usinas da bacia do rio Tocantins.

Ademais, os programas de mitigação e compensação devem levar em consideração as adversidades e peculiaridades existentes em cada empreendimento, as características da ictiofauna presente na região, e ainda, contemplando problemas que podem ocorrer no médio e longo prazo, inclusive casos infortuitos (eutrofização, aumento de população de peixes, etc.).

CAPÍTULO VII - ACÚSTICA SUBAQUÁTICA EM LUÍS EDUARDO MAGALHÃES

7.1 INTRODUÇÃO

Vários dos impactos potenciais na ictiofauna decorrentes da construção de usinas hidrelétricas (UHEs) foram avaliados por estudiosos espalhados pelo mundo (AGOSTINHO *et al.*, 2008; CREW *et al.*, 2017; FEARNSSIDE, 2014, 2016; KEEFER *et al.*, 2013; LANGFORD *et al.*, 2015; LOURES e GODINHO, 2016).

Cada empreendimento possui características próprias em função da sua região de implantação. É imprescindível conhecer as especificidades de cada UHE, e também da ictiofauna da bacia hidrográfica (este último realizado no EIA/RIMA), para que as medidas mitigadoras a serem aplicadas possam desempenhar uma ação mais efetiva e sustentável.

Pesquisas sobre mitigação da morte de peixes em UHEs no Brasil precisam ser intensificadas, principalmente aquelas voltadas a compreender as causas e consequências de sua ocorrência em empreendimentos localizados na região norte do país, foco da construção de novas usinas pelo governo brasileiro (ANEEL, 2019).

Investigações sobre o impacto gerado por sons ou ruídos, antropogênicos ou não, sobre a ictiofauna, ainda são pouco investigados na América do Sul. Sons subaquáticos tem se intensificado, principalmente pela interferência do homem (antropogênicos), como por exemplo, advindos de embarcações, estações de bombeamento para irrigação, captação de água para consumo humano, construção de barramentos, funcionamento de hidrelétricas, dentre outros.

A água possui melhores condições de propagação do som quando comparada com o ar. Tal fato se deve a alta densidade molecular do líquido, sendo sua velocidade de transmissão da ordem de cinco vezes maior (1500 m/s). Esta diferença permite que o som viaje a distâncias maiores e também com maiores níveis de amplitude de onda (SLABBEKOORN, *et al.*, 2010). Estudos realizados por Zimmer (2011) indicam que é possível observar sons de animais marinhos localizados a centenas de quilômetros de distância.

Diversos ruídos (sons) podem ser notados nas proximidades de hidrelétricas, sejam eles antrópicos (operações de turbinas, vertedouros e movimentação de embarcações), ou ainda naturais como os provenientes da chuva, turbulências ocasionadas por obstáculos naturais ou vocalizações da ictiofauna.

Algumas espécies de peixes tendem a migrar nas bacias hidrográficas, seja para fins de reprodução, dispersão ou alimentação. Os mecanismos utilizados por estes animais para definir a melhor hora de realizar tais movimentações, ou de como eles se orientam, ainda não são muito claros. Todavia, algumas proposições estão calcadas em variáveis tais como mudança de temperatura, período de chuvas, aumento no fluxo de água, sons diversos, dentre outros (AGOSTINHO *et al.*, 2007).

Considerando a existência de uma hidrelétrica, durante eventos de migração, os peixes são atraídos a regiões com risco de mortes nas UHEs, como por exemplo os vertedouros, tubos de sucção e turbinas. Além disso, os níveis de pressão sonora desenvolvidos nas imediações destes locais, também podem representar risco à ictiofauna. Estudos realizados por Slabbekoorn *et al.* (2010), ressaltam a necessidade de se controlar os níveis de ruído, haja vista que eles podem contribuir para a ocorrência de injúrias, ou ainda, atordoá-los de forma a deixá-los suscetíveis à predação.

O ruído se propaga em ambientes aquáticos na água por meio de ondas (compressão e rarefação), ou ainda no próprio leito do rio. As mudanças de pressão ocasionadas pelas ondas sonoras podem afetar os gases existentes no interior dos peixes. Estes gases podem se expandir e contrair em situações suscetíveis a variações bruscas de pressão. Na ictiofauna, isto pode levar a ocorrência de danos em tecidos, hemorragias, embolias, eversão de órgãos internos ou rompimento da bexiga natatória (HALVORSEN, *et al.*, 2011).

O som propaga-se conforme algumas propriedades físicas do ambiente. Em um rio, as principais características influenciadoras são a estrutura do leito, a vegetação, a profundidade e a temperatura. Estes elementos promovem múltiplos e complexos caminhos para a propagação das ondas sonoras, causando distorção e limitações na sua difusão (SLABBEKOORN, *et al.*, 2010).

Neste estudo, por meio de um hidrofone instalado à jusante da usina de Luís Eduardo Magalhães (LEM) foram realizadas medições da paisagem acústica considerando sons produzidos pela geração e também quando há água vertida. O cenário acústico foi influenciado principalmente pelas características da geração e nível de abertura dos vertedouros. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi identificar o comportamento do espectrograma, do nível de pressão sonora e da densidade espectral de energia, quando da realização de manobras para o funcionamento da usina. O período em questão foi escolhido, haja vista se tratar de momentos de cheias dos rios da região, sendo necessário, nestes casos, o acionamento dos vertedouros para descartar o excesso de água do reservatório da usina.

As gravações de campo permitiram identificar elementos das vibrações sonoras e seu comportamento, considerando situações rotineiras na UHE no que tange a necessidade da realização de manobras. Tais informações podem contribuir para a identificação de modos de operação que possam influenciar na conduta da ictiofauna à jusante do barramento de LEM, e ainda, se existe a possibilidade da ocorrência de injúrias na ictiofauna motivadas pela propagação das ondas de pressão sonora.

7.2 METODOLOGIA

A UHE de Luís Eduardo Magalhães está localizada no rio Tocantins ente os municípios de Miracema do Tocantins e Lajeado (TO). Seu reservatório ocupa uma área de 630 km², afetando áreas dos municípios de Miracema do Tocantins, Lajeado, Palmas, Porto Nacional, Brejinho de Nazaré e Ipueiras (TO).

A barragem possui um comprimento de crista de 2.034,43 metros lineares e uma altura máxima de 74 metros. O vertedouro é composto por catorze comportas de superfície do tipo segmento, com largura de 17 metros por altura de 23,3 metros cada. Sua capacidade de vazão é de 49.870 m³/s. A casa de força possui cinco turbinas tipo *Kaplan* com capacidade de geração de 180,5 MW cada, potencial total de 902,5 MW e vazão nominal de 700 m³/s (cada unidade).

Os níveis de pressão sonora foram gravados durante o período de março a maio de 2017, haja vista se tratar de meses em que existe a utilização dos vertedouros devido a um acréscimo do volume de chuvas na região. O local estabelecido para a coleta dos dados de intensidade sonora estava localizado no acesso para a escada de peixes à jusante do barramento (latitude de 9°45'1.872" S e longitude 48°22'6.383" W).

Dois padrões de operação (cenários) foram considerados no estudo: (i) turbinas funcionando e vertedouro fechado; (ii) turbinas funcionando e vertedouro aberto. Na situação (i) houve uma redução na potência de geração durante as medições, e na (ii) estabilidade na geração e no volume de água vertida.

O primeiro cenário avaliado considerou os níveis de ruído advindos da geração com o hidrofone posicionado na entrada da escada de peixes de LEM, a leitura foi realizada com os vertedouros fechados. As medições foram realizadas com uma amostra temporal que variou para os dias analisados: (i) 17/03/2017 de 14:18 às 14:58 horas (profundidade do hidrofone de um metro); (ii) 12/04/2017 de 13:13 às 13:55 horas (profundidade do hidrofone de 2,5 metros); (iii) 12/05/2017 de 15:00 às 16:00 horas (profundidade do hidrofone 2,5 metros). No segundo

padrão de operação foram realizadas medições apenas no dia 07/04/2017 de 7:53 às 8:48 horas (profundidade do hidrofone de 3,3 metros). As medições foram realizadas com o equipamento em uma embarcação estacionada no ponto escolhido para a medição. O hidrofone foi posicionado na profundidade média do ponto de avaliação, estabelecendo desta forma, uma padronização para a obtenção dos sons produzidos nos cenários observados durante o experimento. Vale ressaltar que a profundidade varia em função do volume de água expelido pelos vertedouros e turbinas.

O equipamento utilizado foi um conjunto de gravação e hidrofone com sensibilidade de 154 dB *rel 1 μ Pa*, resolução de 16 bits com fonte de alimentação em corrente contínua de 12 Volts. As bandas de frequências gravadas estavam entre 500 Hz e 15 kHz. Neste trabalho utilizou-se um equipamento similar ao descrito em trabalhos anteriores para aquisição de dados (CALDAS_MORGAN *et al.*, 2015). O dispositivo de gravação, uma vez acionado, gerou um arquivo de áudio (extensão *WAV*) a cada 2 minutos, que posteriormente foram unidos e tratados visando a retirada de ruídos indesejáveis (principalmente colisão de marola com a embarcação e vocalizações de animais).

Por outro lado, o hidrofone utilizado, em função de suas características técnicas (alta sensibilidade), não permitiu a gravação de sons em locais com ruído de grande intensidade, como por exemplo, nas proximidades da saída do tubo de sucção e adjacências da bacia de dissipação quando dos vertedouros abertos (ruído excessivo e muita turbulência).

Os arquivos gravados com taxa de amostragem de 44,1 kHz foram tratados pelo programa *Rstudio*[®] (R CORE TEAM, 2016). O algoritmo desenvolvido no *Rstudio*[®] utilizou uma modelagem baseada na teoria da série de *Fourier* (MERCHANT *et al.*, 2015), e permitiu gerar os gráficos de espectrograma (frequência x tempo), densidade espectral de potência (PSD x frequência) e nível de pressão sonora no tempo (SPL x tempo).

Apesar dos trabalhos de campo fornecerem áudios de cerca de sessenta minutos de gravação, as configurações de hardware disponíveis para o estudo, só possibilitou a análise de arquivos sonoros de no máximo vinte minutos. Estudos com registros maiores só seriam possíveis com equipamentos computacionais mais robustos, com processadores matemáticos sofisticados e maiores capacidades de memória RAM. Neste sentido, foram modelados apenas os primeiros vinte minutos de gravação para cada dia de trabalho de campo.

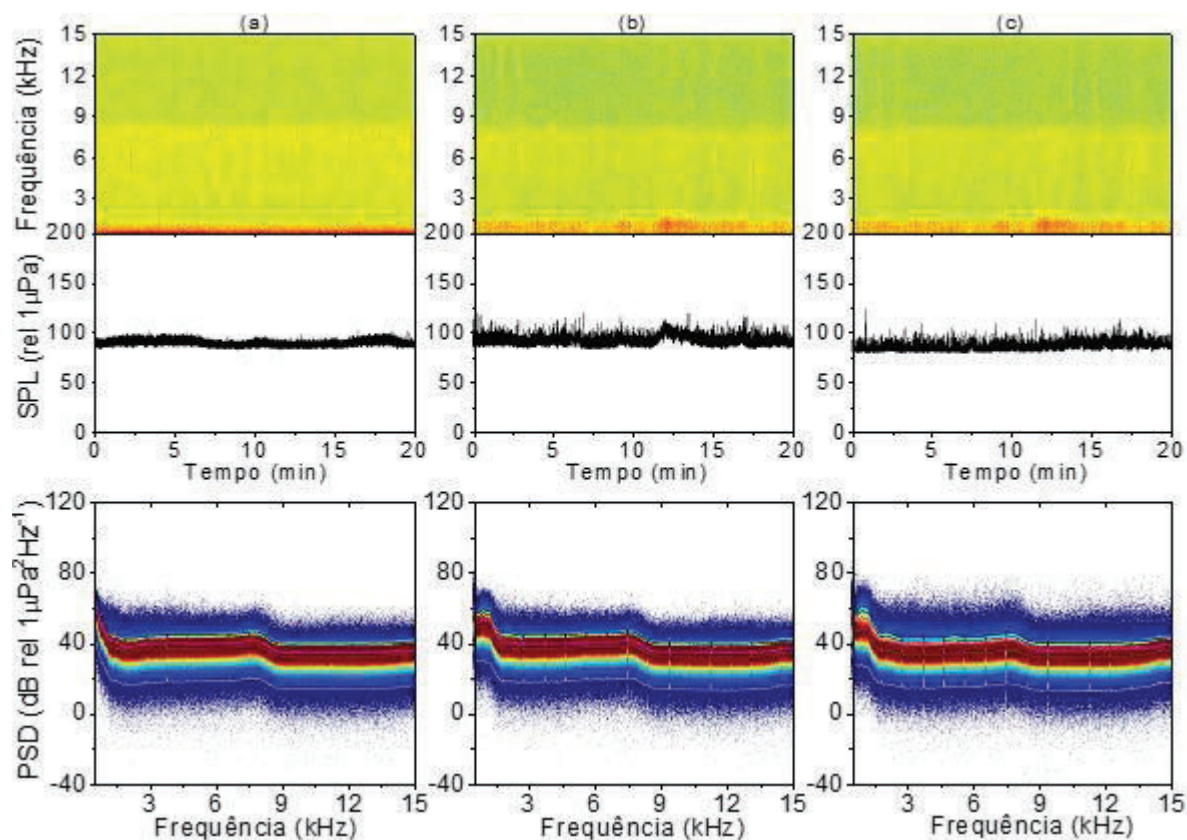
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ladich e Fay (2013) apresentaram estudos referentes a capacidade auditiva (limites auditivos) de algumas espécies de peixes. Eles utilizaram a técnica do potencial evocado auditivo de tronco encefálico, na qual registra a atividade elétrica do ouvido interno até o tronco encefálico, quando os animais são submetidos a algum estímulo auditivo.

As espécies estudadas por estes pesquisadores possuíam faixas de percepção auditiva que variaram entre 100 Hz e 5 kHz, neste intervalo observou-se maior sensibilidade a sons de baixa frequência e menores valores de SPL. Neste trabalho, buscou-se entender as mudanças na paisagem acústica à jusante da UHE de Luís Eduardo Magalhães em diferentes cenários investigados, considerando a faixa auditiva audível pelos peixes (LADICH e FAY, 2013).

O Gráfico 9 ilustra o espectrograma, o nível de pressão sonora (SPL) e densidade espectral de energia (PSD) indicadas para três coletas em dias diferentes com intervalos de aproximadamente um mês entre as gravações.

Gráfico 9 – Cenário investigado: vertedouro fechado.



Observações: espectrograma, nível de pressão sonora (SPL) e densidade espectral de energia (PSD) da parte superior para parte inferior em diferentes datas: (a) 17 de março 2017 (b) 12 de abril 2017, e (c) 12 de maio 2017

Fonte: o autor.

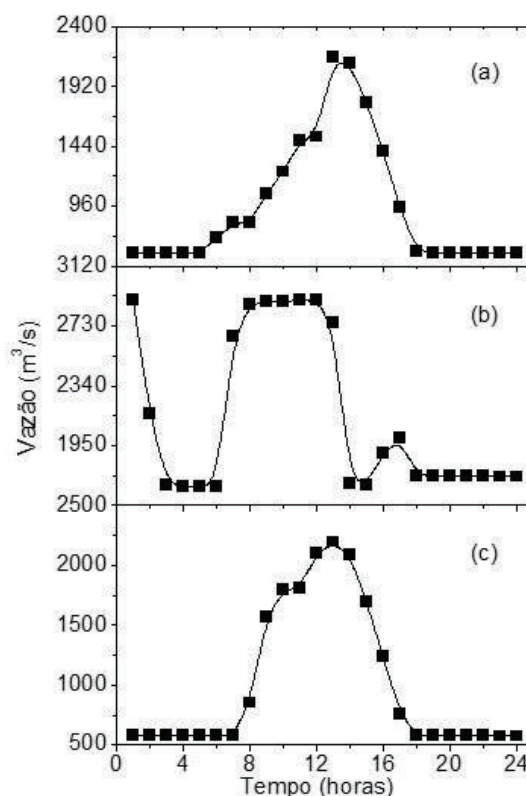
Uma análise comparativa entre as três situações de monitoramento de campo, os gráficos de espectrograma apresentam certa padronização demonstrando três faixas horizontais bem definidas. Uma primeira região inferior vermelha, relativa a captação de sons de baixa frequência (0,5 a 1,5 kHz), uma segunda região com tonalidade mais amarelada entre 1,5 kHz e 8 kHz (frequência intermediária) e por fim, acima de 8 kHz tons amarelo-verde (alta frequência). O nível de pressão sonora (SPL) não mostrou variações consideráveis entre os três dias de observação.

As variações das tonalidades observadas nos espectrogramas estão relacionadas com a densidade espectral de energia (PSD). A parte inferior do Gráfico 9 ilustra o PSD em função da frequência para as diferentes gravações. Nestes resultados, foram consideradas as curvas de coloração rosa, na qual indicam os valores médios quadráticos calculados para o PSD.

Para as baixas frequências (0,5 a 1,5 kHz) na qual estão representados na faixa vermelha do espectrograma, encontram-se os níveis mais elevados de sons com intensidades de energia entre 40 e 70 dB *rel* $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$. Observou-se para neste intervalo de frequências, especialmente para região de baixas frequências em torno de 1 kHz, um pico de intensidades no gráfico de PSD nos Gráficos 1b e 1c. De maneira geral, os espectrogramas com frequências intermediárias entre 1,5 e 8 kHz apresentaram intensidades estáveis por volta de 40 dB *rel* $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$. Nas áreas de alta frequência, acima de 8 kHz, também se observou comportamento estável, mas com uma leve redução para cerca de 38 dB *rel* $1 \mu Pa^2 Hz^{-1}$.

A fim de relacionar os dados obtidos da acústica com as mudanças impostas pela operação da usina, os dados de vazão total através das turbinas foram resumidos no Gráfico 10. Entre os meses de março e maio, para os dias de coleta estudados neste trabalho, a operação da usina influenciada pela demanda de energia apresentou um pico de geração e conseqüentemente de vazão por volta das 12 horas. Estas mudanças permitiram relacionar o perfil acústico com as mudanças de operação.

Gráfico 10 – Vazão total registrada nas turbinas de LEM.



Observação: ano de 2017 nos dias: (a) 17 de março, (b) 12 de abril e (c) 12 de maio

Fonte: o autor.

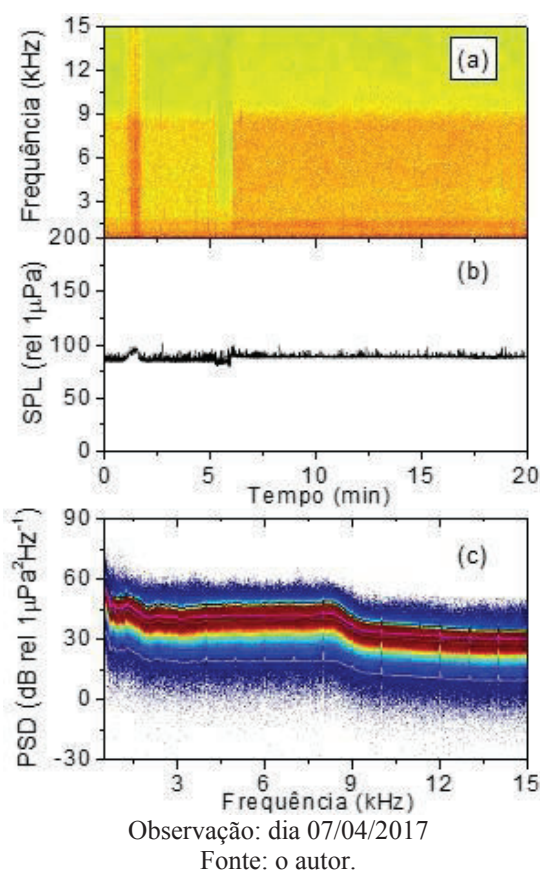
Analisando o perfil acústico para o dia 17 de março durante a coleta de campo, por volta das 14 horas as turbinas 1, 2, 3 e 4 estavam operando com vazão turbinada de $2106 \text{ m}^3/\text{s}$. Entre 14 e 15 horas houve uma leve redução na geração, passando para $1794 \text{ m}^3/\text{s}$ de vazão (aproximadamente 15% de queda). Para o dia 12 de abril, às 13 horas todas as unidades de geração (UG) estavam funcionando com vazão de $2748 \text{ m}^3/\text{s}$.

Todavia, ao longo do intervalo de medição, houve uma redução na vazão um pouco mais acentuada, caindo para $1707 \text{ m}^3/\text{s}$ de média (38% de variação). No dia 12 de maio todas as Unidades Geradoras (UGs) estavam trabalhando (exceto a UG 2) com média de vazão de $1693 \text{ m}^3/\text{s}$, entretanto houve uma redução de vazão ao longo do período gravado para $1235 \text{ m}^3/\text{s}$ (27% de queda). De fato, a análise do perfil acústico no Gráfico 9b e 9c mostraram pequenas variações, principalmente na região de baixa frequência, que indicou um aumento na energia das vibrações subaquáticas registradas.

O maior volume de água disponibilizado no reservatório da usina possibilitou a investigação do segundo cenário, que considerou o perfil acústico à jusante da usina na entrada da escada de peixes, para avaliar a influência sonora com a vazão simultânea no canal de fuga e nos vertedouros.

Considerando os vinte primeiros minutos de gravação, o cenário indicou que neste dia, a usina operou as turbinas (entre sete e oito da manhã), com produção estável de 1773 m³/s de vazão. Nos vertedouros também houve estabilidade na vazão (1936 m³/s). Os resultados da modelagem podem ser observados no Gráfico 11 apresentado a seguir.

Gráfico 11 – Espectrograma, SPL e PSD.



A observação do espectrograma (Gráfico 11a) ainda apresenta três faixas de tonalidades, a primeira na parte inferior mais avermelhada, uma intermediária menos avermelhada e a terceira com tons mais amarelados. Neste gráfico a maior intensidade em energia é apresentada através das cores avermelhadas, como pode ser verificada na curva calculada para o PSD, no Gráfico 11c.

O Gráfico 11b também evidencia dois episódios especiais. O primeiro por volta de 1,5 minuto na qual houve um aumento repentino do SPL. O segundo na faixa de 5,5 minutos na qual houve redução momentânea dos níveis de SPL. Não existem elementos suficientes para que se possa justificar tais alterações. Todavia, pode-se inferir algumas hipóteses como variações pontuais no funcionamento das turbinas ou dos vertedouros, visto que, as informações da usina (geração e vertimento) estão disponíveis apenas de hora em hora.

O Gráfico 11c indicou que quando o vertedouro está aberto, os valores de PSD são sensivelmente maiores quando comparado aos níveis observados no Gráfico 9. O gráfico ainda apresenta uma perturbação em torno da frequência de 1kHz (pico), todavia, também não há elementos que possam justificar tal fato.

Os resultados das medições de campo indicaram claramente a influência do funcionamento dos vertedouros na paisagem acústica. O cálculo da densidade espectral de energia para a região de frequências entre 1 e 8 kHz mostrou um valor médio quadrático aproximado de $45 \text{ dB rel } 1\mu\text{Pa}^2\text{Hz}^{-1}$ com a abertura do vertedouro, em contrapartida, $40 \text{ dB rel } 1\mu\text{Pa}^2\text{Hz}^{-1}$ com os vertedouros fechados, um aumento de aproximadamente 12,5%.

Por se observar, neste caso, uma maior intensidade sonora, quando dos vertedouros abertos, isto pode promover características de atração ou repulsão mais intensas para algumas espécies de peixes, direcionando-os ou não, para a área do vertedouro. Apesar dos estudos de Ladich e colaboradores (2013) apontarem a relação entre audição de algumas espécies e as estruturas sensoriais em laboratório, pouco se sabe sobre as situações em campo em relação ao aspecto comportamental de atração ou repulsão das espécies de peixes.

7.4 CONCLUSÕES

Durante a migração, os peixes podem ser atraídos por fatores como a correnteza (turbulência), temperatura, alimento, procura por locais de desova, velocidade da água, época do ano, sons dissipados na água, dentre outros (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

Esta pesquisa avaliou a paisagem acústica de LEM considerando cenários distintos no funcionamento das turbinas e vertedouros. Os resultados indicaram que a água vertida promoveu variações em função da frequência e dos níveis de vibração subaquática observados à jusante do barramento. Neste caso, os sons emitidos por estes elementos podem atuar como mais atrativos à ictiofauna, conduzindo-os a locais próximas aos vertedouros. Tal área na UHE de LEM pode oferecer risco de morte de peixes, principalmente por encalhamento, quando da redução dos níveis de jusante.

Mais estudos serão necessários de forma a entender como funciona a percepção dos peixes no que tange a atuação destes elementos sonoros no seu comportamento (atração ou repulsão). Além disso, sua continuidade pode auxiliar na compreensão da sensibilidade das diversas espécies de ictiofauna existentes no local quanto às variações da intensidade sonora.

Esta pesquisa abre uma porta, a qual poderá oferecer um caminho que possa contribuir para a mitigação da morte de ictiofauna em usinas hidrelétricas, possibilitando, quem sabe no futuro, a construção de dispositivos que possam guiar os animais a caminhos migratórios considerados mais seguros.

CAPÍTULO VIII - O CONTRAPONTO ENTRE SUSTENTABILIDADE E A CONSTRUÇÃO DE HIDRELÉTRICAS

8.1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia e o forte viés para a utilização de empreendimentos de geração de eletricidade por meio de hidropulsores por parte do governo brasileiro, ainda permitirá a construção de várias usinas hidrelétricas (UHEs), tendo em vista os estudos de inventário já realizados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE (BRASIL, 2017).

A expansão dos aproveitamentos hidrelétricos nas últimas décadas tem provocado alterações em praticamente todas as grandes bacias hidrográficas do planeta (NILSSON *et al.*, 2005; AGOSTINHO *et al.*, 2007a, 2012).

No Brasil, nos últimos anos, observou-se uma pequena alteração no ranking dos modais de produção de energia, principalmente na representatividade da hidroeletricidade (BRASIL, 2018). Algumas plantas de produção baseadas, principalmente na energia eólica e solar, entraram em operação. Todavia, trata-se ainda de uma transformação bastante tímida, quando comparada a países da Europa que possuem forte tendência para a utilização de usinas fotovoltaicas e eólicas para a geração de eletricidade.

Fato é que não se deve priorizar a geração em apenas um modal. É indispensável promover uma diversificação, proporcionando ao Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, responsável pelo gerenciamento da produção de energia no Brasil, uma maior segurança operacional.

A construção de hidrelétricas provoca uma série de alterações ao longo do rio, tanto durante sua construção, quanto na fase de operação. Algumas dessas modificações estão relacionadas a velocidade de fluxo da água (ambiente passa de lótico para lântico), promoção da eliminação de locais de desova e berçários, modificação na quantidade e qualidade da água, mudanças de temperatura, turbidez, nível de oxigênio, perfil da calha do rio, interferências nos processos de cheias e prejuízos na desova e na sobrevivência de filhotes (AGOSTINHO *et al.*, 2007a).

Tais fatos têm contribuído para uma forte discussão em segmentos da sociedade (comunidades atingidas, pesquisadores, ambientalistas, técnicos e organizações não-governamentais), no sentido de questionar se UHEs são empreendimentos sustentáveis, considerando principalmente os problemas advindos da sua construção (socioambientais,

supressão de paisagens, perdas de patrimônio histórico, interferências em modos de produção, dentre outros).

Neste sentido, torna-se necessária uma discussão sobre a continuidade da implantação de usinas (previsão de várias para a região norte do Brasil), em grandes rios com enorme biodiversidade, populações tradicionais, e a necessidade de se atender à crescente demanda de energia visando sustentar os crescentes níveis de consumo, a acumulação e reprodução do capital, etc.

8.2 DISCUSSÕES

Um ponto relevante sobre os problemas advindos da implantação de usinas no que tange à ictiofauna está relacionado ao barramento. Ele funciona como um obstáculo à passagem dos peixes para posições localizadas nas cabeceiras ou na foz dos corpos hídricos. Os animais migradores são os mais afetados neste sentido, pois normalmente tendem a ascender o rio procurando habitats diferentes por fatores como desova para reprodução, dispersão, berçário, refúgio contra predadores ou à procura de alimento.

Apesar da existência de dispositivos de transposição (escada de peixes, elevadores, canais de transposição, dentre outros), não há garantias de que estes elementos consigam atender de forma satisfatória situações de migração de peixes, principalmente considerando a enorme diversidade de animais presentes em rios de regiões tropicais. Um exemplo típico, trata-se da quase inexistência de estudos que indiquem se os modelos de projetos largamente utilizados em UHEs para escadas de peixes no Brasil, visando possibilitar a migração de peixes tropicais, realmente conseguem atender seus objetivos.

De forma geral, os riscos de morte de ictiofauna estão relacionados à presença de abundância de animais nas imediações de UHEs. Existe certa dificuldade em identificar fatores que possam contribuir para a existência e permanência de peixes nas proximidades de usinas. Estudos realizados por Fernandez *et al.* (2004) indicaram que na escada de peixes de Itaipu, a temperatura e a vazão turbinada tiveram influência relevante sobre a quantidade de peixes em transposição.

Na usina de LEM, Agostinho *et al.* (2007a) relataram que variações temporais no nível da água e na velocidade do fluxo mostraram-se fatores importantes na atração de cardumes na entrada da escada de peixes. Na UHE de Santa Clara, Pompeu e Martinez (2006) apontaram que o aumento da abundância de peixes se deu a partir do aumento da vazão do rio.

Os fatores que poderiam induzir a presença de cardumes nas imediações de hidrelétricas podem ser os mais diversos possíveis, tais como: a vazão, a velocidade da água, a temperatura, a época do ano, a espécie do peixe, ou ainda, o aumento inesperado na população de determinados indivíduos.

Alguns estudos vêm considerando que períodos de maior vazão turbinada ou vertida tem influenciado tal fato (LINNIK *et al.*, 1998; RIVINOJA *et al.*, 2001; SCRUTON *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2012; THORSTAD *et al.*, 2003).

A impossibilidade de transposição da barragem, pode proporcionar acúmulo de peixes à jusante ou montante da mesma. A existência de grandes quantidades de animais nas proximidades da hidrelétrica sugere riscos à vida dos mesmos, como por exemplo da ocorrência de mortandade no caso de manobras desenvolvidas durante o funcionamento da usina.

Todavia, não seria razoável o fato de promover um investimento de bilhões de reais para a construção de uma UHE, e durante o seu funcionamento, não ser possível realizar manobras para aumento ou redução da produção de energia, conforme orientação do Operador Nacional do Sistema - ONS, tendo em vista a possibilidade de mortandade de peixes localizados nas proximidades do barramento. Também não se pode tomar como razoável, por exemplo, uma exigência de redução de produção de energia, e por consequência, redução nos lucros por parte do empreendedor, como única saída para se resolver uma situação de morte de ictiofauna.

Uma das formas adotadas por técnicos para reduzir o impacto advindo de UHEs foi o critério adotado de não construir um megaempreendimento, e sim várias usinas menores ao longo da bacia hidrográfica (usinas a fio d'água). Neste caso, as estruturas são menores, o reservatório menor e a interferência no ecossistema teria menor representatividade. Trata-se de uma boa solução quando se faz uma análise do ponto de vista local.

Tal situação é evidenciada no rio Tocantins, na qual existe uma sequência de usinas em cascata (Cana Brava, Serra da Mesa, São Salvador, Luís Eduardo Magalhães, Estreito e Tucuruí), na qual a sua grande maioria, usinas a fio d'água. Até o momento, não se observaram estudos, as quais indiquem que a construção de usinas de menor porte em série produziu impactos menos significativos, quando comparada com um empreendimento de grande porte (na bacia do rio Tocantins).

Existem vários estudos voltados a avaliar as transformações provocadas por hidrelétricas, todavia, na sua grande maioria, eles se restringem à região de implantação da hidrelétrica e sua vizinhança. Além disso, as leituras realizadas para este estudo indicaram que as projeções temporais relativas a “degradação” gerada pela usina, são quase sempre voltadas principalmente para o período de construção da UHE.

Considerando a recorrência de mortes de peixes em empreendimentos com hidropulsores, várias usinas têm tomado medidas que visem a mitigação da morte de peixes. Alguns mecanismos de salvaguarda à ictiofauna foram sugeridos em pareceres elaborados ao longo dos anos para Luís Eduardo Magalhães e Estreito (IBAMA, 2004, 2011). Todavia, ainda se percebe não conformidades em algumas UHEs, quanto a uma das medidas preventivas mais relevantes, a necessidade da identificação e acompanhamento da presença de cardumes nas imediações do barramento.

A adoção de novas tecnologias poderia contribuir para se aprimorar métodos de monitoramento em hidrelétricas. O uso de sonares e drones, por exemplo, auxiliaria na identificação de aglomerações de peixes.

Os diversos documentos técnicos avaliados (USBR, 1983, 1990; IEC, 1991; ANEEL, 1998, 2001, 2005; SIMONE, 2010; PEREIRA, 2015) parecem indicar que, no que tange a elaboração dos projetos de engenharia para a construção de hidrelétricas, o foco seria minimizar os custos de implantação, majorar eficiência e maximizar os lucros advindos da geração. Não foi observado preocupação com os problemas advindos das alterações e/ou adaptações produzidas no ambiente, nos animais e nas populações atingidas.

Os programas de mitigação presentes nos EIA/RIMA vislumbram uma forte ênfase na fase de construção, deixando em vários casos, um vácuo ao longo da vida útil de funcionamento da usina.

Um endurecimento da legislação nas exigências socioambientais para a construção de UHEs, poderia contribuir de forma bastante significativa para a minimização dos problemas advindos da construção de hidrelétricas, como por exemplo, medidas compensatórias às populações atingidas no caso de situações consideradas emergenciais, tais como eventos fortuitos (mortandade) que porventura possam vir a ocorrer.

As grandes preocupações das corporações responsáveis pela construção destas usinas estão voltadas em cumprir apenas as exigências regulamentares e legislativas. O viés principal da lógica dos projetos é a alteração do ambiente e maximização da eficiência na produção e do lucro. A modificação e o novo tipo de uso do local devem se adaptar, independente do custo que isso possa representar. O prejuízo ambiental não é problema do empreendedor, o importante é o retorno de capital.

Tal situação tem demonstrado o forte viés e poder emanado pelo capital econômico, em detrimento de critérios sociais, ambientais, e em algumas situações, se sobrepondo até mesmo, sobre decisões técnicas que porventura estejam apontados nos estudos de impacto socioambiental.

Houve avanços nas técnicas de construção de UHEs com o viés de promover mais segurança à ictiofauna. Todavia, as expertises adquiridas ao longo de décadas na elaboração destes projetos e suas construções parecem ser de acesso restrito. O que se observa é que não há replicação e/ou compartilhamento de soluções de mitigação para a morte de ictiofauna, o que poderia contribuir para a utilização de técnicas construtivas mais adequadas, visando a sua implantação em novas usinas ainda na fase de projeto. Tal fato foi observado quando se compararam os tubos de sucção das usinas de Peixe Angical e Estreito, com relação a ausência da comporta de resgate de peixes desta última.

Trata-se de clara evidência de que não existe mutualidade de conhecimentos relevantes sobre processos que visem proteger a ictiofauna, entre projetistas, construtores e os responsáveis pela operação de hidrelétricas. Os conhecimentos adquiridos ao longo de anos, quanto a métodos de preservação e mitigação, são considerados informações sigilosas, inacessíveis, até mesmo a pesquisadores e estudiosos que pretendem contribuir para o tema.

Quanto a eventos de morte de ictiofauna em usinas, os estudos indicaram que no Brasil não há por parte do empreendedor uma preocupação em esmiuçar, investigar ou pesquisar com profundidade o tema. Normalmente, pesquisas mais detalhadas só são realizadas quando os episódios possuem relevância, sejam expostos na mídia e ocorra uma imposição por parte dos órgãos ambientais ou Ministério Público. Nestes casos (pouquíssimos), as investigações aprofundam-se objetivando identificar as causas, consequências e prever soluções que visem evitar a recorrência dos eventos de mortes.

Soluções de mitigação de mortalidade de ictiofauna em UHEs mais eficientes só serão identificadas quando houver clareza quanto às causas das mortes, origem dos animais, injúrias observadas, local de procedência, condições ambientais observadas no momento das mortes, situação de funcionamento da usina e outros fatores que indicarem ser relevantes para a definição de estratégias de ação e prevenção.

Durante as pesquisas, observou-se uma certa dúvida quanto a responsabilidade pela fiscalização ambiental das hidrelétricas da bacia do Tocantins/Araguaia. Algumas UHEs respondem entidades a nível estadual e outras a nível federal. Parece não estar bem evidenciado a quem compete exercer o papel de controle sobre estes empreendimentos. A elaboração de regulamentos específicos quanto às responsabilidades dos entes governamentais (federal, estadual e municipal) poderia contribuir de forma bastante significativa para uma melhor gestão da fiscalização, visando principalmente a sustentabilidade socioambiental.

A construção de documentos com procedimentos que visem promover supervisões periódicas nas UHEs poderia contribuir em demasia para a prevenção da ocorrência de

situações perigosas à ictiofauna. A elaboração de diretrizes com metas pré-estabelecidas a serem cumpridas por parte dos empreendedores, previsão de penalizações duras no caso de falhas, monitoramento diário, revisão sistemática de diretrizes de proteção dos animais, obrigatoriedade da apresentação de relatórios mensais relativos à situação da ictiofauna, dentre outras, podem contribuir de forma bastante relevante para manutenção e proteção dos estoques de peixes dos rios barrados.

O que se observou nas pesquisas realizadas é que, na sua maioria, as ações dos órgãos de fiscalização foram desencadeadas quando de denúncias de morte relevante de peixes por parte da sociedade, ou seja, não existe uma política de rotinas para inspeção preventiva. Esta ausência de visitas periódicas nestes empreendimentos foi evidenciada nos autos de infração avaliados, tendo em vista o fato de que os eventos de mortandade, no geral, só foram observados quando das denúncias de moradores em função da existência de áreas mais densamente habitadas nas imediações da usina (caso de LEM e EST).

O acesso às informações de morte de peixes existentes, tanto nas usinas quanto em órgãos de fiscalização ou regulação, ou não estão disponíveis, ou ainda são de difícil acesso. Tal fato tem contribuído para a protelação de pesquisas que visem contribuir para a busca de soluções que possam auxiliar a construção e operação de empreendimentos de geração de energia mais amigáveis à ictiofauna.

CONCLUSÕES GERAIS

Tem-se observado um crescimento de conflitos associados à atual concepção de desenvolvimento econômico e industrial, segundo a qual a geração de energia deve acontecer a partir da construção de hidrelétricas, e os problemas advindos durante e após a implantação destes empreendimentos. Neste sentido, a definição de políticas claras sobre mitigação de danos advindos da construção e operação de UHEs, com a adoção de soluções que visem evitar a morte de ictiofauna, poderia contribuir para se evitar a depreciação dos estoques de peixes, e ainda favorecer uma melhor relação entre usina e a sociedade.

Não existe uma solução única para a mitigação da morte de peixes em hidrelétricas. As medidas a serem adotadas de forma a proteger os animais dependem de fatores como características físicas do empreendimento (reservatório, barramento, turbinas, vertedouros, leito do rio, tubo de sucção, comportas, etc.), características da ictiofauna em risco, fatores ambientais (temperatura, turbidez e oxigênio dissolvido), padrões de funcionamento (cavitação, turbulência, velocidade de rotação das turbinas, vazão turbinada e vazão vertida), particularidades fluviométricas, período do dia (noite ou dia), intercorrências no funcionamento da usina (parada de máquinas de forma emergencial), comportamento dos animais, abundância de ictiofauna e outras condições.

As soluções que serão adotadas para minimizar a morte de peixes apresentarão resultados mais eficientes e promissores se estiverem pautadas num conjunto de medidas preventivas, que deverão ser viabilizadas em função de uma avaliação criteriosa das condições existentes nas imediações da usina, por exemplo, antes da realização de procedimentos operacionais na mesma.

Algumas diretrizes que poderiam contribuir de forma bastante relevante são: monitoramento de ictiofauna e da qualidade da água, utilização de drones, sonares, implantação de grades (prever possibilidade de regulagem na distância da barras), telas, grelhas (direcionamento de animais sugados), escadas de peixes, construção de usinas de baixa queda, menores velocidades de rotação para as turbinas, previsão de vertedouros afogados, gerenciamento das rampas de manobras (quanto maior melhor), identificação de sons que pudessem atrair os peixes a locais seguros e desenvolvimento de ferramentas computacionais específicas.

Outras soluções poderiam estar balizadas em priorizar procedimentos operacionais amigáveis aos peixes (partidas lentas), treinamento periódico dos colaboradores, existência de equipamentos adequados para resgate de animais, operação em flat (sazonalidade da operação

uniforme), estabelecimento de restrições operacionais, quando em situações específicas junto ao operador nacional, elaboração de procedimentos padronizados de resgate de ictiofauna, definição das responsabilidades dos órgãos federais, estaduais e municipais, fiscalização periódica pelos entes de regulação, provisionamento de metas socioambientais a serem cumpridas pelos empreendedores e definição objetiva das punições em caso de violação das legislações, normas e metas.

O modelo adotado pelo governo brasileiro para o gerenciamento da ictiofauna impactada por UHEs deixa a desejar. Tal fato tem-se refletido, principalmente, na redução dos estoques de algumas espécies de peixes e recorrência de eventos de mortandade em várias usinas do país.

Estas deficiências podem estar atreladas a fatores como o sigilo nas informações, demora para a tomada de decisões, ações pautadas em critérios econômicos, poucas discussões e esclarecimentos a sociedade e cientistas, processos de contrapartida às alterações socioambientais insignificantes, períodos estabelecidos para realização de medidas compensatórias insignificantes, dentre outros.

Apesar dos avanços obtidos, o conhecimento científico dos técnicos e cientistas brasileiros sobre mecanismos que promovam a morte de ictiofauna em hidrelétricas é diminuto, quando comparado a pesquisas já realizadas nos Estados Unidos da América, por exemplo, para que se possa eliminar de forma consistente perdas irreparáveis da biodiversidade de peixes.

Os estudos em andamento mostram-se pífios em quantidade, frente aos grandiosos desafios a serem enfrentados nas próximas décadas, principalmente quando considera-se a implantação de usinas em bacias hidrográficas da Amazônia. É notório que praticamente inexistente financiamento público para o desenvolvimento de pesquisas que visem contribuir para técnicas de mitigação de injúrias e morte de peixes em UHEs.

Uma forma de fomentar soluções que visem o desenvolvimento de novas técnicas de construção de hidrelétricas mais amigáveis à ictiofauna poderia estar ancorada no financiamento de pesquisas em instituições de formação técnica e superior.

Existem em diversas instituições de ensino do país educadores altamente capacitados e alunos motivados, que poderiam contribuir de forma bastante relevante para busca de soluções tecnológicas para nossa nação. Entretanto, devido a condições de trabalho adversas, falta de recurso, deficiências de gestão educacional, ausência de incentivos, dentre outros fatores, estão ali, subutilizados.

Observam-se estudantes com alto potencial de desbravar soluções que visem contribuir com o desenvolvimento do Brasil, mas que por não haver uma política de Estado visando à

pesquisa aplicada para se encontrar soluções inovadoras, acomodam-se ou perdem o interesse na busca do conhecimento e desenvolvimento de novas tecnologias. Isto tem ocorrido, dentre outros fatores, por conta de métodos de instrução, educação e construção do conhecimento arcaicos, ainda adotados pelo sistema educacional brasileiro.

É indispensável promover uma atualização dos currículos dos cursos de formação seriada, modernizar as técnicas de aprendizagem, incentivar o desenvolvimento da pesquisa aplicada, fomentar parcerias com setor privado, valorizar alunos e educadores, priorizar políticas de formação baseadas no incentivo à solução de problemas, principalmente nas áreas tecnológicas.

Entidades de pesquisas renomadas espalhadas pela Europa, Estados Unidos e Ásia possuem programas de formação que visam exclusivamente desenvolver soluções para os diversos problemas enfrentados pela sociedade. Infelizmente, no Brasil ainda observamos programas de formação fundamentados em linhas de pesquisa de áreas tecnológicas meramente acadêmicas, e que, visam apenas a obtenção da titulação. Alguns estudos, apesar de relevantes em determinadas situações, não trazem soluções e benefícios diretos para a sociedade e para o desenvolvimento desta nação.

Ações coordenadas do setor público e privado poderiam contribuir para a busca de soluções em várias áreas do conhecimento. Diversas empresas já perceberam que utilizar docentes e alunos de instituições de ensino é altamente vantajoso. Isto pode ser observado na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Várias corporações instalaram-se dentro das unidades de ensino superior, de forma a atuarem mais próximas na cooptação desta mão-de-obra diferenciada e altamente qualificada.

REFERÊNCIAS GERAIS

ABELL, R.; *et al.* *Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation*. *BioScience*, v. 58, n. 5, p. 403-414, 2008.

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.

_____. *Fish Passage Through a Simulated Modified Kaplan Turbine Pressure Regime: a supplement to “laboratory studies of the effects of pressure and dissolved gas supersaturation on turbine-passed fish”*. U. S. Department of Energy, PNNL-13470-A, 2002.

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. **Projeto Básico da Hidrelétrica de Luís Eduardo Magalhães**. Processo administrativo n. 48500.000596/1998-11. Brasília, 1998.

_____. **Projeto Básico da Hidrelétrica de Peixe Angical**. Processo administrativo n. 48500.003685/2001-22. Brasília, 2001.

_____. **Projeto Básico da Hidrelétrica de Estreito**. Processo administrativo n. 48500.006276/2005-93. Brasília, 2005.

_____. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed., Brasília, 2008.

_____. **Inventários Hidrelétricos**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/inventario-hidreletrico>>. Acesso em: 11 de jan de 2019.

_____. **Banco de Informações de Geração – BIG**, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 23 de Mar de 2018 as 15:30.

AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. **Reservatório de Segredo, bases ecológicas para o manejo**. Maringá: Eduem – Editora da Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 1997.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Elaboração de Protocolo de Estudos e Ações sobre a Morte de Peixes na Barragem da UHE Luís Eduardo Magalhães (Lajeado)**. Parecer Técnico. Limnobios Consultoria em Ambientes Aquáticos. Maringá, 2005.

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.

AGOSTINHO, A. A.; MARQUES, E. E.; AGOSTINHO, C. S.; ALMEIDA, D. A.; OLIVEIRA, R. J.; MELO, J. R. B. *Fish ladder of Lajeado Dam: migrations on one-way routes?* **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 121-130, 2007c.

AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; GOMES, L. C. *Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries*. **Brazilian Journal of Biology**. V. 68, n. 4 (Suplemento), p. 1119-1132, Nov, 2008.

AGOSTINHO, A. A., AGOSTINHO, C. S., PELICICE, F. M.; MARQUES, E. E. *Fish ladders: safe fish passage or hotspot for predation?* **Neotropical Ichthyology**, v. 10, p. 687-696, 2012.

ALHO, C. J. R.; FENZL, N.; REIS, R. E. **Projeto Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços na Bacia do Rio Amazonas, Considerando a Variabilidade e Mudança Climática**. OTCA/GEF/PNUMA. Porto Alegre, 2013.

BONETTO, A. A.; CASTELLO, H. P. **Pesca y piscicultura en aguas continentales de America Latina**. Washington, D.C.: Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 1985.

BONETTO, A. A. **The Paraná River systems**. In: DAVIES, B. R.; WALKER, K. F. (Ed.). *The ecology of river systems*. Dordrecht, The Netherlands: Dr. W. Junk Publisher, v. 60, ch. 11, p. 541-556, 1986.

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

BOYS, C. A.; NAVARRO, A.; ROBINSON, W.; FOWLER, T; CHILCOTT, S.; MILLER, B.; PFLUGRATH, B.; BAUMGARTNER, L. J.; McPHERSON, J.; BROWN, R.; DENG, Z. D. *Downstream fish passage criteria for hydropower and irrigation infrastructure in the Murray-Darling Basin. Fisheries Final Report Series. NSW Department of Primary Industries.* No. 141. ISSN 1837-2112, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017.

_____. _____. **Balanco Energético Nacional – BEN.** Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2015.

_____. _____. **Balanco Energético Nacional – BEN.** Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2016.

_____. _____. **Balanco Energético Nacional – BEN.** Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018.

BROWN, R. S.; COLOTELO, A. H.; PFLUGRATH, B. D.; BOYS, C. A.; BAUMGARTNER, L. J.; DENG, Z. D.; SILVA, L.G.; BRAUNER, C. J.; MALLENCOOPER, M.; PHONEKHAMPENG, O.; THORNCRAFT, G. *Understanding Barotrauma in Fish Passing Hydro Structures: a global strategy for sustainable development of water resources. Fisheries*, v. 39(3), p. 108-122, 2014.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática.** Rio de Janeiro: Campus, 1984. 266 p.

CADA, G. F. *A Review of Studies Relating to the Effects of Propeller-type Turbine Passage on Fish Early Life Stages. North American Journal of Fisheries Management*, v. 10, p. 418-426, 1990.

_____. *The Recipe for a Fish-Friendly Turbine. Waterpower 1997, Proceedings of the International Conference & Exposition on hydropower. American Society of Civil Engineers, New York, 1997.*

_____. *The Development of Advanced Hydroelectric Turbines to Improve Fish Passage Survival. Bioengineering Feature*, v. 26, n. 9, p. 14-23, 2001.

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.

CALDAS-MORGAN, M; ALVAREZ-ROSARIO, A., PADOVESE, L. R.; *An Autonomous Underwater Recorder Based on a Single Board Computer. Plos One*, v. 10, N. e0130297 (18p.), 2015.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. - ELETROBRÁS. **Diretrizes de Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Brasília, 2012.

CNEC - Engenharia S/A. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE de Estreito**. Tocantins, 2001.

COLOTELO, A. H.; PFLUGRATH, B. D.; BROWN, R. S.; BRAUNER, C. J.; MUELLER, R. P.; CARLSON, T. J.; DENG, Z. D.; AHMANN, M. L.; TRUMBO, B. A. *The Effect of Rapid and Sustained Decompression on Barotrauma in Juvenile Brook Lamprey and Pacific Lamprey: implications for passage at hydroelectric facilities. Fisheries Research*, v. 129, p. 17-20, 2012.

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.

CREW, A. V.; KEATLEY, B. E.; PHELPS, A. M. *Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry. World Development*, v. 77, p. 48–65, 2016.

_____. *Literature Review: Fish Mortality Risks and International Regulations Associated with Downstream Passage Through Hydroelectric Facilities. Ecosystems Management Fisheries and Oceans. Canada*, 2017.

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.; 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.; 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, 2010.

DENG, Z. D.; CARLSON, T. J.; DAUBLE, D. D.; PLOSKEY, G. R. *Fish Passage Assessment of an Advanced Hydropower Turbine and Conventional Turbine Using Blade-strike Modeling. Energies*, v. 4, p. 57-67, 2011.

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.; 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.

EICHER ASSOCIATES. *Turbine-related Fish Mortality: review and evaluation of studies. Electric Power Research Institute, Palo Alto, California*, 1987.

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

FEARNSIDE, P. M. *Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. Environmental Science & Policy*, v. 38, p. 164-172, 2014.

_____. *Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry. World Development*, v. 77, p. 48-65, 2016.

_____. *Análisis de los proyectos hidro-energéticos em la región amazónica*. **Dar-Claes, Painel Internacional de Ambiente y Energía 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.

FERNANDEZ, D. R.; AGOSTINHO, A. A.; BINI, L. M. *Selection of an experimental fish ladder located at the dam of the Itaipu Binacional, Paraná River, Brazil*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 47, n. 4, p. 579-586, 2004.

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.

GODINHO, A. L.; VIEIRA, F. **Áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade do Estado de Minas Gerais (Peixes)**. In: BIODIVERSIDADE em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, p. 10, 1998. Disponível em: <www.biodiversitas.org.br>. Acesso em: 06 de junho 2017.

GOMES, C. G. S. **Noções de geração de energia utilizando algumas fontes de baixo impacto ambiental**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

GOULART, G.; ROCHA, H. M.; MALVES, P. B. **Relatório de Vistoria**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Divisão de Controle e Fiscalização, Palmas, 2012.

GOULDING, M.; SMITH, N. J. H.; MAHAR, D. J. *Floods of Fortune: ecology & economy along the Amazon*. New York: Columbia University Press, 1996.

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.

GULLIVER, J. S.; ARNDT, R. E. A. ***Hydropower Engineering Handbook***. New York: McGraw-Hill, 1991.

HAMEL, M. J.; BROWN, M. L.; CHIPPS, S. R. *Behavioral response of rainbow smelt to in situ strobe lights*. ***North American Journal of Fisheries Management***, v. 28, p. 394-401, 2008.

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

HALES, J.; PETRY, P. Petry. ***Freshwater Ecoregions of the world***. Ecoregion 322: Xingu, 2013. Disponível em: <<http://www.feow.org/ecoregions/details/322>>. Acesso em 14/08/2017.

HALSBAND, E.; HALSBAND, I. *Electrofishing [English translation of Halsband and Halsband 1975 from German by R. W. McCauley, text only exclusive of reference list]*. ***Canadian Translation in Fisheries and Aquatic Sciences***, 5048, 1984.

HALVORSEN, M. B.; CARLSON, T. J.; COPPING, A. E. ***Effects of Tidal Turbine Noise on Fish: environmental effects of marine and hydrokinetic energy***. Pacific Northwest National Laboratory – PNNL. United States Department of Energy, TN, 2011.

HARTLEY, W. G. ***The history of electric fishing***. In: I. G. Cowx & P. Lamarque (eds.), *Fishing With Electricity, Applications in Freshwater Fisheries Management*. Fishing News Books, 1990.

HENSEL, E.; WENCLAWSKI, S.; LAYMAN, C. A. *Using a small, consumer-grade drone to identify and count marine megafauna in shallow habitats*. ***Latin American Journal of Aquatic Research***, v. 46, p. 1025-1033, 2018. DOI: 10.3856/vol46-issue5-fulltext-15.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Processo administrativo número 02029000011/2003-58**. Brasília, 2003.

_____. **Processo administrativo número 02029.000899/2004-18**. V. 1-2, Brasília, 2004.

_____. **Processo administrativo número 02029.000340/2011-17**. V. 1-2, Brasília, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Gráficos Climatológicos e Normais Climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60041: Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, 1991. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/154>>. Acesso em: 12 de Abr de 2018 as 10:45.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. Database presentation, 2017. Disponível em: <http://www.icold-cigb.net/GB/world_register/database_presentation.asp>. Acesso em: 13 maio de 2017.

JUNHO, R. A. C.; VIEIRA, E. C. F. **Estudos Hidráulicos do Canal de Restituição do Vertedouro da UHE de Itutinga**. Comitê Brasileiro de Barragens. XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, 2003.

KATOPODIS, C.; KOON, E. M.; HANSON, L. ***Sea lamprey barriers: new concepts and research needs***. *Great Lakes Fishery Commission 1994*. Ann Arbor, MI, 1994.

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.

KENYON, T.N.; LADICH, F.; YAN, H.Y. *A Comparative Study of Hearing Ability in Fishes: the Auditory Brainstem Response Approach*. **Journal of Comparative Physiology**, v. 182, p. 307-318, 1998.

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.

LADICH, F.; FAY, R. R. *Auditory Evoked Potential Audiometry in Fish*. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 23, p. 317–364, 2013.

LANGFORD, M. T.; ZHU, D. Z.; LEAKE, A. *Upstream Hydraulics of a Run-of-the River Hydropower Facility for Fish Entrainment Risk Assessment*. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 142, p. 1-14, 2015.

LARINIER, M.; DARTIGUELONGUE, J. *La Circulation des 160 Poissons Migrateurs: le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques*. **Bull. Pêche Piscic.**, v. 90, p. 312-313, 1989.

LARINIER, M.; TRAVADE, F., 2002. *Downstream Migration: problems and facilities*. **Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture**, v. 364, p.181-207, 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.

LINNIK, V. D.; MALININ, L. K.; WOZNIEWSKI, M.; SYCH, R.; DEMBOWSKI, P. *Movements of Adult Sea Trout *Salmo Trutta* L. in the Tailrace of a Low-head Dam at Włocławek Hydroelectric Station on the Vistula River, Poland*. **Hydrobiologia**, v. 371/372, p. 335–337, 1998.

LOURES, R. C.; GODINHO, A. L. **Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas** (Organizadores). Companhia Energética de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

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: 0.5380/dma.v37i0.45595.

MAKRAKIS, S.; MAKRAKIS, M. C.; WAGNER, R. L.; DIAS, J. H. P.; GOMES, L. C. *Utilization of the fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating potamodromous species*. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, p. 197-204, 2007.

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.

MARQUES, E. E.; PINTO, M. D. S. **Nota Técnica**. Universidade Federal do Tocantins. Núcleo de Estudos Ambientais, Porto Nacional, 2012.

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.

MERCHANT, N. D.; FRISTRUP, K. M.; JOHNSON, M. P.; TYACK, P. L.; WITT, M. J.; BLONDEL, P.; PARKS, S. E. *Measuring Acoustic Habitats*. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 257-265, 2015, doi: 10.1111/2041-210X.12330.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017.

MIRANDA, J. C. M. **Turbinas Hidráulicas**. ENGEVIX – Grupo de Informações Técnicas, nov., 1982.

MORAIS, E. F. **Rastreamento e Contagem de Peixes Utilizando Filtro Preditivo**. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação. Universidade Federal de Minas Gérias. Belo Horizonte, 2005.

MOREIRA, P. F. **Planejamento Energético e o PIB. IN: O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**. 2ª edição, Ed. International Rivers Network – Brasil, Org. MOREIRA, P. F - Brasília: Brasil, p. 23-28, 2012.

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.

NATURATINS – Instituto Natureza do Tocantins. **Parecer Técnico de Monitoramento nº 1-2014**. Parecer conjunto NATURATINS/IBAMA, Palmas, 2014.

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.

NILSSON, C., REIDY, C. A., DYNESIUS, M.; REVENGA, C. *Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems*. **Science**, v. 308, p. 405-408, 2005.

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>. Acesso em: 20 maio de 2017.

OJIMA, R.; MARANDOLA JR, E. **Mudanças Climáticas e as Cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social**. Ed. Blucher, São Paulo, 2013.

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**. Oficina de Textos, São Paulo, 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.; MARTINEZ, C. B. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 2, p. 340-349, 2006.

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, nº 11160, p. 1-15, 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016. Disponível em <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: Outubro de 2018.

REIS, R. E.; LUCENA, Z. M. S.; LUCENA, C. A. S.; e MALABARBA, L.R. Peixes, p.117-145. In: C.S. Fontana, G.A. Bencke e R.E. Reis (ed.). 2003. **Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, EDIPUCRS. 632 p., 2003.

RIVINOJA, P.; MCKINNELL, S.; LUNDQVIST, H. *Hindrances to upstream migration of Atlantic salmon (Salmo salar) in a northern swedish river caused by a hydroelectric power-station*. **Regulated Rivers. Research and Management**, v. 17, n. 2, p. 101-115, 2001.

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-MCCONNEL, 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*.

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. Título do original em inglês: Ecological studies in tropical fish communities.

SCHIAVETT, A.; CAMARGO, A. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ed. Editus, Bahia, 2002.

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.

SCRUTON, D. A.; BOOTH, R. K.; PENNELL, C. J.; CUBITT, F.; MCKINLEY, R. S.; CLARKE, K. D. *Conventional and EMG telemetry studies of upstream migration and tailrace attraction of adult Atlantic salmon at a hydroelectric installation on the Exploits River, Newfoundland, Canada*. *Hydrobiologia*, v. 582, n. 1, p. 67-79, 2007.

SIMONE, G. A. **Centrais e Aproveitamentos Hidrelétricos: uma introdução ao estudo**. 1ª ed. Ed. Saraiva, São Paulo, 2010.

SILVA, L. G. M.; NOGUEIRA, L. B.; MAIA, B. P.; RESENDE, L. B. *Fish passage post-construction issues: analysis of distribution, attraction and passage efficiency metrics at the Baguari Dam fish ladder to approach the problem*. *Neotropical Ichthyology*, v. 10, n. 4, p. 751-762, 2012.

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.

SLABBEKOORN, H.; BOUTON, N.; VAN OPZEELAND, I.; COERS, A.; TEM CATE, C.; POPPER, A. N. *A Noisy Spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish*. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 25, p. 419-427, 2010.

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.

SOUZA Z.; SANTOS A. H. M.; BORTONI. E. C. **Centrais Hidrelétricas**. Eletrobrás. Rio de Janeiro, 1999.

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.

THEMAG - Engenharia e Gerenciamento S/C Ltda. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE de Lajeado**. Tocantins, 1996.

_____. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE de Peixe Angical**. Tocantins, 2000.

THORSTAD, E. B.; OKLAND, F.; KROGLUND, F.; JEPSEN, N. *Upstream migration of Atlantic salmon at a power station on the River Nidelva, Southern Norway*. **Fisheries Management and Ecology**, v. 10, n. 3, p. 139-146, 2003.

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.

UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION – USBR. **Hdraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipators**. *Engineering Monograph, Denver*, n. 25, 1983.

_____. *Cavitation in Chutes and Spillways*. *Engineering Monograph. Washington*, n. 42, 1990.

_____. **Hdraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipators**. *Engineering Monograph, Denver*, n. 25, 1983.

VINOOG, L.; ELSTAD, I. **Mechanical Equipment**. *Hydropower Development, Trondheim*, v. 9, 2003.

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

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.

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

WORLD COMMISSION ON DAMS – WCD. Dams and Development a New Framework for Decision-Making. Report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 2000.

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.

ZIMMER, W. M. X. *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans.* Cambridge University Press, 2011.

ZIMERMANN, S., RIBEIRO, R. P., VARGAS, L., MOREIRA, H. L. M. **Fundamentos da Moderna Aquicultura.** Canoas: Ed. ULBRA, 2001. 200 p.