



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**“AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TECNOLOGIAS DE**  
**PROTEÇÃO DA ICTIOFAUNA EM EMPREENDIMENTOS**  
**HIDRELÉTRICOS”**

**ANA ALICE CESÁRIO PORTO**

**BELO HORIZONTE, JULHO DE 2017**

Ana Alice Cesário Porto

**“AVALIAÇÃO DA EFICIENCIA DE TECNOLOGIAS DE  
PROTEÇÃO DA ICTIOFAUNA EM EMPREENDIMENTOS  
HIDRELÉTRICOS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de  
Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Energia e Sustentabilidade

Orientador(a): Prof. Carlos Barreira Martinez (UFMG)

Co-orientador(a): Profa. Edna Maria de Faria Viana(UFMG)

Belo Horizonte

Escola de Engenharia UFMG

2017

À minha família,

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde e por ter me guiado pelos melhores caminhos. Agradeço a minha mãe querida pelo incentivo de sempre, pelo amor, dedicação e admiração. Ao meu marido Marcelo pela paciência, amor, carinho e por tornar os meus dias mais agradáveis. Ao Martinez, que além das orientações técnicas, é um amigo da melhor qualidade, sempre disposto e atencioso, obrigada por tudo. A toda a minha família, em especial minhas tias. À toda equipe da RBE, e Samuel pela ajuda e prestatividade de sempre. Por fim, as amigas de sempre do Doró e da Fumec, cada uma com um pedacinho de tudo que precisamos numa amizade.

## SUMÁRIO

NOMENCLATURA.....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. OBJETIVO GERAL .....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 - IMPACTOS GERAIS EM UHE`s.....	21
3.2 - IMPACTOS SOBRE A ICTIOFAUNA .....	24
3.3 - DISPOSITIVOS E AÇÕES UTILIZADAS NO BRASIL PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM UHE.....	35
3.3.1 Sistema de Transposição de Peixes .....	35
3.3.2 Barreiras Físicas Preventivas.....	36
3.4 CAUSAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UHE E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	39
3.4.1 - Desvios de rio.....	39
3.4.2 - Impactos sobre a ictiofauna no enchimento de reservatórios.....	40
3.4.3 - As ações de comissionamento das UHE`s .....	41
3.4.4 - Eventos de parada, partida e trips de máquinas. ....	42
3.4.5 - Impactos sobre a ictiofauna em vertedores, TVR, etc. ....	43
3.5 - A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE UHE`S.....	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1 - SISTEMAS DE IMPEDIMENTO DE ENTRADA DE PEIXES .....	46
4.2. PROCEDIMENTOS OBJETIVANDO A MITIGAÇÃO DE IMPACTOS.....	49
4.2.1 Modelagem Física .....	49
4.2.2 Comissionamento .....	50
4.2.3 Eventos de parada e trips de máquinas.....	51

5 ESTUDO DE CASO – UHE RETIRO BAIXO .....	53
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	53
5.2 ELIMINAÇÃO DO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA.....	55
5.3 - ALTERAÇÕES NA ÁREA DA CASA DE FORÇA.....	57
5.3.1. Injetores de Oxigênio .....	57
5.3.2. Grades Anti-Cardume.....	58
5.3.3. Acessos ao interior das turbinas .....	59
5.4 EVENTOS DE PARALISAÇÃO DAS UNIDADES GERADORAS.....	61
5.5 SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES.....	62
5.6. RESULTADO DOS IMPACTOS DA UHE RETIRO BAIXO SOBRE A COMUNIDADE DE PEIXES .....	65
5.6.1. Resultados dos resgates no tubo de sucção .....	65
5.6.2. Resultado das Transposições no Sistema de Transposição de Peixes .....	67
5.6.3. Resultados das Manobras Operativas (Parada, Partida, Trip) .....	70
6. CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS BIBLOGRÁFICAS .....	76

## **NOMENCLATURA**

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental  
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica  
CEA – Canadian Electricity Association  
Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais  
CNAEE - Conselho Nacional de Água e Energia Elétrica  
MAE – Mercado Atacadista de Energia  
MTP - Mecanismo de Transposição de Peixes  
NEPA – National Environmental Policy Act  
O&M - Operação e Manutenção  
ONS - Operador Nacional do Sistema  
PCH – Pequena Central Hidrelétrica  
STP – Sistema de Transposição de Peixes  
TVR – Trecho de Vazão Reduzida  
UG's – Unidades Geradoras  
UHE – Usinas Hidrelétricas  
UTE – Usina Termoelétrica

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Evolução da capacidade instalada no Brasil desde o início do setor elétrico.....	18
FIGURA 2 – Distribuição geográfica da capacidade instalada em UHE's no Brasil .....	18
FIGURA 3 - Modelo geral dos movimentos dos peixes migradores da bacia dos rios Paraná e São Francisco .....	27
FIGURA 4 - Exemplar de peixe com sintoma de choque mecânico.....	30
FIGURA 5 - Exemplar de peixe com sintoma de evisceração .....	30
FIGURA 6 - Esquema de layout de empreendimento hidrelétrico com “trecho curto circuitado” ou TVR.....	33
FIGURA 7– Vista esquemática de uma turbina tipo Bulbo .....	38
FIGURA 8– Concepção Inicial do Projeto.....	56
FIGURA 9- Arranjo Final .....	56
FIGURA 10– Pontos de Injeção de Oxigênio no tubo de sucção .....	58
FIGURA 11– Grade Anti Cardume UHE Retiro Baixo.....	59
FIGURA 12– Escotilha entrada tubo de sucção UHE Retiro Baixo .....	60
FIGURA 13– Içamento de tanques de peixe na Casa de Força.....	60
FIGURA 14 - Comporta reguladora.....	64
FIGURA 15 - Sistema de Confinamento Fonte: Rumo Ambiental, 2013.....	64
FIGURA 16 - Içamento da caçamba .....	64
FIGURA 17 - Tanque de Triagem.....	65
FIGURA 18 - Soltura dos Peixes no reservatório da UHE Retiro Baixo.....	65
FIGURA 19– Resultado Resgates no Tubo de Sucção (Ano x Indivíduo Morto) .....	67
FIGURA 20 - Resultado das Transposições 2010 a 2017 - Ano x N° Total Indivíduos Transposto.....	68
FIGURA 21 - Relação entre número de indivíduos capturados e período do dia .....	69
FIGURA 22 - Relação entre geração de energia e frequência de espécies migradoras no .....	69
FIGURA 23 - Relação entre vazão defluente e a frequência de espécies migradoras no STP	70
FIGURA 24 - Relação entre partida de máquina e mortandade de peixes - UG01.....	71
FIGURA 25 - Relação entre partida de máquina e mortandade de peixes - UG02.....	71
FIGURA 26 - Mortandade UG01 - Por espécie .....	72
FIGURA 27 - Mortandade UG02 - Por espécie .....	72



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Evolução da Capacidade Instalada – Brasil: 1890 – 2015 (Ministério de Minas e Energia, 2015).....	17
TABELA 2 - Lesões causadas em exemplares capturados à jusante das UHE's Três Marias (rio São Francisco) e Irapé (Rio Jequitinhonha) e suas respectivas descrições (BEIRÃO, 2015).....	33
TABELA 3 - Capacidade Instalada de geração hidrelétrica no mundo em GW (EPE, 2011) .	44
TABELA 4 - Dados Técnicos UHE Retiro Baixo (RETIRO BAIXO ENERGÉTICA S.A., 2017).....	53

## RESUMO

As usinas hidrelétricas formam o maior parque gerador de energia elétrica do Brasil. Desde o início do século XX o setor hidrelétrico se deparou com questões de ordem ambiental que foram gradativamente sendo superadas ou mitigadas. Dentre as questões que se encontram em aberto destacam-se aquelas relacionadas à fauna aquática, em especial a ictiofauna. A literatura registra como principal fator antrópico relacionado à perda de biodiversidade as alterações do habitat. As concessionárias hidrelétricas têm se esforçado no sentido de atenuar os impactos negativos de seus reservatórios sobre os recursos pesqueiros e a ictiofauna. Um dos impactos mais discutidos entre os estudiosos do assunto é a interceptação de rotas migratórias de peixes pelo barramento, o que acarreta na interferência da comunidade de peixes. Tratar deste impacto é de extrema relevância quando se leva em conta a diversidade de espécies de peixes nos rios brasileiros e sua importância na cultura e subsistência das populações ribeirinhas e na economia (JUNHO, 2008). O presente trabalho tem como objetivo apresentar os impactos oriundos da implantação de usinas hidrelétricas sobre a comunidade de peixes e suas respectivas ações mitigatórias, decorrentes de análises detalhadas, estudos preventivos e aplicações de alternativas tecnológicas viáveis durante a fase de projeto, visando à melhoria operacional (Serviços de Operação e Manutenção – O&M) e a viabilidade ambiental do empreendimento. Em seguida apresenta-se o Estudo de Caso da UHE Retiro Baixo, em que as melhorias no layout do empreendimento e implementação de recursos tecnológicos voltados à conservação da ictiofauna resultaram em significativos ganhos ambientais. O trabalho apresenta resultados advindos de análises da eficiência das melhorias implementadas no projeto em consonância com dados obtidos na Revisão Bibliográfica, com ênfase na ocorrência de mortandade de peixes e as respectivas soluções adotadas para a mitigação desse impacto. Em seguida estudaram-se as possíveis condições de parada de máquinas e as épocas propícias para revisões e manutenção dos sistemas. Os ganhos com as modificações foram avaliados em função da facilidade operativa e da redução de mortandade de peixes na UHE.

*Palavras-chaves: Impactos, Ictiofauna, Migração, Inovações tecnológicas.*

## **ABSTRACT**

Hydroelectric Power Plants (HPP) are the most important source of energy in Brazil. Since the beginning of the XX Century, the Electric Sector has passed the environmental problems that were gradually surpassed or mitigated. Among the questions that were open, related to those the aquatic fauna, still stand out the ichthyofauna. The literature lists that the main anthropic factor is a loss of biodiversity and the change of the habitats. The dealerships have been striving to mitigate the negative impacts of HPP reservoirs on fish community. One of the most discussed impacts among the specialists is the interception of migratory fish routes, which leads to interference of the fishing community. Attention towards this impact is extremely relevant considering the diversity of fish species in Brazilian rivers and their importance in the local culture and subsistence of people who lives near the river and in the economy (Junho, 2008). This project has as purpose to show the impacts from the HPP implantation on the fish community and in their respective migrations actions through detailed analyzes, preventive studies and applications of viable technological alternatives during the design phase, aiming for operational improvement (Services of operation and maintenance – O&M) and its environmental viability. A case study of Retiro Baixo HPP is shown where improvements and technological mechanisms proposed during the design phase resulted in a significant improvement in the system. In order to achieve this result, the main locations where fish mortality could occur and respective solutions were verified. Possible conditions for machine shutdowns and maintenance of the systems were studied. The gain from the proposed modifications were evaluated based on the operational facility and the reduction of fish mortality in the HPP.

*Keywords: Impacts, Ichthyofauna, Migratory, Technological innovations*

## 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro - entendido como o conjunto das atividades de geração, transmissão e distribuição ou comercialização - vem sendo marcado por profundas transformações em suas estruturas organizacionais e produtivas ao longo do século. A hidroeletricidade no Brasil tem papel de destaque visto a grandiosidade dos recursos hídricos disponíveis. Ao longo de sua consolidação passou por diversas fases de reestruturação, conforme o crescimento da demanda por eletricidade e as preocupações com a qualidade da prestação dos serviços. O início da utilização da energia elétrica no Brasil ocorreu no ano de 1883, com a operação da primeira usina hidrelétrica localizada no município de Diamantina, Estado de Minas Gerais (CEMIG, 2012). Somente a partir de 1897, iniciaram os empreendimentos hidrelétricos nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, com projetos de grande porte para a época. Nesta época não havia legislação específica para regulamentação dos empreendimentos. Apenas em 1903 foi aprovado pelo Congresso Nacional a primeira lei disciplinando o uso da energia elétrica, época em que o sistema de operação pode ser considerado como privado. Nessa época o Estado tinha o poder da concessão e os concessionários eram investidores estrangeiros (PAGLIARDI & SOBREIRO DIAS, 2011).

O início da produção industrial de energia elétrica no Brasil se dá quase simultaneamente ao processo em curso das principais economias capitalistas, tendo como fundamento a importação de tecnologia. Porém, a estruturação interna e o consumo de energia no Brasil não apresentaram o mesmo dinamismo da evolução internacional. No final do Século XIX, o Brasil com pouco mais de 12 MW instalados ainda se revelava como um país incipiente e com a estrutura setorial embrionária (CENTRO DA MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL, 1988; MAGALHÃES, 2000).

Somente no início do Século XX, o país começa a se expandir nos serviços de eletricidade, com a formação de um conjunto de empresas de energia elétrica, organizadas com capital interno e externo, passando a ter pequenas “ilhas elétricas”, estas sem qualquer tipo de fiscalização ou controle por parte do poder público. Além disso não existiam mecanismos político-institucionais voltados a assegurar a qualidade dos serviços prestados à população. No Brasil,

a falta de suporte e de controle na estruturação do setor, aliada à centralização de capital externo, corroborou com a tentativa de imposição de grupos estrangeiros no setor, através de agressivas políticas de aquisição. Vale ainda ressaltar, como consequência desse conjunto de fatores, que as instâncias municipais se tornaram inadequadas para a proteção contra práticas abusivas impostas por grandiosas empresas que detinham do controle de preços e condições de serviços no setor (CARNEIRO, 2000).

Apenas na década de 30, com o estabelecimento do Estado Novo por Getúlio Vargas, é que começam a ocorrer mudanças através de reformas políticas e institucionais, aliadas à insatisfação da classe média e ao forte patriotismo, rompendo com o acentuado liberalismo da condução das atividades do país.

A Lei da Água - Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 “Código de Aguas” - introduz mudanças no regime regulatório através da participação de empresas estaduais e federais e da padronização no controle da prestação dos serviços com a fixação de políticas tarifárias. Essas mudanças despertaram conflitos e desestímulos aos investidores internacionais, devido aos impactos na rentabilidade e autonomia das concessionárias, subordinando-as de forma incisiva ao poder público, e gerando riscos e incertezas nas atividades.

As novas dificuldades deparadas pelo setor elétrico através de um Estado regulador trazem riscos de estrangulamento do suprimento energético, e, estimulam a organização de empresas públicas de eletricidade. Um dos aspectos fundamentais do novo modelo é o reconhecimento da indústria energética como um serviço de utilidade pública:

Artigo 147 da Constituição de 1937:

*“A Lei Federal regulará a fiscalização e revisão das tarifas dos serviços públicos, explorados por concessão, para que, no interesse coletivo, delas retire o capital uma retribuição justa ou adequada e sejam atendidas convenientemente as exigências de expansão e melhoramentos dos serviços. A lei aplicará às concessões feitas no regime anterior de tarifas contratualmente estipuladas para todo o tempo de duração do contrato.”*

A expansão do sistema hidrelétrico brasileiro no Século XX transforma e define a matriz energética brasileira. O predomínio de fontes termoelétricas no Século XIX será completamente revertido por fontes hidrelétricas a partir do Século XX, sendo responsáveis por quase totalidade na produção de energia elétrica (CENTRO DE MEMÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL, 1988; MULLER, 1995). As características hidráulicas do país, associada ao acesso a tecnologias de geração já consolidadas em países capitalistas direcionavam a hidroeletricidade como alternativa econômica mais eficiente e economicamente viável (CARNEIRO, 2000).

A partir do Estado Novo em 1930, a participação estatal na economia foi crescente, ao passo que a “grande depressão” de 1929 contribuiu para a cessão de capital estrangeiro. De acordo com FURTADO (2005), a recuperação e a busca pelo desenvolvimento interno do país no período pós-crise ocorreu de forma rápida. As condições de crescimento da renda nacional, o aumento da produção industrial nacional e o crescimento de centros urbanos fizeram crescer a demanda por energia elétrica, porém faltava a oferta, o desenvolvimento do setor elétrico, com capacidade produtiva, regulação e qualidade de serviço (SILVA, 2011).

O CNAEE, Conselho Nacional de Água e Energia Elétrica foi criado em 1939 e constituídos por membros indicados pelo presidente da República. Este conselho funcionava como um órgão centralizador de estudos de energia elétrica, seja pelo governo federal, por estados ou municípios. A principal função do CNAEE foi a de regulamentar o Código das Águas.

Durante o governo Vargas, a economia e o setor de energia passaram por alterações significativas. O setor elétrico carente de regulação federal, sofreu fortes mudanças as quais centralizaram a tomada de decisões sobre os aproveitamentos hidrelétricos. No entanto ao longo da década de 1940, a rigidez no controle de políticas e ações foi ligeiramente flexibilizada de forma a não inviabilizar novos investimentos.

A energia sempre teve destaque nos programas econômicos brasileiros. Com a inclusão de metas e destinação de parte dos recursos provenientes do PIB para o setor elétrico, entre os anos de 1945 e 1961 a capacidade instalada quase quadruplicou (PAGLIARDI, 2011).

Em 1962 foi criada a Eletrobrás e as funções de coordenação, planejamento, operação e financiamento do setor passaram a ser administrados por ela.

Na década de 80, devido a recessão mundial, o governo reajustou as tarifas na tentativa de conter o avanço da inflação ocasionando degradação do desempenho das empresas do setor elétrico devido a falta de flexibilidade e excessiva interferência política na gestão de seus negócios. A partir daí o desempenho das empresas começou a declinar e o modelo consolidado de dominância estatal no setor elétrico começou a ser questionado impulsionando uma reforma estrutural e regulatória no setor através da privatização. Com isso a década de 90 é marcada pela reforma do setor com a criação do Sistema Nacional de Transmissão permitindo a entrada de investidores autoprodutores e consórcios entre empresas, e, posteriormente, em 1995 com a criação do Plano Real e a privatização do setor elétrico, onde o Estado passava a ter papel regulador, fiscalizador e formulador de políticas (MORITZ, 2001).

Em 1996 foi criada a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica com o objetivo de regulamentar e fiscalizar as empresas do setor e proteger os interesses do consumidor com o fornecimento de energia com qualidade, assegurar a viabilidade financeira das empresas a longo prazo, o cumprimento das leis e regulamentações, garantir transparência nas transações entre as companhias reguladas e incentivar a conservação da energia. Outro papel fundamental da ANEEL é a licitação e concessão de licença para a construção de novas centrais hidrelétricas.

Em 1997 o mercado da energia deu um grande passo, permitindo a livre comercialização da energia, bem como a venda de excedente de energia aos consumidores livres. Em 1998 foi criado a ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico a fim de controlar as operações das instalações de geração e transmissão no Sistema Interligado. Além disso todas as transações de compra e venda de energia eram realizadas pelo MAE – Mercado Atacadista de Energia, incluindo produtores, empresas varejistas e grandes consumidores. Outros conceitos começaram a ser praticados como Energia Assegurada e o Mecanismo de Realocação de Energia – MRE, com o propósito de diluir o risco comercial dos investidores.

Os anos de 2001 e 2002 foram marcados pela forte crise de estiagem, quando foram aplicadas medidas emergenciais tais como redução da iluminação pública, suspensão de atendimento para

novas cargas, e eventos de diversão. Além da implantação dessas medidas o comportamento dos consumidores foi modificado através de incentivos financeiros e substituição de equipamentos com consumo mais eficiente. Essas mudanças foram fundamentais para o setor elétrico, para o equilíbrio financeiro das empresas distribuidoras.

Considerado essencial na base da infraestrutura brasileira, o setor elétrico é imprescindível ao crescimento econômico do país. É importante que a indústria do Setor Elétrico seja capaz de corresponder com o suprimento energético exigido pelo mercado. Nesse sentido, em 2004 ocorre nova reforma, com a centralização do setor elétrico, criação de novas instituições, novas regras de comercialização, caracterizada pelos leilões regulados e os contratos de longo prazo. Apesar de ainda não haver resultados dessa nova prática, o mecanismo de leilão pode ser positivo na resolução dos problemas de adequação, porém outras questões devem ser consideradas como o licenciamento ambiental de novos projetos.

Com toda a análise histórica do desenvolvimento do setor elétrico, é possível notar que desde o início da implantação das primeiras UHE no país o Estado sempre esteve presente, seja com o apoio direto ou incentivado com seus planos de governo (AMARAL *et al*, 2010). Além disso nota-se que as mudanças estruturas no Brasil ocorrem apenas mediante um cenário de crise. A falta de equilíbrio estratégico do setor gera insegurança das empresas, do investimento externo, e até mesmo do consumidor final, contribuindo para a instabilidade econômica no país. As reformas consideradas essenciais em determinados aspectos, podem por sua vez impactar nas decisões de investidores e conseqüentemente na prospecção futura do setor.

Assim pode-se dizer que a modernização dos processos produtivos amplia as possibilidades de uso da energia elétrica. O crescimento extensivo e intensivo da demanda de mercado foi a base do salto na potência instalada do país. Isso foi seguido das inovações tecnológicas aplicáveis à geração, transmissão e mesmo à distribuição de energia que viabilizaram e estimularam a modernização e o aumento da eficiência técnica e econômica na prestação do serviço. A descoberta da corrente alternada (no final do século XIX) e o desenvolvimento de turbinas com grande capacidade de geração constituem exemplos de tais inovações, ensejando e fomentando o aproveitamento de economias de escala e de escopo e, por extensão, a reconfiguração dos arranjos produtivos do setor (ROSA *et al*, 1998).



Nos últimos anos um grupo de países formado por Brasil, Índia, China e Rússia tem despertado maior interesse da comunidade internacional devido ao grande potencial e crescimento estimado. Por outro lado, muitos também são os problemas a serem resolvidos, pois cada país tem suas peculiaridades. No caso do Brasil, conforme listado por CHU & DELGADO (2010) destacam-se as questões sociais, a disparidade, o controle de gasto públicos. Estas são razões que definem o “enigma do crescimento”. De uma forma geral, apesar das diversas crises, o crescimento do setor elétrico Brasileiro foi constante ao longo das décadas. A Tabela 1 e a Figura 1 mostram a evolução da capacidade instalada no Brasil no período de 1889 até o ano de 2015, ou seja, um crescimento médio de 2,96 % ao ano.

TABELA 1 - Evolução da Capacidade Instalada – Brasil: 1890 – 2015 (Ministério de Minas e Energia, 2015)

<b>ANO</b>	<b>MW</b>	<b>ANO</b>	<b>MW</b>
<b>1890</b>	250	<b>1955</b>	2.481,20
<b>1895</b>	1,991	<b>1960</b>	3.642,00
<b>1900</b>	5,283	<b>1975</b>	16.316,00
<b>1905</b>	38,280	<b>1980</b>	27.649,00
<b>1910</b>	124,672	<b>1985</b>	37.077,00
<b>1915</b>	258,692	<b>1990</b>	45.558,00
<b>1920</b>	300,946	<b>1995</b>	51.367,00
<b>1925</b>	416,875	<b>2000</b>	61.063,00
<b>1930</b>	630,050	<b>2005</b>	71.059,00
<b>1945</b>	1.079,80	<b>2010</b>	80.703,00
<b>1950</b>	1.535,70	<b>2015</b>	91.800,00

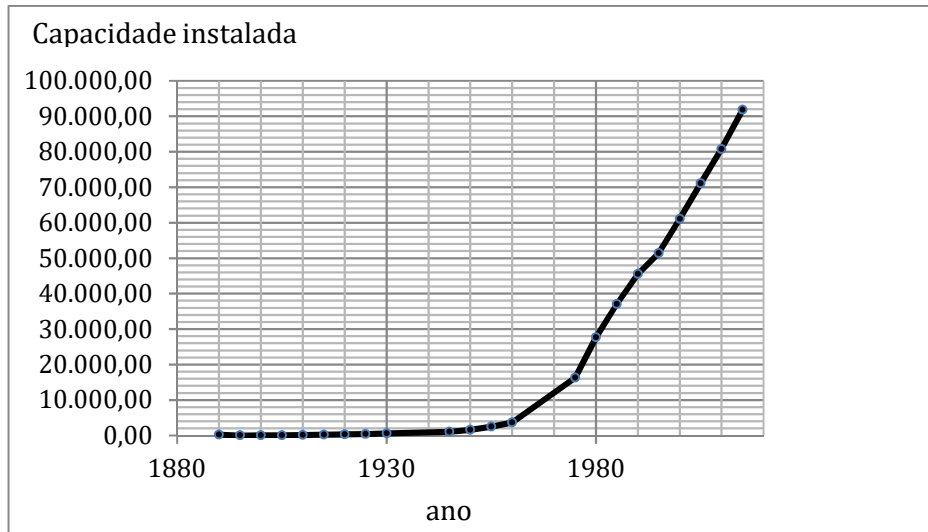


FIGURA 1 - Evolução da capacidade instalada no Brasil desde o início do setor elétrico.  
 FONTE: Ministério Minas e Energia, 2015

Atualmente o setor elétrico nacional possui dezenas de usinas de grande porte e se estende por todo o território do Brasil, conforme pode ser observado na Figura 2.

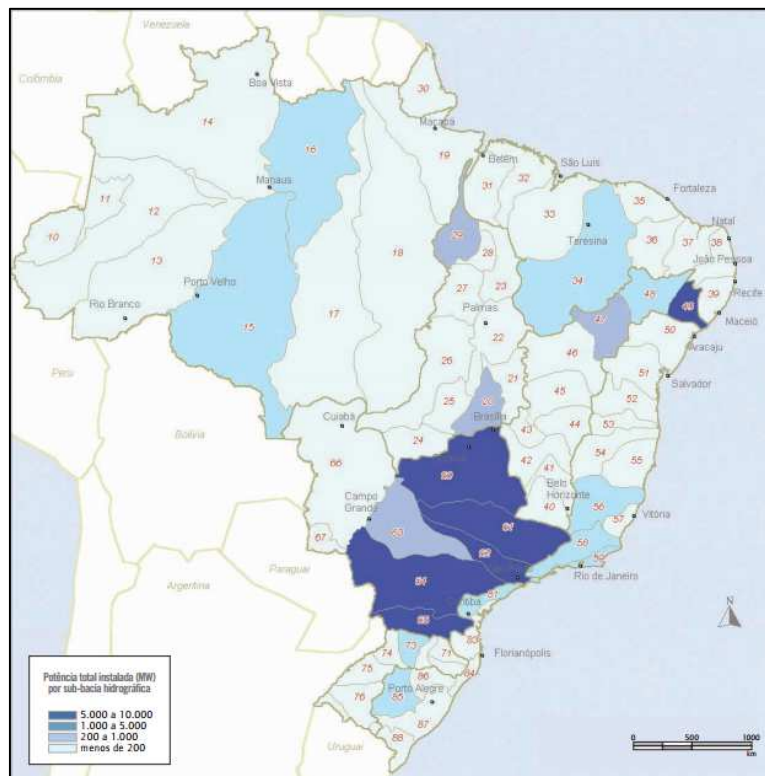


FIGURA 2 – Distribuição geográfica da capacidade instalada em UHE's no Brasil  
 FONTE: Atlas de Energia Elétrica do Brasil – ANEEL,

Apesar da grande expansão do setor elétrico no Brasil, fortemente baseado na geração hidrelétrica, a preocupação e as inovações tecnológicas voltadas às questões ambientais e à conservação da ictiofauna são recentes. Estudos de análise de viabilidade ambiental e investimentos na busca de alternativas que possam mitigar e evitar riscos e impactos à comunidade de peixes ainda são incipientes e muitas vezes restritos por parte dos empreendedores. Tendo em vista a expressividade da biota aquática no Brasil, em especial a diversidade de espécies de peixes, é urgente que haja de forma enfática a proteção, preservação e até mesmo a recuperação de espécies ameaçadas. Para o desenvolvimento dessas medidas, um conjunto de regulamentações, programas de incentivo e fundamentalmente de educação devem ser adotadas para que haja segurança e confiabilidade no desenvolvimento do setor elétrico. Este trabalho tem como foco a apresentação e discussão sobre a eficácia de alternativas tecnológicas destinadas a mitigar os impactos causados por UHE's sobre a população de peixes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os impactos oriundos da implantação de usinas hidrelétricas sobre a comunidade de peixes e suas respectivas ações mitigatórias, decorrentes de análises detalhadas, estudos preventivos e aplicações de alternativas tecnológicas viáveis durante a fase de projeto, visando a melhoria operacional (Serviços de Operação e Manutenção – O&M) e a viabilidade ambiental do empreendimento. Será discorrido neste trabalho o Estudo de Caso da UHE Retiro Baixo com as melhorias e mecanismos tecnológicos aplicados na usina durante a fase de projeto, e os resultados obtidos.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Mapeamento dos pontos de ocorrência de possíveis acidentes ambientais
  - Verificar os locais onde podem ocorrer mortandade de peixes dentro das UHEs;
  - Verificar as configurações dos locais onde podem ocorrer eventos de mortandade;
  
- b) Determinar as condições operativas que sejam viáveis para a manutenção da ictiofauna
  - Verificar condições de paradas e partidas de máquinas;
  - Verificar épocas propícias para revisões e manutenção dos sistemas.
  
- c) Apresentar os principais ganhos obtidos com a adoção de medidas mitigatórias na fase de projeto de uma UHE
  - Facilidade operativa;
  - Redução de mortandade.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 - IMPACTOS GERAIS EM UHE`s

O Brasil é um grande produtor de energia renovável de base hidrelétrica. O fato de ser tida como uma alternativa renovável não elimina os impactos ambientais decorrentes, ou que não possua consequências negativas. Dentro desse aspecto a Resolução CONAMA 001/86 de 23 de janeiro de 1986 incorpora algumas preocupações do poder público quanto às questões ambientais. Assim no art. 1º considera impacto ambiental como:

*Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – à biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – qualidade dos recursos ambientais*

Pelas suas características de longo prazo os impactos da implantação de usinas hidrelétricas são amplos, perenes e peculiares dependendo fortemente da região de instalação e do projeto básico admitido. Diversos autores, incluindo (ROSA, 1998), consideram que a hidroeletricidade é, para o Brasil, a melhor e mais eficiente técnica de aproveitamento energético. Para isso, esses autores, levam em consideração a produção energética *versus* os aspectos ambientais envolvidos para a implantação e operação desses empreendimentos. Para a implantação de uma Usina Hidrelétrica, devem ser considerados previamente diversos aspectos estruturais e regionais no que tange à viabilidade de execução da obra e os ambientais, que também influenciam na concepção e viabilidade do projeto com respeito à preservação ambiental e social, bem como do fator econômico. BATISTA *et al* (2012) citam que mesmo diante de impactos e problemas oriundos da implantação deste tipo de empreendimento há que se considerar os benefícios gerados pelas hidrelétricas, no entanto é preciso ter conhecimento e dimensionamento dos impactos causados desde a fase de implantação até sua operação. GUERRA & CARVALHO (1995) consideram que os impactos mais comuns da implantação e operação de uma Usina Hidrelétrica incluem a transformação da dinâmica do ambiente, antes lótico (fase rio) para lântico (fase reservatório), alterações do regime hídrico do rio e em alguns casos do regime fluvial, quando da necessidade de desvio da calha principal; mudanças na

temperatura da água do reservatório e estratificação térmica da coluna d'água, modificando consequentemente a distribuição de oxigênio dissolvido na água, e, por sua vez alteração das condições de vida da fauna aquática. Ainda sobre o meio físico, desde os primeiros momentos do represamento, dependendo da área do objeto da intervenção, há possibilidades de desencadeamento do processo de acomodação geológica, produzindo-se ocorrências sísmicas. Sobre a geomorfologia e solos são comuns efeitos de rupturas, escorregamentos, intensificação de processos erosivos através do aparecimento de ravinas, voçorocas que por consequência iniciam o processo de assoreamento.

A alteração da dinâmica do corpo hídrico, com tempo de permanência muito superior se comparado ao ambiente lótico anterior, provoca fortes alterações em toda a bacia hidrográfica. Uma delas é elevação acentuada do lençol freático subterrâneo, ao mesmo tempo em que diminuem as velocidades dos tributários produzindo, sob o ângulo da ótica do meio físico o aumento da evapotranspiração e o comprometimento da qualidade da água, que por sua vez acarreta em perda da biodiversidade. A perda da biodiversidade é considerada como um dos grandes impactos biológicos causados pela implantação de uma UHE, tanto da fauna aquática como terrestre.

Com o enchimento do reservatório, faz-se necessário a retirada da vegetação ou, limpeza da bacia de acumulação, acarretando o afugentamento da fauna local, interferência nos sítios reprodutivos e de alimentação e pressão predatória gerados pela competitividade entre as espécies, mediante a perda de habitat, e, consequentemente risco ou ameaça a extinção local de determinadas espécies com fragilidade de adaptação.

A proliferação de macrófitas aquáticas têm se tornado um problema para o setor elétrico, visto que além de possíveis prejuízos a qualidade das águas e a mudança da paisagem local, essas plantas aquáticas interferem severamente na geração de energia causando sérios prejuízos técnicos e econômicos. As macrófitas aquáticas caracterizam-se por apresentarem elevada produtividade principalmente em regiões rasas e de baixa velocidade de correnteza (ambientes lênticos). Em reservatórios brasileiros é comum a proliferação de macrófitas aquáticas; além do clima, o aumento populacional dessas espécies em reservatórios eutrofizados deve-se à oferta contínua de nutrientes (JOYCE, 1993).

Apesar dos problemas de proliferação acentuada causados pelas macrófitas aquáticas elas são vegetais de importância ecológica servindo como locais para reprodução de aves, desova de

peixes, alimento para pequenos mamíferos, peixes e aves. Além disso auxiliam o processo de estabilização das margens, favorecem a oxigenação da água, e podem também ser indicadoras da qualidade da água, quando não há proliferação em excesso.

No que concerne aos impactos socioeconômicos gerados pela implantação de barragens hidrelétricas, destaca-se a interferência à população urbana e rural, com alterações das relações de vizinhança e nos modos de vida da população afetada, em função das desapropriações e realocações. A formação dos reservatórios interfere diretamente nas relações de dependência com o território e os usos praticados anteriormente por populações tradicionais, agricultores familiares, ribeirinhos, extrativistas, quilombolas, etc. Além da remoção de pessoas, há de se considerar também a possibilidade de interferências a bens do patrimônio histórico e cultural, áreas de comércio, médios e grandes agricultores de importância para a reprodução social de populações.

Quanto aos impactos à saúde destaca-se o aparecimento e disseminação de endemias. Mesmo com os esforços empregados pelos empreendedores em manter o padrão de vida das populações afetadas com a implantação do empreendimento, a mitigação deste impacto será sempre incompleta.

Segundo FENILLI (2002), os principais impactos socioeconômicos provocados pela implantação de Barragens Hidrelétricas são: criação de expectativas, alteração do cotidiano da população, alteração demográfica, intensificação do tráfego, alteração no quadro de saúde, perda de terras e benfeitorias, desestruturação da unidade de produção familiar e interferência no fluxo turístico da região. As indenizações normalmente são realizadas levando-se em conta o valor da terra, dos cultivos existentes, das benfeitorias, porém não é levado em conta o custo social da retirada das pessoas, as quais construíram sua história, valores e modo de vida naquela região. Além disso os empregos temporários, criados de fato na fase de implantação de um empreendimento hidrelétrico acabam gerando uma falsa sensação de prosperidade local que afeta a sustentabilidade econômica ao final da obra. AYRES (2009) enfatiza que mesmo com os impactos causados deve-se levar em consideração que a construção de hidrelétricas é uma necessidade para o desenvolvimento regional, através da atração de novos investimentos, geração de empregos, que mesmo de forma temporária, promove a capacitação profissional ampliando oportunidades de trabalho e serviços, e, de modo geral, produz modificações na economia local.

### 3.2 - IMPACTOS SOBRE A ICTIOFAUNA

O setor elétrico brasileiro vem, ao longo de seu crescimento e desenvolvimento se deparando com questões ambientais durante seu planejamento, implantação e operação. Dentre os diversos impactos socioambientais causados, destacam-se aqueles relacionados à fauna aquática, em especial peixes (LOPES *et al*, 2011). As alterações no habitat são um dos principais fatores relacionados à perda de biodiversidade. Desta forma, a partir da década de 80 estas preocupações tornaram-se mais significativas entre as concessionárias, as quais se viram obrigadas a concentrarem esforços em atenuar ou mitigar os impactos negativos sobre os recursos pesqueiros e a ictiofauna. Estas ações tiveram início com as práticas de repovoamento. Obrigações legais sustentaram a construção de pelo menos uma estação de piscicultura em cada curso d'água que possuísse barragem. As dificuldades técnicas de procriação de espécies nativas levaram à opção por aquelas exóticas, o que leva a consequências ainda mais drásticas ao ecossistema aquático, principalmente ao desequilíbrio à comunidade de peixes nativos da bacia (BAXTER, 1977; TORLONI *et al.*, 1986; AGOSTINHO, 2007).

O Brasil é o maior país neotrópico que abriga a maior diversidade de peixes de água doce do mundo, algo próximo de 10% (aproximadamente 3.000) de todas as espécies conhecidas (KOTTELAT & WHITTEN, 1997; MC ALLISTER *et al*, 1997; FROESE & PAULY, 2013). As bacias hidrográficas brasileiras têm ampla extensão e, associada à localização geográfica o Brasil tem grande expressividade na diversidade de espécies de peixe. AGOSTINHO *et al.*, (2005) citam que entre os peixes de água doce, a ictiofauna neotropical possui elevada diversidade, principalmente devido à presença de grandes sistemas hidrográficos, com considerável diferenciação ictiofaunística entre si. No entanto, boa parte dessa diversidade ainda é desconhecida. GODINHO (2008) enfatiza que o Estado de Minas Gerais, pela sua posição geográfica, possui um sistema hidrográfico que abrange a maior parte das bacias brasileiras com diferentes dimensões e expressividade em nível nacional. VIEIRA (2005) fez uma estimativa que indicou a ocorrência de 354 espécies de peixes, o que representa 12% do total encontrado no Brasil (MC ALLISTER *et al.*, 1997).



A bacia do São Francisco apresenta o maior número de espécies (173), seguida das bacias do Paranaíba (103), Grande (88), Doce (64), Paraíba do Sul (55), Mucuri (51) e Jequitinhonha (35) (BIODIVERSIDADE EM MINAS GERAIS, 2005). O “*Manual de Identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco*” (BRITSKI *et al*, 1988) é tido como um dos mais conhecidos estudos publicado para o Estado de Minas Gerais, pois enfoca os peixes de uma bacia que drena diversos estados. Essa sua abrangência faz com que seu impacto transcenda os limites territoriais de Minas Gerais. Outras importantes publicações similares abordam áreas relativamente restritas e não trazem uma listagem exaustiva da ictiofauna (GODINHO, 1996; VAZ *et al*, 2000; VIEIRA *et al*, 2011; MANZANO, 2012). Esta situação indica claramente que muito ainda precisa ser feito para que a ictiofauna do estado seja efetivamente conhecida, no que diz respeito tanto aos inventários quanto à descrição de novas espécies.

Devido ao alto potencial hidrelétrico, desde a década de 1950, Minas Gerais tem sido foco de rápida expansão de usinas hidrelétricas. Esse processo foi ampliado ao longo dos anos com a construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's). Nesse contexto percebe-se que os impactos sobre os corpos d'água foram se somando gradativamente. A intensidade desses impactos depende das particularidades da fauna e flora locais, tais como estratégias reprodutivas, padrões de migrações e grau de adaptação a ambientes lacustres. Dependem ainda das características do reservatório, desenho da barragem, vazão, tipo de turbina e procedimentos operacionais (SILVA, 2010). Diversos estudos corroboram que fatores ambientais influenciam significativamente na distribuição espacial de indivíduos (PIENTKA & PARRISH, 2002). Experimentos conduzidos no Mecanismo de Transposição de Peixes (MTP) tipo escada para peixes de Itaipu constataram que a temperatura da água e da vazão turbinada influenciam na intensidade de ascensão dos peixes. Na UHE Lajeado, estudos revelaram que variações no nível da água influenciaram na riqueza e abundância de peixes que se concentravam na escada de peixes (AGOSTINHO *et al*, 2007). Embora haja a comprovação da influência da velocidade e vazão sobre o comportamento da comunidade de peixes, e, conseqüentemente dos impactos causados pela construção de barragens, pouco se sabe sobre como a operação de uma usina hidrelétrica afeta a distribuição espacial dos indivíduos nas imediações da barragem. Desta forma a compreensão dos padrões de movimentos e distribuições dos peixes na área do canal de fuga sob os diferentes regimes operacionais é uma chave importante para a definição de

estratégias operativas do Setor Elétrico e para a minimização dos impactos causados à ictiofauna durante as manobras operativas (SUZUKI, 2014).

Um dos impactos mais discutidos entre os estudiosos do assunto é a interceptação de rotas migratórias de peixes pelo barramento, o que acarreta na interferência da comunidade de peixes. Tratar deste impacto é de extrema relevância quando se leva em conta a diversidade de espécies de peixes nos rios brasileiros e sua importância na cultura e subsistência das populações ribeirinhas e na economia (JUNHO, 2008).

De acordo com GODINHO & KYNARD (2008), as migrações dos peixes brasileiros são pouco conhecidas em comparação ao conhecimento sobre migração dos peixes do hemisfério norte. No sudeste brasileiro, as pessoas, em geral, estão familiarizadas com a migração reprodutiva ascendente, denominada piracema, embora a migração reprodutiva descendente também já tenha sido detectada nos poucos estudos conduzidos sobre o assunto (GODOY, 1975).

Os mecanismos que ocorrem após a formação do reservatório desempenham papel importante na futura ocupação do ambiente pela ictiofauna (AGOSTINHO *et al*, 2007). Diversas variáveis dimensionais das estruturas podem influenciar na composição, abundância e tamanho das comunidades de peixes. Um reservatório recém formado é colonizado por espécies previamente existentes, mas como nem todas são capazes de se adaptarem ao novo ambiente, a ictiofauna do reservatório tende ao longo do tempo se tornar menos diversificada (AGOSTINHO *et al*, 1997<sup>a</sup>). Segundo LOWE-MC CONNEL (1987), as espécies de peixes submetidas às modificações causadas pelos barramentos podem ser divididas em dois grupos: espécies reofilicas, de água corrente, que aparentemente apresentam menos condições para permanecerem represadas, ou seja, com hábitos migratórios; o segundo grupo é formado por espécies sedentárias, adaptadas a ambientes lênticos, apresentando amplo espectro alimentar e características adaptadas a ambiente de águas calmas.

De acordo com JUNK *et al*, (1989), os rios e suas planícies de inundação são considerados um sistema inseparável. As fases do ciclo de vida da ictiofauna estão ligadas ao regime de cheia dos rios (VAZZOLER *et al*, 1997). As lagoas marginais apresentam-se como importantes áreas de desenvolvimento aos estágios iniciais de peixes (ZIOBER *et al*, 2007; DAGA *et al*, 2009) e

são ambientes de abrigo e alimento, com maiores temperaturas, propícias ao desenvolvimento larval. O contato periódico do rio com as lagoas marginais, permite a colonização das mesmas por ovos e larvas das espécies de peixes de piracema, bem como a saída de alevinos e jovens provenientes de reprodução anteriores para o curso do rio. Durante a piracema, o movimento de migração sazonal realizado por espécies de peixes reofílicas, que saem dos sítios de alimentação para os sítios de reprodução, estão localizados geralmente à montante. Posteriormente os indivíduos jovens e adultos retornam para os sítios de alimentação (POMPEU & GODINHO, 2003). Os barramentos alteram o regime de cheias dos rios e consequentemente afetam a formação e funcionamento das lagoas marginais. A Figura 3 apresenta o modelo geral dos movimentos dos peixes migradores da bacia dos rios Paraná e São Francisco.

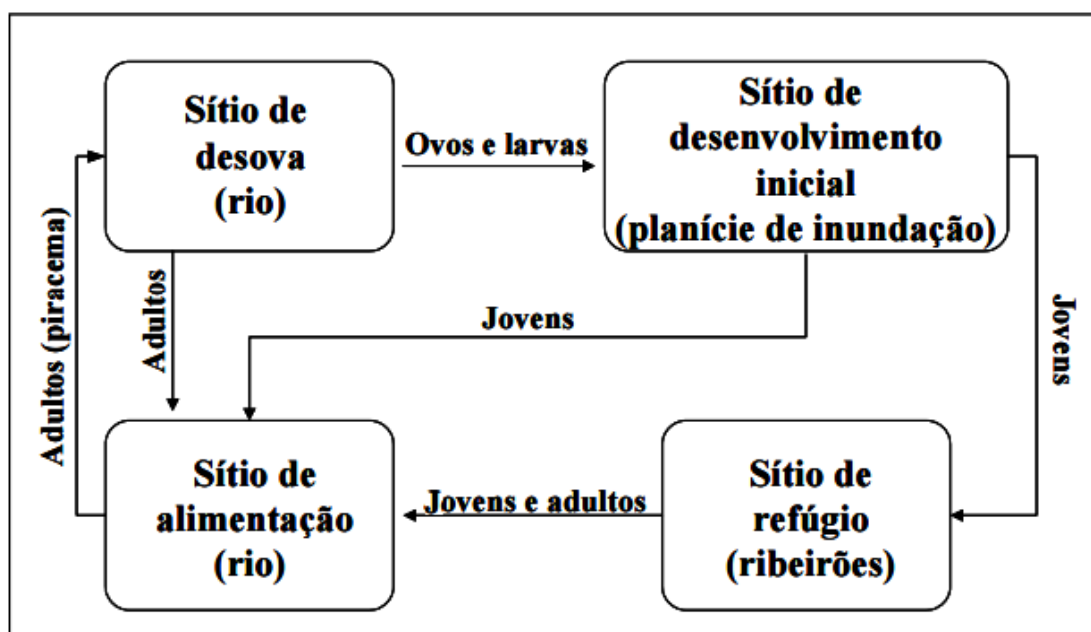


FIGURA 3 - Modelo geral dos movimentos dos peixes migradores da bacia dos rios Paraná e São Francisco  
 FONTE: Godinho & Pompeu, 2003.

As lagoas marginais, que são sazonalmente inundadas, possuem uma heterogeneidade de ambientes aquáticos, com características limnológicas próprias e ambientes transicionais, que ora se configuram como terrestres, ora como aquáticos (JUNK *et al.*, 1989). Este autor destaca o papel das planícies inundáveis no aporte de matéria orgânica para os rios, enriquecendo suas águas, sendo o pulso de inundação responsável pela permanência, produtividade e interações

entre os ecossistemas da bacia hidrográfica. Ressalta-se a importância na preservação desses ambientes a fim de garantir o processo reprodutivo de várias espécies (SANTOS & FORMAGIO, 2000).

Os reservatórios artificiais das usinas hidrelétricas possuem alta capacidade de reter os pulsos de inundação natural da bacia de drenagem (HILSDORF & PETRERE JR., 2002). Com isso, trechos alagáveis à jusante da barragem não recebem água das cheias, alterando toda a dinâmica natural do ecossistema aquático, ao passo que muitas vezes as lagoas marginais à montante são inundadas pela formação do reservatório, não exercendo mais o papel no ciclo reprodutivo das espécies de peixe.

Num processo de migração ascendente, três fatores tornam o movimento descendente de ovos e larvas às lagoas marginais através de um empreendimento hidrelétrico pouco provável, quais seja: i) a baixa capacidade de transporte dos reservatórios, devido à redução da velocidade de escoamento (PELICICE & AGOSTINHO, 2007); ii) a predação devido a maior transparência da água levando ao incremento na mortalidade (AGOSTINHO & GOMES, 1997); iii) passagem pelas turbinas (CADA & HERGENRADER, 1978; CADA, 1990, 1991). Estes efeitos, associados às taxas naturais de mortalidade, podem ter implicações importantes a longo prazo nas populações adultas e nas comunidades aquáticas como um todo (CADA & HERGENRADER, 1978). De acordo com NAKATANI *et al* (2001) considera-se importante a realização de estudos na identificação das áreas de desova e desenvolvimento dos peixes. A identificação precisa dessas áreas é fundamental para a implementação de medidas de orientação e proteção dessas áreas (NAKATANI, 2001). Além disso, os tributários constituem importante alternativa à reprodução, contribuindo com grande número de ovos e larvas à bacia, especialmente quando os trechos do rio principal estão sob influência de barramentos (NAKATANI *et al*, 1997b; BAUMGARTNER *et al.*, 2004; WELCOMME, 1979).

A interceptação do barramento pode ainda afetar a variabilidade genética, nos índices de similaridade entre os trechos de montante e jusante. Essa perda de variabilidade genética reduz o sucesso reprodutivo, a sobrevivência e a diversidade genética, diminuindo a habilidade das populações de responderem às mudanças ambientais. Com isso, a longo prazo a estrutura da comunidade de peixes é alterada, podendo até mesmo levar a extinção de espécies. Cabe

ressaltar que os impactos estão diretamente associados ao volume do reservatório e ao grau de regularização do rio a jusante. Reservatórios a fio d'água e com pequeno volume tendem a apresentar impactos menores, tanto para as chances de sucesso migratório quanto para a regularização a fio d'água que garante que a vazão afluyente, que chega na usina seja liberada para a jusante, conservando o regime hidrológico no trecho abaixo do barramento.

Parâmetros técnicos como o modo de operação da usina (fio d'água, acumulação, desvio de fluxo), o tipo de vertedouro (tulipa, comporta, descarregador de fundo) e de turbina são determinantes fundamentais para os impactos no sítio hidroenergético. A operação das estruturas hidráulicas muitas vezes funciona como atrativos à ictiofauna por propiciarem condições físicas ideais, tais como turbulência, e aumento da temperatura, por isso, durante a fase de operação dos empreendimentos hidrelétricos, poderá ocorrer, eventualmente, mortalidade de peixes em operações de manutenção, ou em operações de reversão de modo de operação das máquinas de síncrono (ou reativo) para geração.

O Programa Peixe Vivo da Cemig, foi implantado em 2007 em decorrência de acidentes ambientais em manobras operativas envolvendo a ictiofauna. O objetivo do Programa foi criar e expandir ações voltadas para a preservação da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos da Cemig, com a adoção de estudos e critérios científicos para subsidiar a tomada de decisões, a modificação de práticas adotadas, e a divulgação para a sociedade.

Estudos realizados pelo Programa identificaram manobras que são de maior risco para a ictiofauna em usinas da Cemig: drenagem de máquinas, feitas mediante necessidade de revisão programada; parada e partida de máquina; variação de carga; operação do vertedouro, operação síncrono, operação normal (CEMIG, 2016). Estudos realizados na UHE Três Marias mostraram que a geração mínima antes de uma manobra operativa (parada de máquina) gera uma probabilidade maior de risco à ictiofauna (CEMIG, 2016). De acordo com LOURES & POMPEU (2012) as manobras feitas pelas turbinas durante o período chuvoso são outro fator que oferece riscos à ictiofauna, pois neste período há uma concentração maior de peixes no canal de fuga. Testes realizados na UHE Três Marias com a espécie *P. maculatus*, popularmente conhecidos como mandí, concluíram que embora haja uma atração maior de peixes no Canal de Fuga com o aumento da vazão turbinada e vertida, a presença desta espécie em maior

concentração ocorre quando há um regime mínimo de vazão ocasionando em altos riscos de mortandade de peixes mediante manobras operativas (SUZUKI, 2014).

O Mandi Amarelo (*Pimelodus maculatus*) é uma das espécies mais afetadas em manobras de Usinas Hidrelétricas da Cemig (ANDRADE *et al*, 2009). As Figuras 4 e 5 a seguir demonstram alguns impactos causados a peixes desta espécie em algumas manobras:



FIGURA 4 - Exemplar de peixe com sintoma de choque mecânico  
FONTE: Átila Araújo, 2012



FIGURA 5 - Exemplar de peixe com sintoma de evisceração  
FONTE: Mateus Carvalho, 2009

Outra condição operativa que pode acarretar danos à ictiofauna é a turbulência provocada pela água vertida ou pela vazão turbinada que pode causar elevada incorporação de gases

atmosféricos à água. Essa incorporação de gases atmosféricos, acima de determinado nível, é letal aos peixes. O fenômeno causado pela incorporação de gases é denominado embolia gasosa e depende do nível de saturação gasosa, do tempo de exposição dos peixes nesta condição, da temperatura da água e da condição física do espécime (PETTS, 1984). Baxter, 1977; AGOSTINHO *et al.* 1992).

De acordo com BEIRÃO (2015) no que se refere à passagem de peixes por turbinas hidráulicas podem ser citadas quatro causas de mortalidade: choque mecânico entre os peixes e as partes da turbina; forças de cisalhamento; fenômeno de cavitação e variação rápida de pressão (DENG *et al.*, 2007; MAGALHÃES, 2009; BROWN *et al.*, 2012b). O risco de um peixe sofrer choques mecânicos depende da velocidade e espaçamento das pás da turbina (AGOSTINHO *et al.*, 2007; BAUMGARTNER *et al.*, 2014), além da turbulência à qual são submetidos. As forças de cisalhamento ocorrem a partir da interação de duas ou mais massas de água agindo em sentidos opostos – ou no mesmo sentido, em velocidades distintas, podendo fazer com que o peixe se contorça involuntariamente até que seja dilacerado (BAUMGARTNER *et al.*, 2014). O fenômeno da cavitação ocorre em condições de baixa pressão (em torno de 2 kPa), induzindo a formação de bolhas de gás ou vapor que, quando atingem uma área de maior pressão, implodem, gerando graves colapsos (MAGALHÃES, 2009). Indivíduos maiores estão mais propensos a sofrerem mortalidade por essas três primeiras causas (DENG *et al.*, 2007; MAGALHÃES, 2009; BROWN *et al.*, 2014). A variação rápida de pressão torna-se mais importante pois independentemente do tamanho dos peixes, todos aqueles que passam por uma turbina estão sujeitos à variação de pressão (BROWN *et al.*, 2014).

O estudo apresentado por BEIRÃO (2015), levantou e identificou efeitos de barotrauma nas populações de peixes próximas às estruturas hidráulicas. A variação de pressão num sistema hidrelétrico ocorre desde a tomada d'água, onde pressões mais elevadas já são sentidas, em razão da profundidade e aumenta gradativamente até a chegada ao rotor da turbina. No rotor ocorre uma descompressão abrupta, muitas vezes em tempo menores que 1 segundo (STEPHENSON *et al.*, 2010; BROWN *et al.*, 2012c). Após passar pelo rotor, no tubo de sucção, ainda podem ocorrer fenômenos de descompressão. Em manobras de parada de máquinas o risco de mortalidade de peixes é mais elevado devido ao livre acesso de peixes presentes no Canal de Fuga à sucção (AGOSTINHO *et al.*, 2007; ANDRADE *et al.*, 2012) onde a principal

causa de morte é por anoxia e choque mecânico com as estruturas. A partida de máquinas também é uma manobra que gera risco de mortandade de peixes, pela ocorrência de variação de pressão. Esta variação ocorre devido a uma descompressão abrupta ainda no tubo de sucção, ou quando os peixes são levados rapidamente da turbina até a superfície da água. Por isso é comum encontrar peixes mortos no canal de fuga após esse eventos de parada e retomada de máquinas (AGOSTINHO *et al.*, 2007; SILVA, 2010; ANDRADE *et al.*, 2012; LOURES & POMPEU, 2012), vários deles com sintomas de barotrauma, lesões causadas pela variação de pressão (BROWN *et al.*, 2014; BOYS *et al.*, 2014). Essas variações de pressão em turbinas geralmente são subatmosféricas (COUTANT & WHITNEY, 2000; DENG *et al.*, 2010; CADA & SCHWEIZER, 2012).

No Estudo de BEIRÃO (2015), diversas hipóteses foram consideradas durante os testes realizados: i) Mortandade por barotrauma em peixes neotropicais em razão de descompressão na entrada e saída de turbinas; ii) Frequência de ocorrência e tipos de barotrauma com a variação em diferentes grupos de peixes iii) Diferentes cenários de descompressão, incluindo diferentes pressões de aclimação, variações da pressão e tempo de descompressão para avaliação de lesões; iv) Ruptura da bexiga natatória e probabilidade de ocorrência de outras lesões. Os indivíduos avaliados foram capturados a jusante da UHE Três Marias após eventos de manutenção de turbinas. Observou-se que 85,1% apresentaram sinais de barotrauma, com dez diferentes tipos de lesões, relacionadas à variação de pressão.



TABELA 2 - Lesões causadas em exemplares capturados à jusante das UHE's Três Marias (rio São Francisco) e Irapé (Rio Jequitinhonha) e suas respectivas descrições (BEIRÃO, 2015)

LESÃO	DESCRIÇÃO
Bexiga natatória rompida	A expansão do gás presente na bexiga causa um aumento do volume a uma velocidade maior do que a bexiga consegue liberá-lo, levando ao rompimento do órgão
Exoftalmia	A pressão interna (geralmente pelo rompimento da bexiga natatória) faz com que os olhos sejam empurrados para fora da cavidade ocular.
Embolia	A expansão de gases dissolvidos gera formação de bolhas que ficam presas em órgãos ou tecidos. Em algumas situação, esses gases são "injetados" nos músculos e raios de nadadeiras, devido ao rompimento da bexiga natatória.
Hemorragia	Pontos de pressão devido à expansão de gases causam pequenos sangramentos nos órgãos ou tecidos. Aqui estão incluídas lesões internas e externas.
Estômago evertido	A pressão interna (geralmente pelo rompimento da bexiga) faz com que o estômago seja forçado para fora da cavidade celômica através da boca
Estômago rompido	A expansão do gás presente (ou inserido, devido à liberação de gás pelo ducto pneumático) no estômago causa um aumento no volume a uma velocidade maior do que o órgão consegue liberar, levando ao seu rompimento.
Intestino evertido	A pressão interna (geralmente pelo rompimento da bexiga) faz com que parte do intestino seja forçada através do ânus.
Intestino rompido	A expansão do gás presente (ou inserido, devido à liberação de gás pelo ducto pneumático, através do estômago) no intestino causa um aumento no volume a uma velocidade maior que a do órgão consegue liberar, levando ao seu rompimento.
Deformação da bexiga natatória	O aumento do volume do gás inserido na bexiga se expande a uma velocidade maior do que a bexiga consegue liberá-lo, mas sai elasticidade impede seu rompimento, causando sua deformação.
Deslocamento de vísceras	O rompimento de órgãos ou a expansão exagerada da bexiga faz com que as vísceras na cavidade celômica sejam deslocadas de suas localizações originais.

Diversos empreendimentos hidrelétricos têm suas Unidades Geradoras localizadas próximo da barragem, liberando as águas turbinadas e vertidas em locais próximos à casa de força, não formando um "trecho de vazão reduzida" (TVR), como é o caso da UHE Retiro Baixo, objeto dessa investigação. A Figura 6 apresenta um esquema do TVR em uma usina hidrelétrica.

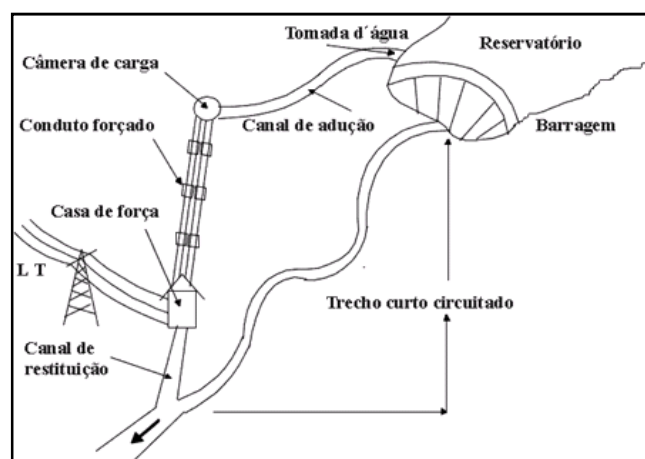


FIGURA 6 - Esquema de layout de empreendimento hidrelétrico com "trecho curto circuitado" ou TVR.

FONTE: Rhama, 2016

Há casos de UHE's em que o local de instalação da casa força se localiza a jusante do local de onde o trecho do rio foi interrompido. Isso, na maioria dos casos, é adotado de forma a se ganhar em desnível aumentando a altura de queda e permitindo uma maior potência de instalação na UHE. Normalmente isso é conseguido através da construção de um canal ou conduto de adução. Esse processo faz com que haja um desvio do fluxo do rio no trecho entre o barramento e a casa de força reduzindo ou até mesmo eliminando a água que por ali passava (BAUMGARTNER *et al*, 2010).

O Trecho de Vazão Reduzida – TVR, dificulta ou até mesmo inviabiliza a sobrevivência de espécies que necessitam de condições mínimas de fluxo para a sobrevivência. O TVR na maioria dos casos é utilizado para receber as águas provenientes do vertimento dos órgãos extravasores, o que proporciona “picos” ou momentos de elevada disponibilidade de águas e ótimas condições para existência de organismos e outros momentos com ausência ou grande redução de fluxo impossibilitando a sobrevivência de espécies (BAUMGARTNER, *et al*, 2010). Os principais impactos esperados em um TVR são: perda de habitats lóticos; perdas de recursos alimentares típicos de ambientes lóticos (fauna bentônica); atração de peixes em períodos de vertimento; aprisionamento de peixes após interrupção do vertimento; possibilidade de concentração de pescadores pela facilidade de captura nesses locais; perturbação dos índices de qualidade das águas, em função da sua estagnação (PARA DE PAULO, 2007).

Deste modo o atendimento e a manutenção das vazões ecológicas são imprescindíveis e devem ser pautada em diagnóstico da situação antes da implantação do empreendimento, com balanço das disponibilidades e demandas futuras de vazão, as quais gerarão prognóstico das quantidades e da qualidade do ambiente aquático a ser manejado. De acordo com relato pessoal, acidentes ambientais em Trechos de Vazão Reduzida já ocorreram em algumas UHE's. Devido ao grande número de variáveis e complexidade envolvidas, não existem ações padronizadas que possam ser indicadas para estes eventos. Deste modo, o sucesso dos programas de salvamento de peixes depende, primariamente, de planejamento e da rapidez com que as ações serão executadas, além do monitoramento constante de toda a área afetada enquanto as condições adversas estiverem presentes (DUTRA *et al*, 2012).

A seguir far-se-á uma descrição dos principais dispositivos e ações utilizadas no Brasil para mitigação dos impactos ambientais em UHE.

### **3.3 - DISPOSITIVOS E AÇÕES UTILIZADAS NO BRASIL PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM UHE.**

#### **3.3.1 Sistema de Transposição de Peixes**

Os Sistema de Transposição de Peixes foram introduzidos no Brasil como uma solução clássica na tentativa de restaurar a conectividade entre os sítios de alimentação e desova interrompidos pelo barramento. A implantação desses sistemas no Brasil tem sido feita ao longo do tempo, com base em medidas legislativas com o objetivo de atenuar os impactos advindos da implantação de empreendimentos hidrelétricos sobre o movimento migratório dos peixes. Esta exigência foi embasada em um relativo sucesso deste tipo de estrutura para espécies salmonídeas no hemisfério norte. Cabe considerar que a implantação desses dispositivos no hemisfério Sul não demonstrou o sucesso esperado devido à diversidade de espécies e suas diferentes características comportamentais. Por isso os Sistemas de Transposição de Peixes tem sido alvo de discussões acerca da funcionalidade e da real atenuação do impacto causado pelo barramento dos rios (JUNHO, 2008). Estudos de monitoramento e avaliação de ictiofauna foram realizados, infelizmente, apenas para um pequeno número de escadas de peixes dentre as construídas no Brasil (GODINHO *et al*, 1991, AGOSTINHO *et al*, 2002). Com base nesses estudos, existe uma certa controvérsia com relação aos efeitos da implantação de sistemas de transposição de peixes sobre as populações de espécies migradoras neotropicais (PELICICE & AGOSTINHO, 2007; GODINHO & KYNARD, 2008). De toda forma, cabe ressaltar a importância do conhecimento da implantação dos dispositivos de transposição de peixes, tanto para a engenharia quanto para a ictiofauna neotropical nos casos em que se faz necessário a implantação, seja para atendimentos a requisitos de conservação e manejo, seja para atendimento à requisitos legais (JUNHO, 2008).

O peixamento é uma prática comum adotada em reservatórios artificiais e muitas vezes é exigida pelas autoridades legais como medida atenuadora de impacto ambiental (VIEIRA &

POMPEU, 2001). Essa prática modifica intensamente a estrutura da comunidade de peixes local, prejudicando efetivamente as espécies nativas (SANTOS *et al.*, 1994). A introdução de espécies exóticas facilitada por esta prática, pode ser citada como um dos grandes impactos à ictiofauna afetando a qualidade genética do estoque, a predação de peixes nativos e a introdução de agentes de doenças que antes não existiam no ambiente (VIEIRA & POMPEU, 2001).

A construção de barragens pode provocar também uma acentuada queda da produção pesqueira. Espécies migradoras, de importância ecológico-econômica, que tendem a ser mais abundantes no rio, na condição anterior, são paulatinamente substituídas por espécies não migratórias de baixo valor comercial (BAZZOLI, 2003). De acordo com SATO & OSÓRIO (1988) essa modificação leva à alteração acentuada nas condições socioeconômicas dos pescadores, e consequentemente nas atividades comerciais relacionadas à pesca.

### **3.3.2 Barreiras Físicas Preventivas**

Pesquisas para prevenir eventos de mortandade estão sendo realizadas por diversos pesquisadores. SILVA (2010) testou em laboratório protótipos de sistemas de repulsão utilizando luz estroboscópica, cortina de bolhas, e substâncias de alarme, essas barreiras visam impedir a entrada de peixes na tomada d'água no tubo de sucção (impedindo a entrada de peixes na turbina).

Outros mecanismos de controle e prevenção também foram testados na UHE Três Marias, Minas Gerais. ANDRADE *et al.* (2012) sugeriram o uso do vertedouro como sistema de atração de peixes para a bacia de dissipação previamente a manobras de parada de máquinas para manutenção. Com a adoção desta medida, batizada de “manobra desvia peixes” espera-se que o número de peixes à jusante da casa de força diminua, evitando entrada de grandes quantidades de peixes nas turbinas. A UHE Retiro Baixo foi pioneira na implantação de grades para impedir a entrada de peixes nos tubos de sucção. LOURES & POMPEU (2012) avaliaram as variações temporais na comunidade de peixes a jusante da UHE Três Marias correlacionando com fatores abióticos. Essas informações permitiram a programação para manutenção das Unidades Geradoras em épocas e horários de menor risco à comunidade de peixes. PRADO & POMPEU

(2014) avaliaram a comunidade de peixes a montante com fatores operacionais e sugeriram a abertura programada do vertedouro para auxílio na passagem de peixes de montante para jusante de forma mais segura.

Estudos relacionados à causa do problema de mortandade em UHE`s foram realizados por POMPEU *et al.*, (2009) e MAGALHÃES (2009) através de testes em laboratório simulando ocorrência de descompressões na passagem de peixes pelas estruturas com utilização de diferentes espécies com a finalidade de identificar respostas em diferentes cenários.

Na América do Norte as técnicas de uso de transmissores acústicos representam uma poderosa ferramenta de avaliação do comportamento de peixes (SUZUKI, 2014). O uso desta técnica tem permitido o entendimento do comportamento da ictiofauna em diversos pontos críticos de um empreendimento hidrelétrico.

Estudos realizados na UHE Igarapava, equipada com turbina do tipo Bulbo (Figura 7), demonstraram, através de análises comparativas, as dificuldades da utilização deste tipo de turbina. Por ser implantada em eixo horizontal, o acesso aos grupos geradores (gerador, mancais, rotor) é mais restrito, o que dificulta os trabalhos em manobras de parada das Unidades, exigindo assim atenção especial ao planejamento das intervenções, e, no caso das atividades ambientais atenção especial quanto ao tempo médio de esgotamento da Unidade Geradora que é de aproximadamente 12 horas, o que pode elevar os riscos de mortandade de peixes mediante paradas programadas (SILVA, 2016).

A grande vantagem deste tipo de turbina é a interação com o meio ambiente, através da obtenção de aproveitamentos com reservatórios menores, possibilidade do uso da “manobra desvia peixe”, e redução do tempo de construção e conseqüente redução do custo de obra (SILVA, 2016).

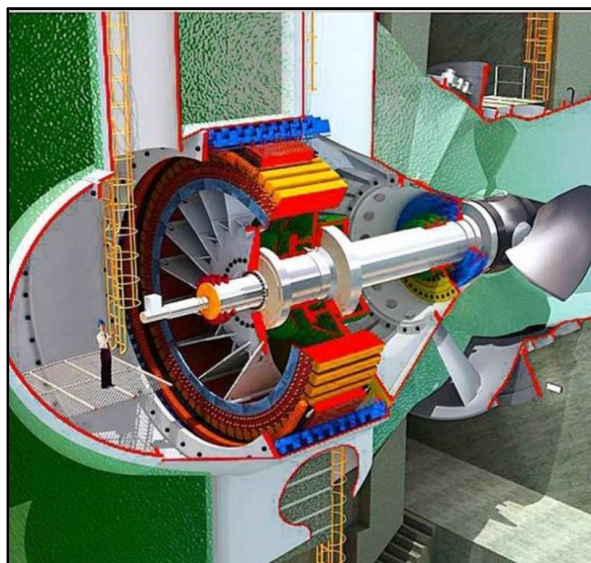


FIGURA 7– Vista esquemática de uma turbina tipo Bulbo  
FONTE: SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2014

A UHE Lajeado em operação desde 2001, realiza diversos estudos relacionados à proteção e conservação da ictiofauna (CHOUERI, 2013). Os monitoramentos iniciados antes do enchimento do reservatório servem como subsídios e referências para o entendimento do comportamento da ictiofauna.

No Brasil, apesar do elevado número de empreendimentos hidrelétricos implantados e da grande diversidade de espécies de peixes pouco se conhece acerca da real magnitude desse tipo de impacto. Embora não existam registros documentados de todos os eventos de mortalidade de peixes em turbinas, sabe-se que não é raro casos de mortalidade de toneladas de peixes em manobras operativas (AGOSTINHO *et al*, 2007; MAGALHÃES, 2009; PÉREZ, 2015). Pouco se sabe a respeito de fatores e a gravidade das mortalidades e conseqüentemente das ações de mitigação desses impactos.

Apesar de todos os problemas relacionados com a formação do reservatório, se orientada, sua operação pode minimizar os efeitos causados pela mudança de estrutura natural do rio, como é o caso das Hidrelétricas da Energie NB Power, que controlam o deplecionamento do reservatório para proteger as áreas de reprodução das trutas (SILVA, 2010). A correta operação dos reservatórios pode ainda garantir o acesso a importantes tributários ou áreas alagadas, que

servem como áreas de desova, e prover o nível de água ideal para desova e incubação de importantes espécies de peixes (SILVA, 2010).

A conservação da ictiofauna implica no conhecimento dos ambientes aquáticos e das comunidades neles presentes. Desta forma, estudos específicos devem ser desenvolvidos no sentido de subsidiarem a aplicação de métodos e técnicas de conservação específicos para possibilitar a aplicação de métodos e técnicas de conservação específicos para cada reservatório.

### **3.4 CAUSAS DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UHE E SUAS CONSEQUÊNCIAS.**

#### **3.4.1 - Desvios de rio**

Para a construção de obras nos leitos dos rios, via de regra é necessário fazer o desvio provisório do rio para a viabilização da construção de barramentos. Existem diversas formas de interromper o fluxo d'água em determinado trecho de forma a permitir a construção do barramento. A escolha do sistema a ser adotado e o período a ser executado a fim de garantir a viabilidade econômica e ambiental da obra dependem de fatores locais, entretanto, é comum utilizar-se as seguintes estruturas para desvio do rio

- Ensecadeiras;
- Túneis;
- Canais;
- Galerias;
- Vertedouro com soleira rebaixada;
- Circuito hidráulico de geração.

A construção de ensecadeiras, é a estrutura mais comum de ser utilizada. De acordo com a Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas (CEHOP, 2011), são denominadas como dispositivos utilizados para a contenção temporária de superfícies escavadas contra a ação de águas superficiais ou subterrâneas, em terrenos saturados ou alagados, onde se pretende executar obras sem a interferência das mesmas. Existem diversos tipos de ensecadeiras que variam de acordo com o tipo de material utilizado, layout e método construtivo.

Atualmente tem-se grande preocupação com os impactos ambientais, riscos à comunidade ribeirinha e trabalhadores da obra. Para isso é de grande valia a utilização de modelos reduzidos para auxiliar na escolha do tipo de desvio a ser utilizado, garantido de certa forma o retorno do investimento com a mitigação dos riscos e ainda pela segurança que seus resultados trazem. É importante também balizar a construção de desvios por meio de obras similares já executadas, na busca de falhas e sucessos, como instrumentos de cautela e inovação garantindo mais uma técnica de segurança.

As ações propostas para mitigação dos impactos podem acarretar na modificação das estruturas a serem utilizadas, e é de extrema importância a priorização de medidas mitigadoras mesmo que signifiquem alteração em critérios de projeto.

Os principais impactos causados pela construção de estruturas de desvios são:

- a) No meio físico, a ocorrência e intensificação de processos erosivos, tanto nas margens quanto no fundo do rio, com o aumento da velocidade da seção estrangulada. Outro fator é com relação à mudanças na qualidade das águas, com o aumento da quantidade de sólidos suspensos, turbidez, concentração de óleos, graxas e combustíveis devido à utilização de equipamentos.
- b) No meio biótico podem ser citados impactos tanto à fauna terrestre quanto aquática, advindas de mudanças do meio físico como alterações na qualidade das águas. Destacam-se os impactos à comunidade de peixes que variam de acordo com o método de desvio a ser utilizado. O surgimento de poças de água nos trechos ensecados podem fazer com que peixes fiquem aprisionados, por isso é de extrema importância o planejamento das atividades para que sejam adotadas medidas de proteção à ictiofauna e utilização equipes de resgate caso necessário.

### **3.4.2 - Impactos sobre a ictiofauna no enchimento de reservatórios**

Com a formação do reservatório após o barramento, ocorrem alterações na estrutura das comunidades de peixes, com proliferação de espécies sedentárias e a redução ou mesmo eliminação de espécies migradoras (AGOSTINHO *et al*, 1992).

A colonização do novo ambiente é feita a partir de espécies pré-existentes no rio, podendo ocorrer algumas mudanças, quais sejam: i) espécies em baixas densidades antes do



represamento podem encontrar condições favoráveis para se proliferarem; ii) outras espécies podem ter sua abundância diminuída ou até mesmo serem extintas por não encontrarem condições favoráveis. As espécies de menor porte, alta taxa de crescimento e elevado potencial reprodutivo são mais beneficiadas no processo (AGOSTINHO *et al*, 1992).

Durante a formação de reservatórios artificiais, as alterações na qualidade da água devido à submersão dos solos e da vegetação se constituem num dos principais impactos sobre o meio biótico (TUNDISI, 1978; BAXTER & GLAUDE, 1980), essas alterações afetam diretamente na comunidade de peixes, pois incluem as pressões no balanço de oxigênio dissolvido (PLOSKEY, 1985). Desta forma, considera-se imprescindível a retirada da vegetação da área inundada.

A quantificação da área a ser desmatada é relevante por estar relacionada a impactos químicos, físicos e biológicos dos recursos hídricos na formação dos reservatórios, principalmente com relação aos balanços de oxigênio dissolvido, que por sua vez podem ocasionar em mortalidade de peixes, formação de gás sulfídrico e de metano, nitrogênio e fósforo.

O tempo de residência da água é uma das variáveis mais importantes que influenciam os processos químicos e biológicos que ocorrem nos reservatórios (STRASKRABA, 1999). Reservatórios com tempo de residência inferiores a duas semanas tem comportamentos similares aos de rio, ao passo que tempo de residência superiores a um ano, sejam ecossistemas com características bastante próximas a lacustres (STRASKRABA, 1999).

### **3.4.3 - As ações de comissionamento das UHE's**

A etapa de comissionamento é de fundamental importância para a operação de um projeto hidrelétrico, o qual consiste em assegurar que os sistemas e componentes estejam projetados, instalados, testados e em condições de operação conforme as necessidades e requisitos do projeto. O comissionamento pode ser aplicado tanto em novos empreendimentos, quanto em unidades e sistemas existentes, em processos de expansão, modernização ou ajuste.

Na prática, o comissionamento consiste em aplicar um conjunto de técnicas e procedimentos de engenharia para verificar, inspecionar e testar cada componente físico de uma usina.

O objetivo final do comissionamento é assegurar a operação em termos de desempenho e confiabilidade.

De acordo com LOPES (2011), o comissionamento pode ser definido como o conjunto de providências que antecedem a entrega da usina para a entrada em operação comercial. Durante o comissionamento são apresentadas todas as atividades relativas ao comportamento das principais estruturas e dos equipamentos eletromecânicos.

#### **3.4.4 - Eventos de parada, partida e trips de máquinas.**

A magnitude da ocorrência dos eventos de mortandade é variada, podendo representar casos crônicos como ocorrências contínuas em pequenas quantidades até morte de grande quantidade de indivíduos. A magnitude pode estar relacionada a época do ano e abundância de peixes nas imediações da barragem e canal de fuga, bem como pela natureza das espécies (espécies de fundo e de superfície), e também pelos procedimentos operativos da usina.

A limitação da mitigação desses impactos é devido à dificuldade em identificar a causa da mortandade. A carência de informações e dados sobre os eventos também é um fator limitante, por isso a importância em investir nas pesquisas e em avaliações e procedimentos operativos, associados aos monitoramentos. Uma das principais questões a serem observadas na análise da mortandade de peixes em turbinas é a origem do peixe injuriado, se dos reservatórios ou do canal de fuga, as causas de morte podem ser distintas.

Para os peixes que vem de montante o incremento na pressão dentro da turbina, o decréscimo rápido da pressão, a cavitação, os choques mecânicos, a abrasão, as forças de cisalhamento e a turbulência estão entre os principais fatores que causam morte de peixes (BEIRÃO, 2015). O diagnóstico pode ser feito pela ocorrência de hemorragias generalizadas, eversão de bexiga natatória, dilatação do globo ocular, quadro de embolia gasosa, ou ainda efeitos indiretos no comportamento dos indivíduos. As características apresentadas no corpo do peixe, deformações de torção, alongamento, compressão, esmagamento e hemorragia, perda do muco e de escamas podem representar causas advindas das forças de cisalhamento (BEIRÃO, 2015).

A partida de unidades geradoras e processos de tomada de carga podem resultar em mortes de peixes. A tomada de carga de forma repentina aumenta a pressão no tubo de sucção e submetem os peixes presentes no local e a fortes e repentinas turbulências.

### **3.4.5 - Impactos sobre a ictiofauna em vertedores, TVR, etc.**

A mortalidade de peixes em vertedouro pode estar relacionada ao desenho e operação dos mesmos e/ou morfologia do canal de jusante. As fontes de injúrias e mortes em vertedouros referem-se à supersaturação gasosa, injúrias nas passagens, e retenção em poças que se formam na bacia de dissipação ou trecho de vazão reduzida – TVR.

A grande questão dos TVR's é sobre a vazão “ideal” a ser mantida para que se possa garantir condições aos usuários de água nesse trecho, qualidade da água, condições ambientais, aspectos cênicos e paisagísticos, econômicos e sociais. Não existe regulação sobre esse assunto no Brasil e pouco existe a nível mundial, devido principalmente a definição sobre as vazões ambientais que deveriam ser mantidas ao longo do tempo.

Para auxílio na avaliação das ocorrências e determinação da causa mortis é necessária uma avaliação dos indivíduos injuriados. A ocorrência de bolhas de ar nos olhos, brânquias ou nadadeiras pode indicar, por exemplo, um quadro de supersaturação gasosa (BEIRÃO, 2015).

### **3.5 - A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL NA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE UHE'S.**

Após a Segunda Guerra Mundial tem-se observado um grande crescimento das atividades de produção e consumo, e, conseqüentemente, dos impactos ambientais. Neste contexto de consumo e crescimento, países vêm buscando alternativas e inovações tecnológicas para mitigação dos impactos ambientais. Os Estados Unidos destaca-se pelo pioneirismo na implantação de procedimento de Avaliação de Impacto Ambiental – AIA, e possui importantes mecanismos envolvendo a participação da população, a redução dos custos e prazos dos processos e assim, maior eficiência na aplicação da Avaliação do Impacto Ambiental (SILVA & SOARES, 2004). Para a regulação dos processos de crescimento foi implantada na década de 70 o National Environmental Policy Act - NEPA (SILVA & SOARES, 2004).

Entre 1933 e 1935, foi construída no rio Colorado, uma das regiões mais quentes e secas dos Estados Unidos a represa de Hoover, considerada por mais de 20 anos a barragem mais alta de concreto do mundo. Além da geração de energia, este empreendimento trouxe diversos benefícios decorrentes da múltipla utilização das águas do lago formado Mead (TEIXEIRA, 2006).

O Canadá é um dos países em que se beneficia da rede hidrográfica para a geração de energia. A Hydro-Québec, é uma das maiores empresas de produção de energia elétrica do mundo, com capacidade instalada de 31.500MW, sendo 97% em hidrelétricas, com 50 usinas localizadas no Canadá e Estados Unidos (TEIXEIRA, 2006).

Em 2011, o U.S. Energy Information Administration, disponibilizou a capacidade instalada de energia hidrelétrica no mundo. Nela observa-se que o Brasil é o 3º país no aproveitamento, atrás dos Estados Unidos e China.

TABELA 3 - Capacidade Instalada de geração hidrelétrica no mundo em GW (EPE, 2011)

	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Mundo</b>	752,4	772,4	795,9	825,2	856,8
<b>China</b>	105,2	117,4	128,6	145,3	171,5
<b>EUA</b>	77,6	77,5	77,8	76,9	77,9
<b>Brasil</b>	69,0	70,9	73,7	76,9	77,9
<b>Canadá</b>	70,7	71,8	72,7	73,3	74,4
<b>Rússia</b>	45,5	45,8	46,1	46,8	47,0
<b>Índia</b>	32,6	34,2	36,6	38,1	39,3
<b>Noruega</b>	26,1	26,4	27,5	27,8	28,2
<b>Japão</b>	22,0	22,1	22,8	21,8	21,9
<b>França</b>	20,8	20,8	20,8	20,8	20,9
<b>Suécia</b>	16,3	16,3	16,2	16,6	16,4
<b>Outros</b>	266,5	269,2	273,7	280,6	283,6

Os primeiros movimentos de reforma do setor elétrico surgiram nos Estados Unidos, em meados da década de 1970. O controle do sistema, é feito em maior parte por empresas privadas (73% da capacidade instalada), sendo o restante feito pelo governo federal (9%) e estadual e municipal (9%), além de cooperativas e consumidores autogeradores (8%). As condições de operação são definidas por dispositivos legais e o mercado americano é altamente regulamentado, inclusive no que se refere à política tarifária (OLIVEIRA, 1997).

Em 1992, o Congresso Americano editou nova lei energética que definiu as condições de operação do mercado elétrico. Esta legislação abriu o mercado energético a concorrência, passando as concessionárias estabelecidas a ter que competir com os geradores independentes

na oferta da eletricidade. O principal efeito da legislação foi a rápida expansão da oferta, a custos sempre inferiores aos das concessionárias, particularmente nos estados onde as tarifas são muito elevadas. Em contrapartida as amarras financeiras foram reduzidas (XAVIER, 2015).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Devido a complexidade do problema e as variações de arranjos básicos das UHE, não se pode dizer que existam ações padronizadas e absolutas que possam ser adotadas para eventos de resgate de peixes. Entretanto sabe-se que a rapidez no início da ação é um maiores fatores de sucesso dos programas de salvamento de peixes. Além disso, ações de acompanhamento com monitoramento contínuo de toda a área de interferência da UHE são importantes no que diz respeito ao resgate da ictiofauna (DUTRA *et al.*, 2010).

### 4.1 - SISTEMAS DE IMPEDIMENTO DE ENTRADA DE PEIXES

De acordo com NORTHCOTE (1998), vários são os padrões migratórios conhecidos para peixes de água doce. O padrão migratório básico de adultos inclui o deslocamento entre dois sítios principais, o de alimentação e o de reprodução. A direção da migração depende das condições e locais e pode ser descendente, ou seja, para a jusante (rio baixo) ou ascendente, para montante (rio acima).

A concentração de peixes a jusante de barragens, incluindo indivíduos desorientados por escoamentos turbulentos dos vertedouros ou pela passagem pelas turbinas, aumenta sua exposição e vulnerabilidade à predação por outros peixes ou pássaros (JUNHO, 2008), além de injúrias causadas pela operação da usina.

A atração causada pelo escoamento proveniente das turbinas fará com que indivíduos se concentrem no interior dos tubos de sucção, onde poderá ocorrer, eventualmente, mortalidade em operações de manutenção das máquinas, com o esvaziamento do tubo de sucção, ou em operações de reversão do modo de operação das máquinas de síncrono (ou reativo) para geração (CEA, 2001).

Um dos dispositivos mais utilizados para impedimento de entrada de peixes nas estruturas hidráulicas são as barreiras físicas, constituídas essencialmente por telas (metálicas ou plásticas) e são consideradas o meio mais efetivo e confiável para evitar a entrada de peixes nas tomadas d'águas e tubos de sucção. Existem diversos tipos de barreiras, sendo as mais utilizadas as do tipo rotatório (rotating drum screen), deslizante (travelling screen) ou fixo (fixed screen). As telas do tipo Eicher e modular inclinada são consideradas experimentais (ANDRADE *et al.*, 2012).

As grades anti-cardume são barreiras físicas que atualmente são bastante utilizadas em empreendimentos hidrelétricos. O objetivo principal dessas grades é evitar a entrada de peixes no tubo de sucção quando ocorre um evento de paralisação das unidades. Os estudos realizados pelo Programa Peixe Vivo / Cemig mostram que a utilização das grades reduz o impacto das partidas sobre os peixes (ANDRADE *et al*, 2012).

Estudos realizados por LOURES *et al* (2016), durante a operação das grades anti-cardume na UHE Três Marias, recomendaram a não utilização de grades anti-cardume por tempo prolongado. Mesmo com os benefícios trazidos por este tipo de barreira, pode ocorrer entrada de alguns indivíduos no tubo de sucção, e, por isso, após um determinado tempo, é recomendável a abertura das mesmas para evitar risco de aprisionamento e consequentemente mortalidade de alguns indivíduos que conseguiram entrar no tubo de sucção (LOURES *et al*, 2016). O estudo do tempo de permanência das grades é recomendado, podendo variar de acordo com as peculiaridades de cada empreendimento (ANDRADE *et al*, 2012) O sistema de grades anti-cardume tem como vantagem o fato de serem efetivos para quaisquer espécies, conforme tamanho e características natatórias. A desvantagem desse sistema consiste no modo de limpeza, sendo necessário o uso de ar comprimido para limpeza das telas, tornando-se inviável para tomadas d'água de grandes dimensões devido ao alto custo de implantação.

A eficiência deste mecanismo associa-se ao tempo de descida da grade, se é suficiente para evitar a entrada de número significativo de peixes no interior do tubo de sucção após a parada da máquina. Algumas usinas possuem este sistema de grades, e com tempo máximo de descida de aproximadamente 1 minuto (UHE Funil e UHE Três Marias).

Além das barreiras físicas, outra alternativa utilizada para impedimento são as barreiras comportamentais, ou não-físicas (LOPES, 2009). Estas são construídas com o intuito de alterar o comportamento de certas espécies, fazendo com que eles evitem determinada área, o que pode reduzir a entrada de peixes no tubo de sucção sem causar perdas de carga significativas no sistema hidráulico e sem requerer parada de máquina para sua manutenção ou limpeza. As barreiras comportamentais utilizam basicamente luz estroboscópica, infrassom, cortina de bolhas e campo elétrico (SILVA, 2010 & LOPES, 2009).

De acordo com LOPES (2009), as barreiras físicas utilizadas, tais como telas ou grades, provocam perda de carga e de geração, e pode causar efeito de empuxo axial na máquina. Grades eletrificadas são utilizadas desde o meio da década de oitenta para evitar que peixes do

mar avancem para a água doce e que os peixes dos rios avancem para dentro dos canais de irrigação. Em algumas áreas são utilizadas para separar espécies de peixes incompatíveis. LOPES (2009).

Nos Estados Unidos e Canadá, a utilização de campo elétrico para impedir, ou até mesmo guiar grupos de peixes em seus movimentos de subida e descida em empreendimentos hidrelétricos é bastante difundida. No Salt River, a barragem de Granite Reef utiliza esse sistema para impedir o fluxo de peixes do rio Colorado ao rio Salt. Este sistema, instalado em 1989, ainda funciona com 100% de eficiência (SILVA, 2010).

No Brasil, testes realizado com o "*Pimelodus maculatus*", popularmente conhecido como mandi amarelo, indicaram que a utilização de barreiras elétricas tem uma eficiência de aproximadamente 88%, índice considerado alto se comparado com outras barreiras comportamentais como barreira de bolhas e luminosa (luz estroboscópica). A dificuldade desse sistema é para os peixes que por ventura conseguem ultrapassar a barreira e ficam "aprisionados" a montante do seu ponto de instalação. Mesmo assim, diante dos resultados apresentados pelos testes os resultados são animadores e a quantidade de peixes que conseguem ultrapassar a barreira é baixa (SILVA, 2010).

O uso de baterias de lâmpadas de mercúrio ou estroboscópicas têm sido utilizadas como barreiras para evitar entrada de peixes em tomadas d'água para peixes que migram preferencialmente a noite. Contudo a eficácia desses sistemas depende da baixa velocidade de escoamento e baixa turbidez, podendo não ser tão eficaz para os tubos de sucção. Devido a adaptabilidade dos peixes a luz, as barreiras de luz podem se tornar ineficazes com o uso constante. Embora haja um baixo custo na implantação, os custos de manutenção e limpeza, associados a alimentação elétrica podem tornar o sistema inviável (SILVA, 2010).

Estudos sobre barreiras sonoras tem sido realizado, com o objetivo de verificar os padrões de movimento dos peixes. O som possui características favoráveis como a independência aos parâmetros de turbidez, de luminosidade, porém são atenuados com a profundidade e influenciados pelos níveis de ruído, os quais podem prejudicar sua aplicabilidade para tomadas d'água e tubos de sucção, e, desta forma tornar-se imperceptível para os peixes. Outras variáveis ambientais tais como temperatura da água e velocidade do escoamento, bem como estágio de vida dos indivíduos, horários do dia ou da noite e a espécie podem afetar a resposta de peixes a este sistema. Outro aspecto relevante a ser estudado antes da aplicação deste tipo de sistema e



a intensidade sonora, que pode se tornar prejudicial aos peixes dependendo da intensidade (SILVA, 2010).

De acordo com TURNPENNY (1999) poucos exemplos estão disponíveis para a utilização de barreiras elétricas no hemisfério norte para evitar entrada de peixes em canais de fuga, podendo-se citar a usina hidrelétrica de Beeston, na Inglaterra.

No Brasil, em novos projetos de aproveitamentos, a tendência é a utilização de grades com telas metálicas (Grades Anti-Cardume) a jusante do tubo de sucção de turbinas, imediatamente após a parada de máquinas. A utilização dessas grades de forma permanente seria vantajosa em termos de proteção à ictiofauna, porém tem como desvantagem a perda de carga (FARIA, 2010).

No estado de Minas Gerais, a grande maioria dos indivíduos presentes no interior de tubos de sucção de turbinas é de mandis amarelos (*Pimelodus maculatus*). Pesquisas de campo direcionadas para avaliação das respostas de indivíduos desta espécie a barreiras sonoras e elétricas, podem conduzir a soluções eficazes, e no caso de barreiras sonoras, de baixo custo, a curto prazo sem que haja interferências com a operação de usinas. Diante do exposto, as grades com telas metálicas, ou anti-cardumes, e as barreiras comportamentais sonoras e elétricas aparentam ser as soluções mais promissoras para reduzir ou impedir a entrada de peixes nesses canais.

## **4.2. PROCEDIMENTOS OBJETIVANDO A MITIGAÇÃO DE IMPACTOS**

### **4.2.1 Modelagem Física**

A modelagem física constitui basicamente de uma análise ou estudo de um sistema ou projeto em que a realidade é representada por um modelo que permite a compreensão do funcionamento ou dinâmica do protótipo. De acordo com (LEGEY, 1997) o modelo é capaz de introduzir soluções alternativas através de simulações físicas ou matemáticas a fim de se definir metas, objetivos ou soluções estratégicas. Para as questões ambientais os modelos são técnicas úteis na organização das relações causa e efeito e na ponderação de aspectos críticos.

Segundo MULLER (1995), os indicadores a serem utilizados na modelagem física de um projeto devem relevantes, “*indicadores ambientais sensíveis às intervenções*”. Os indicadores

podem ser qualitativos ou quantitativos, de forma a expressar a situação ou evento para estimar mudanças necessárias e eficazes ao projeto. Ainda de acordo com MULLER (1995), “uma escolha de muitos indicadores, ou extremamente detalhados geram dificuldade no processamento, na interpretação dos resultados e conclusão sobre os impactos. Por outro lado, a escolha de poucos indicadores ou muito superficiais pode tornar as informações insuficientes (SOUSA, 2000). O grande desafio é que muitas vezes os parâmetros de avaliação não são quantificáveis numericamente tornando necessário a condução do modelo por meio de juízos ou utilização de materiais ou técnicas (VIANA, 2008).

#### **4.2.2 Comissionamento**

O comissionamento é uma parte importante em um projeto hidrelétrico, que consiste em assegurar que os sistemas e componentes estejam projetados, instalados e operados de acordo com as necessidades e requisitos operacionais. O comissionamento pode ser aplicado tanto em novos empreendimentos quanto em unidades e sistema existentes, ou que estejam em processo de expansão, modernização ou ajuste (LOPES, 2011).

Na prática, consiste na aplicação de um conjunto de técnicas e procedimentos de engenharia para verificar e inspecionar cada componente físico da planta hidrelétrica. O objetivo final do comissionamento é assegurar a transferência dos componentes para o proprietário de forma segura em plenas condições operativas (LOPES, 2011).

Segundo a I.E.E.E. Std. 1248-1998 o comissionamento é normalmente dividido em três fases:

- Fase de testes de construção
- Pré-operacional
- Operacional

A fase de comissionamento além de testar e verificar as condições das estruturas e componentes hidráulicos são essenciais para os testes e avaliação das condições ambientais principalmente com relação à ictiofauna. Na etapa de ensaios dinâmicos operacionais tem início as observações e avaliações referentes às possíveis interferências na comunidade de peixes. Estes ensaios consistem além da análise de outras variáveis, os testes de carga máxima e mínima nas Unidades

Geradoras, bem como as variações de pressão dentro do conduto forçado e na admissão da turbina. Parâmetros como pressão na caixa espiral, rotação, abertura do distribuidor e pressão no tubo de sucção são confirmados e estas grandezas são primordiais para a avaliação dos impactos operativos causados à ictiofauna (LOPES, 2011).

#### **4.2.3 Eventos de parada e trips de máquinas**

Em usinas hidrelétricas a paralisação das Unidades Geradoras é necessária tendo em vista a necessidade de verificações de ocorrências e reparos a serem efetuados nos compartimentos dos sistemas geradores a fim de garantir a geração de energia.

As melhorias nas manobras operativas das turbinas e vertedouros têm contribuído para a redução do número de peixes retidos durante a parada de máquinas, e, conseqüentemente da mortalidade de peixes. A realização do procedimento “desvia peixe” iniciado cerca de duas horas antes das paradas programadas, consiste na paralisação de uma unidade adjacente no intuito de atrair os peixes. Em alguns casos utiliza-se a abertura dos vertedouros para a operação “desvia peixe”, porém esta medida deve ser avaliada, tendo em vista a perda de massa de água para a geração (LOURES *et al.*, 2016). Diversas outras medidas que contribuem para proteção da ictiofauna durante essas manobras vem sendo estudadas e avaliadas de acordo com a viabilidade financeira de implantação *versus* eficiência. Estas medidas serão apresentadas no item 3.3.2 “Barreiras Físicas”.

Demais componentes mecânicos atualmente utilizados, como as grades anti-cardume atuam de forma preventiva nas manobras operativas, contribuindo para a minimização dos impactos e até mesmo evitando a mortalidade de peixes. Por isso a condução da operação das grades anti-cardume tais como o tempo de fechamento e a avaliação da sua permanência são premissas importantes a serem avaliadas em consonância com as manobras operativas (ANDRADE *et al.* 2012).

É possível concluir que as adaptações dos projetos de engenharia contribuem para a minimização dos impactos sobre a ictiofauna durante a operação das usinas. Além disso a

sintonia entre as regras operativas e as demandas para a conservação da ictiofauna contribuem para a redução da mortandade e para o processo de melhoria contínua e sustentabilidade dos empreendimentos hidrelétricos.

## 5 ESTUDO DE CASO – UHE RETIRO BAIXO

A UHE Retiro Baixo localiza-se no baixo curso do rio Paraopeba entre os municípios de Curvelo e Pompéu, Minas Gerais. Serão enfatizadas as modificações de melhoria e instalações tecnológicas feitas em fase de projeto para a minimização dos impactos ambientais, levando-se em consideração as peculiaridades da área de implantação do empreendimento e as características da bacia. Serão ainda apresentados e avaliados os resultados nas inovações implantadas considerando os episódios de mortandade de peixes em consonância com as manobras operativas da Usina.

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A UHE Retiro Baixo está em operação comercial desde março de 2010. A Tabela 4 apresenta os dados técnicos do empreendimento:

TABELA 4 - Dados Técnicos UHE Retiro Baixo (RETIRO BAIXO ENERGÉTICA S.A., 2017)

CARACTERÍSTICAS GERAIS		RESERVATÓRIO	
Turbina	Kaplan	Bacia	Paraopeba (MG)
Unidades Geradoras	2	N.A. Normal	616,0m
Potência Nominal	41MW	N.A. Maximorum	617,0m
Energia Assegurada	38,5MW	N.A. Minimorum	614,0m
Vazão Nominal Unitária	128,18m <sup>3</sup> /s	Área Inundada	22,58km <sup>2</sup>
Vazão Máxima de Projeto (10.000 nos)	3.955,00m <sup>3</sup> /s	Volume Útil	40,87hm <sup>3</sup>
Vazão Sanitária	27,67m <sup>3</sup> /s	Vida Útil	47,4 anos
Vazão Mínima Média Mensal	23,20m <sup>3</sup> /s	Comprimento	37.600,00m
Área de Drenagem da Bacia	12.091km <sup>2</sup>	Profundidade média	22m
BARRAGEM		VERTEDOURO	
Tipo	Terra/Enrocamento	Tipo	Superfície Creager
Altura	45m	Capacidade	3.955,00m <sup>3</sup> /s
Extensão Total da Crista	1.351,67m	Nº Vãos	3
Elevação da Crista	619,0m	Tipo	Seguimento

O rio Paraopeba representa uma sub bacia de reconhecida importância e integra a bacia do rio São Francisco, sendo afluente deste pela margem direita, e tem suas nascentes no município de Cristiano Ottoni, a uma cota altimétrica de aproximadamente 1.140m apresentando um

desenvolvimento longitudinal no sentido norte-noroeste, superior a 500 km, desde suas nascentes até sua foz no lago do reservatório da UHE Três Marias, rio São Francisco. Sua bacia hidrográfica possui uma superfície total de 13.160 km<sup>2</sup>, correspondente a 2,5% da área total do estado de Minas Gerais, e drena áreas densamente ocupadas, como parte da região metropolitana de Belo Horizonte, além de servir como fonte de abastecimento desta região, cuja economia está voltada principalmente para a mineração, indústria e agricultura nos cursos alto e médio, e para agropecuária no baixo curso (TORQUATO, 2014).

Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995, os principais trechos da bacia do rio Paraopeba foram enquadrados entre as classes 1 e 3, sendo que o seu leito principal, ou o próprio rio Paraopeba, foi enquadrado na classe 2.

Estudos desenvolvidos nesta sub-bacia indicam a presença de pelo menos 74 espécies de peixes, dentre as quais nove são exóticas (TORQUATO, 2014). Das 65 espécies nativas da bacia do rio São Francisco registradas na sub-bacia do rio Paraopeba, pelo menos seis são migradores: o surubim *Pseudoplatystoma corruscans*, o dourado *Salminus franciscanus*, as curimatãs *Prochilodus argenteus* e *Prochilodus costatus*, o piau-verdadeiro *Leporinus obtusidens* e a tabarana *Salminus hilarii*, sendo as curimatãs, as mais abundantes dentre os migradores.

Trabalhos realizados até o momento indicam que o rio Paraopeba constitui rota migratória para peixes de piracema da bacia do rio São Francisco. O trecho logo a jusante da UTE Igarapé seria a principal área de desova de peixes de tal estratégia reprodutiva na sub-bacia do rio Paraopeba (ARANTES, 2013). Os mesmos estudos também mostram que lagoas marginais do rio Paraopeba servem como berçários naturais para o recrutamento de peixes, mesmo após a formação do reservatório da UHE Retiro Baixo, inclusive para espécies de peixes migradores de grande porte. Cabe registrar também que no primeiro período reprodutivo após o enchimento do reservatório da UHE Retiro Baixo, este reservatório serviu como local de recrutamento de peixes migradores e sedentários, caracterizando uma função ecológica relevante para o reservatório da UHE Retiro Baixo.

O primeiro inventário para o aproveitamento do rio Paraopeba na geração de energia elétrica data de 1966. Em 1985 houve uma atualização desses estudos por parte da CEMIG e em 2002 um novo estudo de otimização concluiu que a mudança do posicionamento da barragem poderia

alterar de forma significativa a área a ser inundada pelo reservatório de 52km<sup>2</sup> para 22,58km<sup>2</sup>. Esta modificação diminuiria os custos de construção e tornaria o empreendimento ambientalmente viável. Assim deu-se início à execução do projeto da UHE Retiro Baixo.

Algumas medidas foram fundamentais para a implantação e viabilidade de execução do projeto: integração entre a engenharia e o meio ambiente, além da participação de todos os empregados e prestadores de serviço em treinamentos e instruções sobre o funcionamento de uma usina hidrelétrica.

No início do projeto de implantação da UHE Retiro Baixo, foram propostas mudanças pela equipe de meio ambiente com a finalidade de atenuar os impactos decorrentes da construção e operação da usina sobre a ictiofauna especialmente. Desde o início do projeto da UHE Retiro Baixo, houve atenção especial para a comunidade de peixes com previsão de monitoramento da ictiofauna desde a fase inicial do projeto até após a operação da usina. A marcação eletrônica dos peixes para estudos de migração foi realizada antes e após a implantação do reservatório com o objetivo de dimensionar os impactos do reservatório nas atividades migratórias.

## **5.2 ELIMINAÇÃO DO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA**

No que se refere a concepção do projeto uma das modificações mais importantes foi a alteração do Arranjo Geral da Usina, tendo em vista as proposições de melhorias e adaptações relevantes para a preservação ambiental a realocação das estruturas hidráulicas da UHE Retiro Baixo, deslocando-se todas os componentes hidráulicos para uma única margem, conforme pode ser observado nas Figura 8 e 9 a seguir. A grande vantagem da eliminação do trecho de vazão reduzida e o rearranjo das estruturas hidráulicas foi a minimização de impactos ambientais relativos à ictiofauna. O Trecho de Vazão Reduzida é uma área que requer atenção durante as manobras operativas e monitoramento constante da ictiofauna.

Com o rearranjo das estruturas da usina, a área de Trecho de Vazão Reduzida que seria formada à jusante da barragem foi aterrada, eliminado qualquer tipo de dano ou problema ambiental nesta área, conforme pode ser observado na Figura 9.

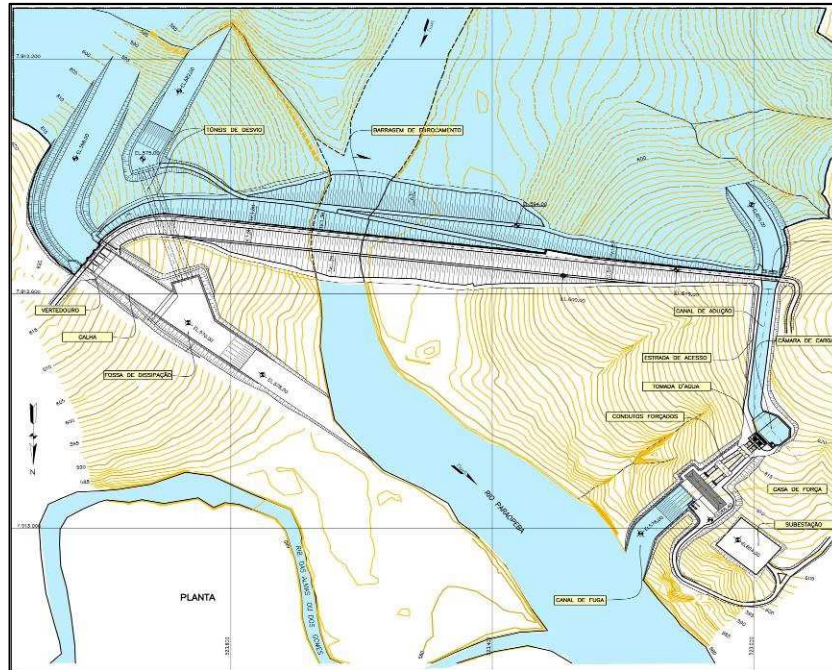


FIGURA 8– Concepção Inicial do Projeto

FONTE: Consórcio Construtor Retiro Baixo (CCRB) – 2009



FIGURA 9- Arranjo Final

FONTE: Consórcio Construtor Retiro Baixo (CCRB) - 2009

Essa modificação na etapa de projeto foi ponderada considerando a representatividade da ictiofauna no trecho do rio Paraopeba. Isso foi feito com o intuito de evitar possíveis acidentes ambientais no trecho de vazão reduzida, causados pelo aprisionamento de peixes, redução dos níveis qualidade das águas, redução da disponibilidade de alimentos para a comunidade de peixes ali presentes. O arranjo com trecho de vazão reduzida traria dificuldades técnicas operativas tendo em vista a expressividade da ictiofauna da bacia e a necessidade de resgate



rotineiro nesta região. Além disso a equipe de consultores alertou sobre a possibilidade de problemas relativos à qualidade das águas no TVR, tais como deficiência de oxigênio dissolvido suficiente para a manutenção da sobrevivência dos peixes.

Os trechos de vazão reduzida são áreas consideradas de grande risco para a ictiofauna. Registros de acidentes ambientais em TVR's comprovam este risco. A variação da influência dos TVR's sobre a comunidade de peixes depende do arranjo das Usinas, posicionamento do barramento, da casa de força, vertedouro, e, além disso das vazões mínimas vertidas e turbinadas.

De acordo com a Resolução nº 129, de 29 de junho de 2011, o Trecho de Vazão Reduzida, é o *“trecho do curso d'água compreendido entre a barragem ou o canal de adução e a seção do curso natural na qual as vazões são restituídas”*, ou seja, são trechos com restrição hídrica que por sua vez podem comprometer as condições de qualidade das águas gerando impactos severos à ictiofauna e demais comunidades aquáticas. A análise da viabilidade do TVR deve contemplar os usos múltiplos da água, atendendo demandas sanitárias, ecológicas e de outros usos, conforme necessidade de cada local (SANTOS *et al.*, 2003).

### **5.3 - ALTERAÇÕES NA ÁREA DA CASA DE FORÇA**

#### **5.3.1. Injetores de Oxigênio**

Na Casa de Força um dos principais pontos de risco para a ictiofauna é o tubo de sucção. Estes são locais onde se observa a presença de peixes devido ao turbilhonamento provocado pela água que passa pelas turbinas. Sabe-se que trechos de correnteza são preferências para a maioria das espécies de peixes.

No projeto da UHE Retiro Baixo os tubos de sucção das duas Unidades Geradoras são equipados com injetores de oxigênio a fim de garantir a qualidade das águas em eventos de parada de máquinas. Essa alternativa foi sugerida e adotada em fase de projeto executivo, possibilitando ganho ambiental na conservação da ictiofauna e facilitando o resgate de peixes, com maior amplitude de tempo e minimização do *stress* dos peixes aprisionados dentro do tudo

de sucção. A Figura 10 mostra um detalhe da instalação Pontos de Injeção de Oxigênio no tubo de sucção.



FIGURA 10– Pontos de Injeção de Oxigênio no tubo de sucção

FONTE: CCBR, 2009

### 5.3.2. Grades Anti-Cardume

As grades anti-cardume da UHE Retiro Baixo foram dimensionadas e implantadas em fase de projeto, prevendo a minimização dos impactos na ictiofauna mediante paralisação das Unidades. O tempo de descida das grades, instaladas à jusante, é de aproximadamente 3 minutos. A Figura 11 mostra um detalhe da grade anti-cardume. A UHE Retiro Baixo foi a Usina pioneira no Brasil na implantação deste tipo de barreira física, visando a eficiência no resgate da ictiofauna em manobras operativas para revisão das Unidades Geradoras e conseqüentemente a conservação da ictiofauna.



FIGURA 11– Grade Anti Cardume UHE Retiro Baixo  
FONTE: CCRB, 2009

### 5.3.3. Acessos ao interior das turbinas

Outra melhoria obtida em fase de projeto nas estruturas da UHE Retiro Baixo foi o dimensionamento da escotilha para entrada no tubo de sucção. O tamanho da escotilha da UHE Retiro Baixo é maior que o usual, utilizado em outras usinas de mesmo porte, ou até maior. Esta melhoria é de grande utilidade para entrada da equipe, visualização das condições internas e de drenagem no tubo de sucção, e conseqüentemente facilita e minimiza o tempo de resgate de peixes. A Figura 12 mostra a escotilha implantada e a proporção entre a mesma e os operadores da UHE.

A estrutura interna da Casa de Força foi toda projetada para viabilizar e tornar o resgate dos peixes mais eficaz, pois como comentado, o tempo gasto no processo é determinante fundamental para a sobrevivência dos indivíduos aprisionados. A movimentação dos tanques de peixe é realizada por pórtico e talha desde a galeria de drenagem até a galeria elétrica, onde

o caminhão de solda fica à disposição para receber o tanque A Figura 13 mostra detalhes de içamento de tanque no interior da casa de força da UHE Retiro Baixo.



FIGURA 12– Escotilha entrada tubo de sucção UHE Retiro Baixo

FONTE: Retiro Baixo Energética S.A., 2012



FIGURA 13– Içamento de tanques de peixe na Casa de Força

FONTE: Ana Alice, 2012.

#### 5.4 EVENTOS DE PARALISAÇÃO DAS UNIDADES GERADORAS

Os eventos de paralização das Unidades Geradoras na UHE Retiro Baixo são conduzidos através de planejamento prévio e avaliação das condições nas proximidades do Canal de Fuga previamente à parada.

Na UHE Retiro Baixo ganhos tecnológicos implantados em fase de projeto (injeção de oxigênio no tubo de sucção, dimensionamento e instalação de grade anti-cardume, estrutura interna na casa de força de modo a facilitar a logística de resgate) foram fundamentais para a prevenção e conservação da ictiofauna, proporcionando segurança durante a execução das atividades. A sequência de programação das manobras de paralização na UHE Retiro Baixo é seguida conforme cronologia abaixo:

1. Monitoramento da ictiofauna no Canal de Fuga com um dia de antecedência à paralização;
2. Giro Mecânico da Unidade, se possível com carga ativa a fim de expulsar os peixes presentes no tubo de sucção;
3. Parada da Unidade Geradora com descida de grades anti-cardumes e fechamento da comporta da tomada d'água com colocação de stop log montante;
4. Início do monitoramento do índice de oxigênio dissolvido com periodicidade de 1 hora até abertura da escotilha. Caso o nível de oxigênio dissolvido esteja decaindo de forma abrupta ou até que o índice atinja uma leitura menor que 3 mg/L, recomenda-se a abertura das válvulas para a injeção de oxigênio nos tubos de sucção a fim de evitar stress dos peixes aprisionados e consequentemente aumento da taxa de mortalidade de peixes. Esta etapa é primordial para a conservação da ictiofauna. Os injetores de oxigênio não são acionados logo após a paralização da Unidades para evitar a mortalidade dos peixes por supersaturação gasosa
6. Acompanhamento da equalização do conduto com a sucção;
7. Fechamento da comporta de fuga (colocação do stop log) e início da drenagem na Unidade Geradora até a manutenção em nível de "aquário" (drenagem parcial);
8. Avaliação das condições no tubo de sucção (verificação de vazamentos);
9. Início da drenagem total;

10. Início dos trabalhos da equipe de resgate de peixes;
11. Execução resgate no poço de esgotamento.

Os tanques de acondicionamento dos peixes têm capacidade de 1000 litros e são abastecidos com água antes de receber os peixes, e acoplamento de cilindro de oxigênio. Quando os tanques atingem 60% da capacidade total, os mesmos são encaminhados para a soltura que é feita no reservatório.

Desde o início da operação da UHE Retiro Baixo em 2010 não houve registros de acidente ambiental na Tomada d'Água. Contudo, no ano de 2012, em um dos eventos de resgate de peixes, a soltura foi feita nas proximidades da Tomada d'Água, e notou-se que os os peixes que saem injuriados ou “*morimbundos*” da sucção tem poucas chances de sobrevivência neste locais próximos à Tomada d'Água devido às condições de pressão e velocidade exercida quando uma das unidades geradoras está em funcionamento.

### **5.5 SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES**

O Sistema de Transposição de Peixes da UHE Retiro Baixo foi implantado mediante condicionante ambiental. Este tipo de sistema é bastante discutido e controverso com relação à aplicabilidade, funcionamento e mitigação dos impactos causados à ictiofauna.

A construção de modelos hidráulicos surge como uma importante ferramenta na elaboração de projetos e construção de mecanismos para transposição de peixes. No caso da UHE Retiro Baixo, não houveram estudos técnicos para subsidiar a escolha do melhor mecanismo a ser adotado. Houveram discussões informais de hipóteses que poderiam ser aplicadas em atendimento às estruturas do empreendimento, e, diante do cenário a escolha pelo tipo elevador levou à execução de um modelo reduzido para a implantação do Sistema de Transposição de Peixes o qual foi crucial para sua viabilização. O grande conhecimento está relacionado a entrada de peixes no Sistema, pelo fato de que escoamentos muito turbulentos provocam vórtices próximos à entrada podendo confundir os peixes, dificultando o acesso à passagem. Os vórtices em escalas superiores ao tamanho do peixe podem transportá-lo, causando stress e perda de direcionamento. O escoamento na entrada do sistema é fundamental para garantir a entrada dos peixes, além disso deve-se estudar o comportamento dos peixes nas proximidades,

levando-se em consideração diversas condições operativas da usina (VIANA, 2008). Grandes vazões são requeridas para se obter um escoamento suficiente para atração dos peixes, e estas podem ser supridas por bombas de grande capacidade. O objetivo do modelo reduzido do Sistema de Transposição de Peixes da UHE Retiro Baixo foi a identificação da melhor localização do mecanismo a ser instalado, de acordo com os testes de comportamento e funcionamento das turbinas do modelo.

O modelo construído teve escala de 1:42 e foram testadas diferentes condições de funcionamento das máquinas a fim de verificar o comportamento dos peixes mediante tais condições.

O Sistema de Transposição de Peixes da UHE Retiro Baixo é do tipo elevador e utiliza um caminhão para fazer o transporte dos peixes. O Sistema é composto por estruturas mecânicas que possibilitam a transposição conforme as etapas abaixo:

- Sistema de Atração: As bombas usam a água do rio e a água do resfriamento das Unidades Geradoras para promover a atração dos peixes para dentro do canal. O sistema de bombas fornece um escoamento de água com características de velocidade e turbulência próprias a atração. O escoamento da água é feito numa comporta de regulação (Figura 15);
- Sistema de Confinamento: Este sistema é formado por duas comportas móveis e uma comporta fixa, as quais são responsáveis pelo confinamento dos peixes na caçamba (Figura 16);
- Sistema de elevação, triagem e transporte: Após confinamento a caçamba é içada por um elevador (Figura 17) até a altura do segundo nível do STP. Com a caçamba posicionada sobre o tanque é aberta uma escotilha e os peixes são liberados para o tanque de triagem (Figura 18). Neste tanque os peixes são identificados e quantificados. Uma comporta de fundo é aberta escoando os peixes e a água do tanque de triagem para a caçamba de um caminhão adaptado;
- Soltura dos peixes: O caminhão carregado se desloca até a montante da barragem e através de uma comporta lateral os peixes são soltos no reservatório da UHE Retiro Baixo (Figura 19).





FIGURA 14 - Comporta reguladora  
FONTE: Rumo Ambiental, 2013



FIGURA 15 - Sistema de Confinamento Fonte: Rumo Ambiental, 2013  
FONTE: Rumo Ambiental, 2013



FIGURA 16 - Içamento da caçamba  
FONTE: Rumo Ambiental, 2013





FIGURA 17 - Tanque de Triagem  
FONTE: Rumo Ambiental, 2013



FIGURA 18 - Soltura dos Peixes no reservatório da UHE Retiro Baixo  
FONTE: Rumo Ambiental, 2013

## **5.6. RESULTADO DOS IMPACTOS DA UHE RETIRO BAIXO SOBRE A COMUNIDADE DE PEIXES**

O levantamento e análise dos impactos da geração causados à comunidade de peixes na UHE Retiro Baixo começou a ser detalhado e mensurado de forma mais específica nos anos de 2015 e 2016.

### **5.6.1. Resultados dos resgates no tubo de sucção**

Os resultados obtidos durante os resgates nas Unidades Geradoras da UHE Retiro Baixo estão apresentados na Figura 14 e permitem concluir que:

- A melhor época para a execução da manobra é entre os meses de agosto e setembro, épocas em que houve a menor concentração de peixes no Canal de Fuga (avaliações feitas pelo

Programa Peixe Vivo) bem como no tubo de sucção. O monitoramento do Canal de Fuga antes do início de todo o procedimento de paralisação das Unidades é essencial para que haja sucesso no resgate;

- O tempo de execução do resgate é o ponto chave para que não haja grandes perdas, por isso, a etapa de planejamento prévio, aquisição de materiais, equipamentos e organização da equipe são fundamentais;
- A verificação do tubo de sucção e monitoramento da drenagem também são procedimentos importantes. Nestas etapas é possível averiguar o andamento da drenagem, verificar pontos de vazamento e conseqüentemente a viabilidade da continuidade da drenagem;
- O monitoramento do oxigênio dissolvido é relevante para que haja controle dos índices de qualidade da água dentro do tubo de sucção evitando no caso da UHE Retiro Baixo a insuficiência de oxigênio dissolvido através do acionamento dos injetores de O<sub>2</sub>;
- Durante a drenagem alguns peixes passam pelo “ralo” por onde é feito o escoamento da água para o poço de esgotamento. No caso da UHE Retiro Baixo, os recursos implantados em fase de projeto viabilizaram o resgate de forma mais segura e amena para a ictiofauna, porém a grande maioria da mortandade nos resgates ocorre no poço de esgotamento que é uma área mais restrita e sem muitos recursos para o salvamento. Esta pode ser uma situação a ser estudada.

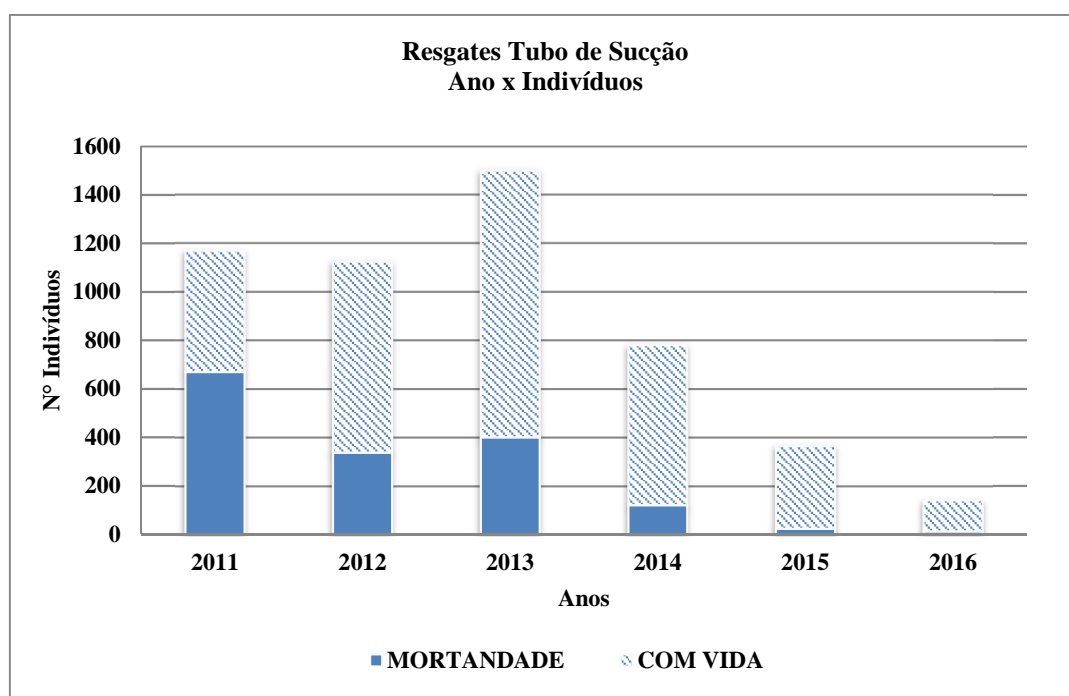


FIGURA 19– Resultado Resgates no Tubo de Sucção (Ano x Indivíduo Morto)

### 5.6.2. Resultado das Transposições no Sistema de Transposição de Peixes

Durante os sete anos de operação e monitoramento do sistema de Transposição de Peixes foi possível observar e concluir que:

- As vazões turbinadas influenciam positivamente na frequência de indivíduos no Sistema, tanto pela atratividade exercida pela turbulência das UG's no Canal de Fuga como pela elevação do nível de água a jusante. Os levantamentos realizados por TORQUATO (2014) e VILELLA (2015) demonstram claramente esta influência, embora a atipicidade hídrica nos últimos anos tenha sido altamente desfavorável à operação do STP “... devido à severa restrição hídrica e a escassez de chuvas no sudeste brasileiro e na região de implantação da UHE Retiro Baixo, a afluência do rio Paraopeba teve os menores registros dos últimos anos. Tal fato influenciou significativamente na operação da usina, mantendo a geração de energia reduzida ou nula, onde a abertura das comportas do vertedouro em determinados momentos teve de se adequar à vazão afluente do rio Paraopeba à montante.” (VILELLA, 2015);
- Entretanto com o funcionamento do vertedouro é possível perceber o declínio dos indivíduos no STP, devido à alta atratividade exercida durante o vertimento. Nessas situações cabe salientar a importância do monitoramento e dimensionamento adequado e viável do Trecho de Vazão Reduzida a fim de evitar possíveis acidentes envolvendo a ictiofauna;
- As espécies migradoras de grande porte são pouco frequentes no sistema de Transposição de Peixes da UHE Retiro Baixo o que torna sua proporção pouco representativa em relação as demais espécies. Este fato pode estar relacionado a diversos fatores: baixa atratividade da comporta reguladora (pouca vazão e queda), comportamento das espécies migradoras, influência das vazões turbinada e principalmente vertida ocultando a vazão do Sistema de Transposição;
- A operação do STP nos anos de 2014/2015; 2015/2016 e 2016/2017 foi comprometida devido a criticidade hídrica desses períodos. O regime de chuvas desses anos foi atípico na bacia do São Francisco, afetando a geração de energia e conseqüentemente o

funcionamento do Sistema de Transposição de Peixes que depende das vazões defluentes para operar (restrição operativa do sistema de bombas);

- A temporalidade influencia diretamente na frequência de peixes no Sistema de Transposição de Peixes. Conforme Figura 21 é possível verificar o declínio da frequência de peixes ao longo do dia, uma grande redução no período noturno.

A Figura 20 apresenta de forma geral a frequência de indivíduos no STP no período de 2010 a 2017, e a partir daí é possível constatar a diferença entre a frequência de sedentários e migradores. Tal diferença pode estar relacionada à ineficiência do tipo de mecanismo adotado.

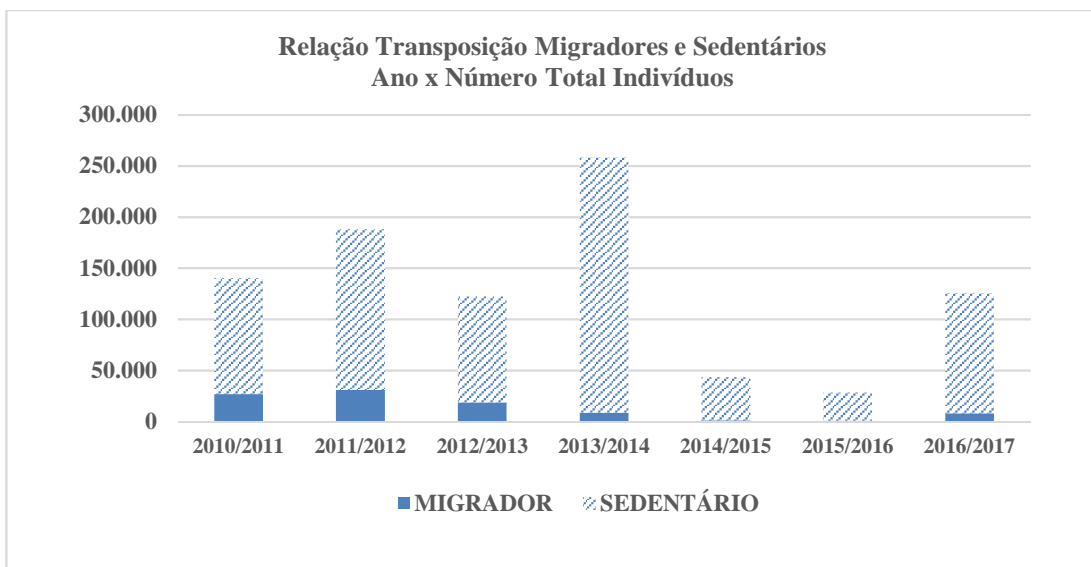


FIGURA 20 - Resultado das Transposições 2010 a 2017 - Ano x N° Total Indivíduos Transposto  
FONTE: RBE, 2017

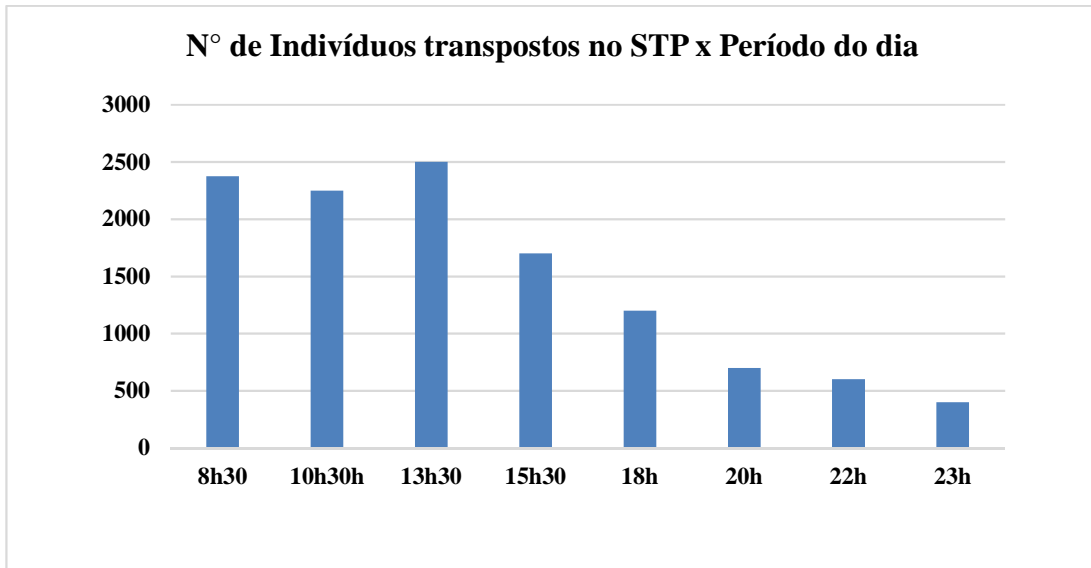


FIGURA 21 - Relação entre número de indivíduos capturados e período do dia  
 FONTE: LIMIAR, 2013

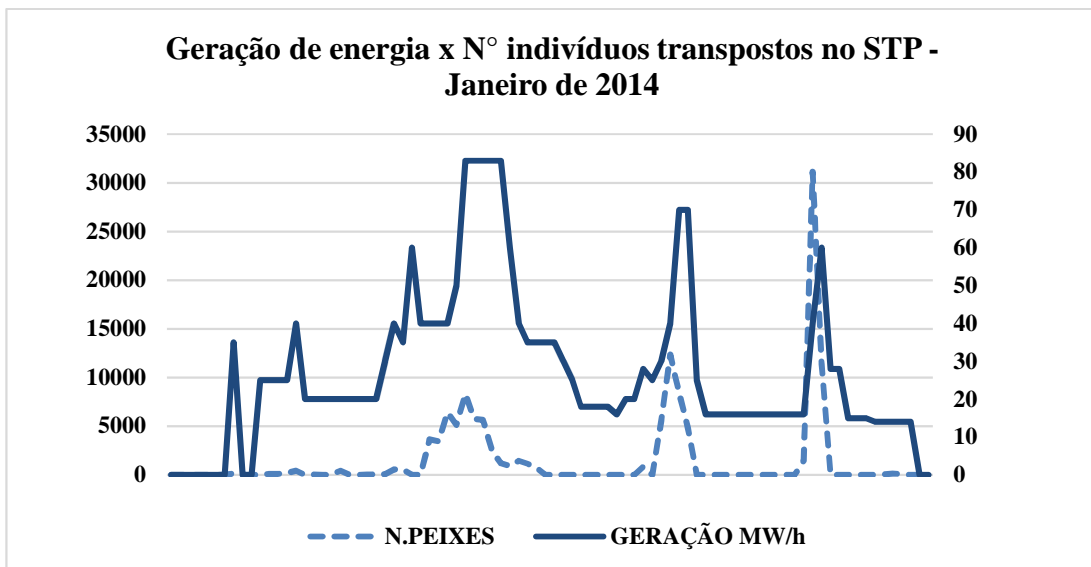


FIGURA 22 - Relação entre geração de energia e frequência de espécies migradoras no  
 FONTE: TORQUATO, 2014

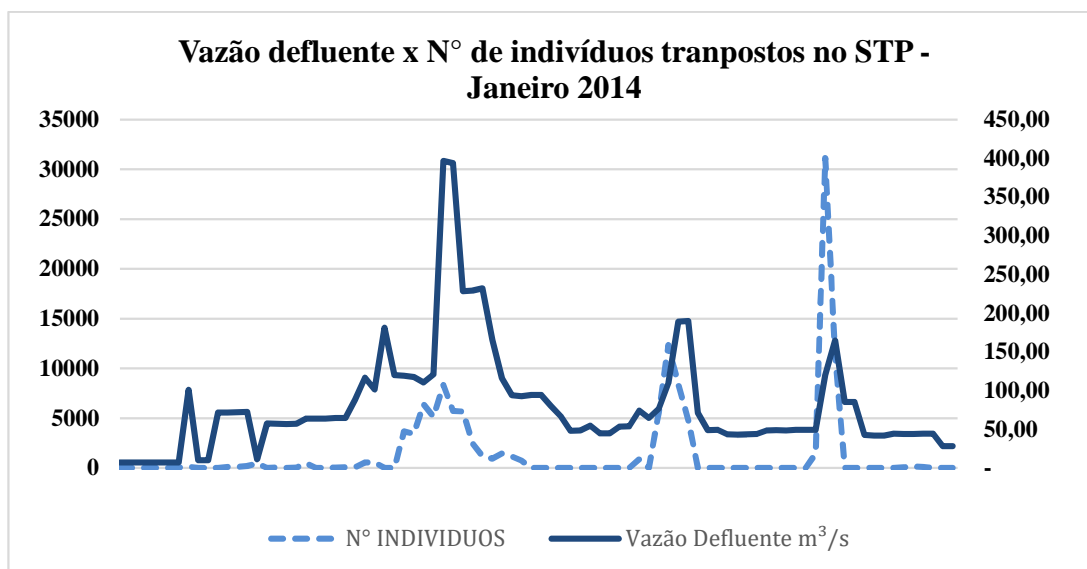


FIGURA 23 - Relação entre vazão defluente e a frequência de espécies migradoras no STP

FONTE: TORQUATO, 2014

### 5.6.3. Resultados das Manobras Operativas (Parada, Partida, Trip)

A coleta de dados específicos da mortalidade de peixes nas manobras operativas na UHE Retiro Baixo iniciou-se em 2016. Após a partida das Unidades Geradoras o operador observa o Canal de Fuga para verificar a presença de indivíduos mortos. Conforme apresentado nas Figuras 25 e 26 é possível notar que:

- Nas ocasiões de partida de máquinas quase sempre há mortalidade de peixes, em pequenas quantidades e, não dependem da carga de partida;
- Percebe-se uma maior mortalidade em períodos de chuva, época em que há maior concentração de cardumes e maior quantidade de peixes nas proximidades, seja pela operação do vertedouro ou pela operação da UG02;
- Levando-se em consideração a representatividade da ictiofauna na bacia do Paraopeba, a mortalidade de peixes em manobras operativas rotineiras (parada e partida de máquinas) da UHE Retiro Baixo até então atinge de forma ínfima a comunidade de peixes;
- Não foi observado mortalidade de peixes em eventos de parada de máquinas;
- Houve eventos de mortalidade atípicos na UHE Retiro Baixo quando da paralisação das Unidades Geradoras por maior período de tempo;

- Quando as Unidades Geradoras permanecem desinterligadas por maior período de tempo, é necessário averiguar periodicamente os índices de oxigênio dissolvido no Canal de Fuga e na área externa da sucção. Ocorrências de mortandade de peixes nestas situações foram observadas em até grandes quantidades devido a fatores ainda indeterminados tais como: vazamento de óleo proveniente dos mancais, baixos índices de oxigênio dissolvido e por último alta concentração de algas (cianobactérias).

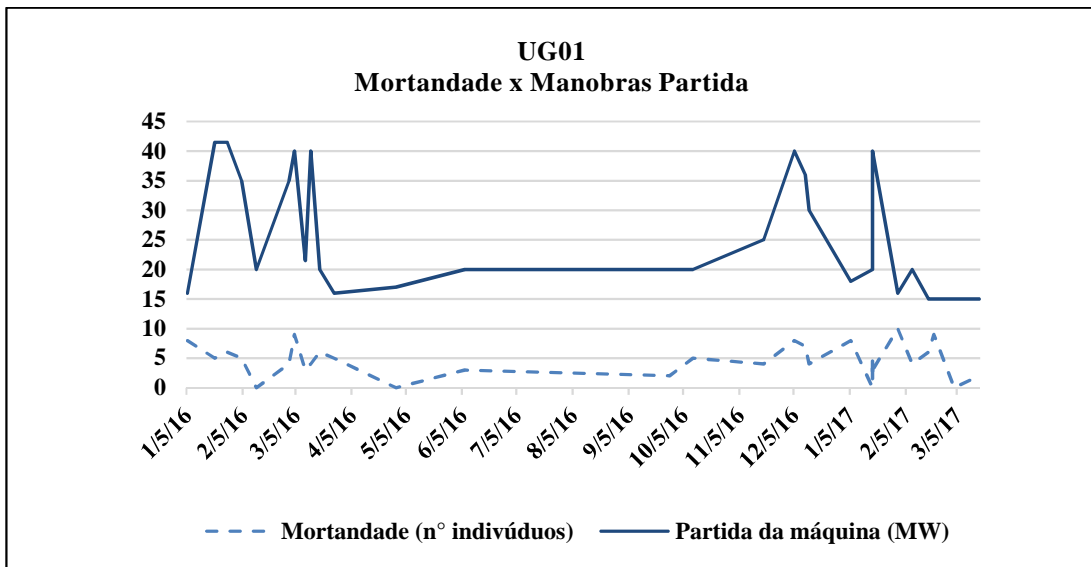


FIGURA 24 - Relação entre partida de máquina e mortandade de peixes - UG01  
FONTE: RBE, 2016

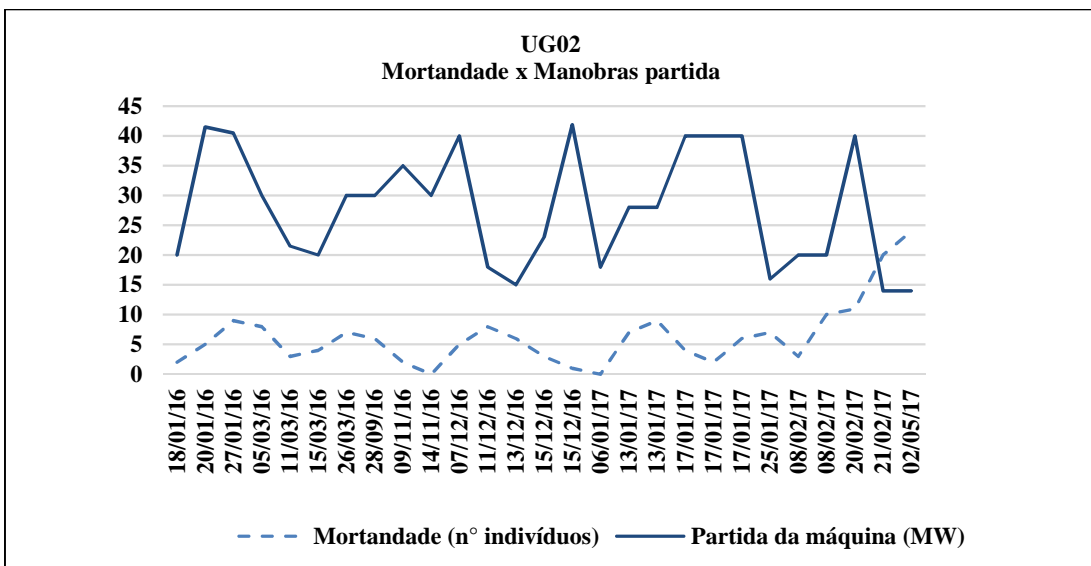


FIGURA 25 - Relação entre partida de máquina e mortandade de peixes - UG02  
FONTE: RBE, 2016

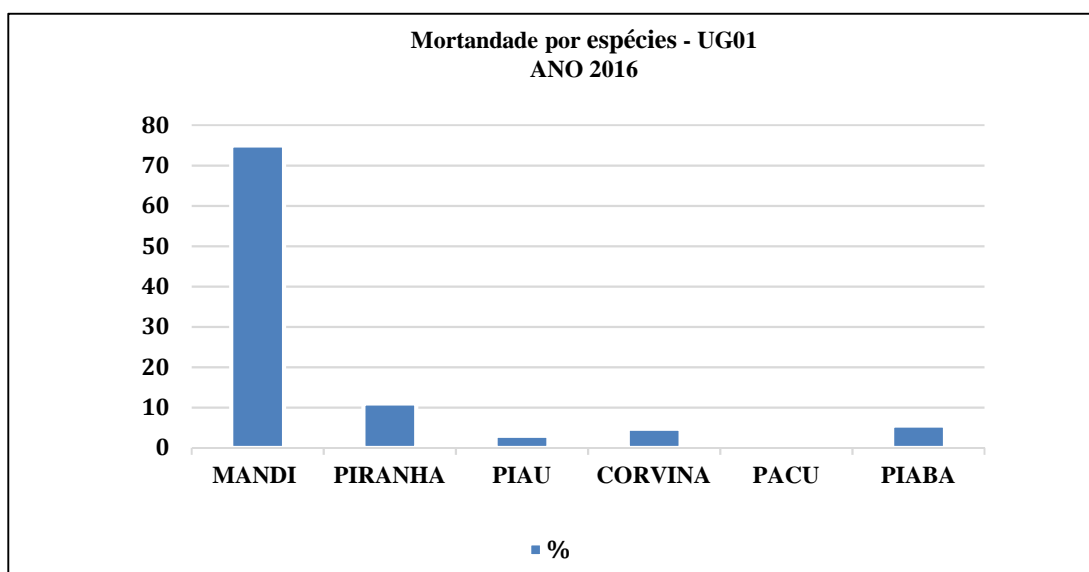


FIGURA 26 - Mortandade UG01 - Por espécie

FONTE: RBE, 2016

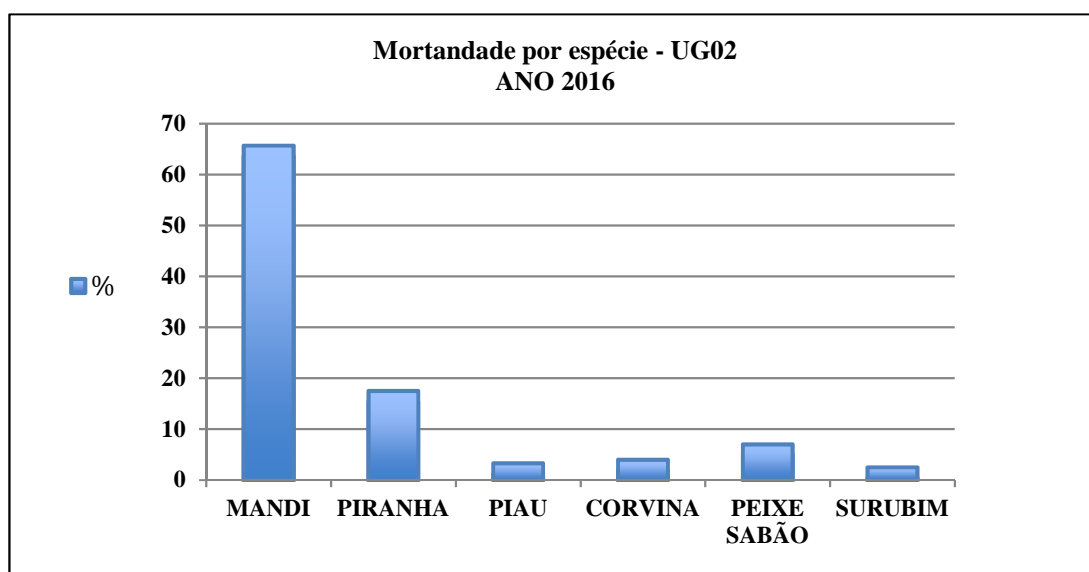


FIGURA 27 - Mortandade UG02 - Por espécie

FONTE: RBE, 2016



## 6. CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi identificar os principais impactos das Usinas Hidrelétricas causados à ictiofauna e expor dados e análises obtidas no estudo de caso da UHE Retiro Baixo com relação ao funcionamento de dispositivos de mitigação e manobras operativas.

O Brasil por ser um país com alta disponibilidade de recursos hídricos e alta diversidade de espécies de peixes ainda é incipiente no conhecimento do comportamento da comunidade de peixes e na disponibilidade de recursos para estudos e pesquisas de tecnologias aplicáveis a estes impactos. Sabe-se que as alternativas de mitigação não serão altamente eficazes, o que torna inevitável a interferência da implantação de empreendimentos hidrelétricos na comunidade de peixes. Entretanto, a implementação em conjunto de dispositivos pode ser capaz de atenuar tais impactos, tornando o empreendimento viável. A utilização e o progresso das fontes energéticas são indispensáveis à sociedade, e, como consequência o estudo e a execução de projetos viáveis energeticamente e ambientalmente devem prosseguir alinhados.

No estudo de caso da UHE Retiro Baixo, foi possível a implantação de melhorias em fase de projeto, o que viabilizou e auxiliou a execução de manobras mais seguras. Mesmo assim a mortalidade de peixes é inevitável, mesmo que em pequenas proporções.

As grades anti-cardume funcionam como barreira física momentânea e deve ser operada com cautela pois também podem causar mortalidade caso permaneçam submersas por longo período de tempo. Além disso deve-se monitorar a limpeza das grades, visto que as mesmas podem ficar encrustadas por algas ou mexilhão dourado, dificultando a circulação de água entre o Canal de Fuga e a sucção.

As manobras mecânicas que antecedem a manutenção e reparo das Unidades Geradoras, requerem atenção e planejamento prévio, de forma a evitar danos à engenharia e planejamento energético bem como transtornos ambientais, principalmente com relação à ictiofauna. Por isso, o registro detalhado de todos os eventos de mortalidade mesmo os de baixa intensidade podem auxiliar na tomada de decisões futuras e no entendimento do “equivoco operacional” ou do

comportamento da comunidade de peixes mediante uma manobra ou situação atípica. Durante a ocorrência, diversos fatores que podem interferir nas condições de vida da ictiofauna devem ser avaliados, mensurados e mencionados, tais como, variação de carga, variação de pressão, níveis de qualidade das águas, níveis de oxigênio dissolvido e temperatura. O monitoramento prévio do Canal de Fuga antes de manobras de paralisação das Unidades Geradoras é a etapa essencial para a minimização da quantidade de peixes na sucção e conseqüentemente para a segurança do resgate.

Uma observação relevante feita durante um dos resgates de peixe na UHE Retiro Baixo foi o local de soltura de peixes. Observou-se que quando a soltura era realizada em local próximo ao Canal de Adução, os indivíduos soltos naquele local tinham alta dificuldade de sobrevivência e muitas vezes acabavam morrendo devido às pressões e velocidades exercidas quando uma das Unidades se encontravam em operação. Durante essa situação foi possível concluir que o melhor local de soltura é aquele que não sofre grandes interferências da geração.

A análise dos resultados obtidos no Sistema de Transposição de Peixes (STP) da UHE Retiro Baixo permite concluir que estes mecanismos geram resultados paliativos. É possível constatar a baixa frequência de espécies migradoras de importância ecológico-econômica no STP. O Sistema tem baixa atratividade e competitividade com relação às demais estruturas hidráulicas, visto que quando o STP está em operação e ocorre abertura das comportas do vertedouro, as vazões do Sistema são insignificantes se comparadas com as do vertedouro. Observou-se que a grande quantidade de peixes se desloca para as proximidades do vertedouro (onde ocorre maior volume de água e condições ideais de turbulência).

Outra observação importante no caso da UHE Retiro Baixo é quando ocorre paralisação das Unidades Geradoras por longo período de tempo, o que pode acarretar em alterações na qualidade da água do Canal de Fuga e sucção. Por isso, recomenda-se que em caso de paralisação das Unidades por período maior que 10 dias, as grades anti-cardume devem ser abertas para que haja comunicação entre a sucção e o Canal de Fuga. Caso haja paralisação por período maior faz-se necessário o monitoramento da qualidade das águas em alguns pontos do canal, principalmente medições dos níveis de oxigênio dissolvido.

Projetos de determinados tipos de dispositivos de proteção, e, principalmente de mecanismos de transposição de peixes devem ser executados após determinado tempo de operação do empreendimento, com a finalidade de se obter resultados operacionais precisos, conhecimento confiável da dinâmica operacional do empreendimento e do comportamento da ictiofauna local, o que resulta em projetos mais confiáveis e eficazes tecnicamente. Ressalta-se que esta compreensão deve partir dos órgãos regulamentadores e das concessionárias para que as medidas necessárias sejam implementadas de forma transparente e responsável.

Por fim, cabe salientar que a divulgação de estudos, pesquisas e resultados por parte das concessionárias sobre as manobras operativas dos empreendimentos *versus* o comportamento da comunidade de peixes são essenciais para a abrangência do conhecimento do setor elétrico, desencadeando a adoção de medidas eficazes de proteção e conservação da ictiofauna, bem como do fomento para a realização de pesquisas satisfatórias de forma a viabilizar os empreendimentos e a expansão do setor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S.; GOMES, L.C. e BINI, L.M. 1997 b. Estrutura trófica, In: VAZZOLER, A.E.A.M.; AGOSTINHO, A.A. e HAHN, N.S. A planície de inundação do alto rio Paraná. Aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. Maringá, EDUEM, 460p.
- 2 AGOSTINHO, A. A., GOMES, L. C., PELICICE, F. M. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*. Ed. Eduem, Maringá-PR, 2007. 501p.
- 3 AGOSTINHO, A. A. & GOMES, L. C. *Reservatório de segredo: base ecológica para o manejo*. Ed. Eduem, Maringá- PR, 1997.
- 4 AGOSTINHO, A. A. Considerações sobre a atuação do setor Elétrico na preservação da fauna aquática e dos recursos pesqueiros. In: COMASE. Seminário sobre fauna aquática e o setor elétrico brasileiro: Reuniões temáticas preparatórias, 1993. Rio de Janeiro: Eletrobrás: COMASE, 1994. p. 8-19. (Caderno 4: Estudos e levantamentos).
- 5 AGOSTINHO, A. A., JÚLIO-JR, H. F., BORGHETTI, J. R. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipú, Revista UNIMAR, Outubro 1992, no14, supl., p. 89-107
- 6 AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L.C.; FERNANDEZ, D. R.; SUZUKI, H. I. Efficiency of fish ladders for Neotropical Ichthyofauna. *River Research and Applications*, 18: p. 299-306, 2002.
- 7 AGOSTINHO, A.A, PELICICE, F.M. e GOMES L.C. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, 68: 4 (Suppl.). p. 1119-1132
- 8 AGOSTINHO, A. A., THOMAZ, S. M. & GOMES, L.C. 2005 – Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *Megadiversidade* 1(1): 70-78.

- 9** AMARAL, Ana Margarida Ribeiro do; MACHADO, Carlos José Saldanha; MOULTON, Timothy Peter. Construção de Hidrelétricas e Saúde Pública no Brasil: Síntese e Crítica de um Processo. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos, 2010, Florianópolis. Construção de Hidrelétricas e Saúde Pública no Brasil: Síntese e Crítica de um Processo. Florianópolis: Anppas, 2010. p. 1 - 20. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT4-110-62-20100819153705.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2010.
- 10** ANDRADE, Francisco de et al. Avaliação de técnicas para proteger peixes em manobras da UHE Três Marias. Três Marias: Cemig, 2009. Color.
- 11** ANDRADE, Francisco et al. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. Neotropical Ichthyology, [s.l.], v. 10, n. 4, p.723-730, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-62252012000400005>.
- 12** ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília: Aneel, 2016.
- 13** ARANTES, Fábio Pereira et al. Relatório do Monitoramento da Vagueação e Ovos e Larvas - Consolidação das campanhas realizadas entre 2010 e 2013. Belo Horizonte: Limiar Ambiental, 2010-2013.
- 14** AYRES, Madalena Junqueira. O processo decisório de implantação de projetos hidrelétricos no Brasil. Análise dos casos-referência da Usina de Barra Grande e do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira à luz da avaliação ambiental estratégica. 2009. 309 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2009.
- 15** BATISTA, Bruna Maria Faria et al. REVISÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS NA FASE DE INSTALAÇÃO DAS HIDRELÉTRICAS: UMA ANÁLISE DA SUB-BACIA DO ALTO JURUENA- MT. Biodiversidade, Rondonópolis, v. 11, n. 1, p.69-85, 2012.
- 16** BAUMGARTNER, G.; NAKATANI, K.; GOMES, L. C.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P. V.; MAKRAKIS, M. C. Identification of spawning sites and natural nurseries of fishes in the upper Paraná River, Brazil. Environmental Biology of Fishes, Dordrecht, v. 71, n. 2, p. 115-125, Oct. 2004.

- 17** BAUMGARTNER, D. 2010. Zonação, variabilidade e inter-relação da fauna de peixes de dois reservatórios do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. Teses (Doutorado em Ecologia). Curso de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá. Maringá. 75p.
- 18** BAUMGARTNER, L.J.; DENG, Z.D.; THORNCRAFT, G.; BOYS, C.A.; BROWN, R.S.; SINGHANOUVONG, D. & PHONEKHAMPENG, O. (2014). Perspective: Towards environmentally acceptable criteria for downstream fish passage through mini hydro and irrigation infrastructure in the Lower Mekong River Basin. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. Vol. 6, 012301.
- 19** BAXTER, R. M. Environmental effects of dams and impoundments, *Ann. Ver. Ecol. Syst.*, 1977, No8, p. 255-283.
- 20** BAXTER, R. M. & GLAUDE, P. Environmental effects of dams and impoundments in Canada: experience and prospects. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.*, 205: 1-34, 1980.
- 21** BAZZOLI, N. Parâmetros reprodutivos dos peixes de interesse comercial na região de Pirapora. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 291-306.
- 22** BEIRÃO, Bernardo do Vale. Avaliação e Desenvolvimento de Método para Estudo de Barotrauma em Peixes em Turbinas de usinas Hidrelétricas. 2015. 93f. Tese (Mestrado). Curso do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, 2015.
- 23** BIODIVERSIDADE EM MINAS GERIAS. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005.
- 24** BRANCO, S. M. e ROCHA, A. A. Poluição, proteção e usos múltiplos de represas. São Paulo: Edgard Blücher/CETESB, 1977.
- 25** BRASIL. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Resolução Conama 001/86 de 23 de Janeiro de 1986.

**26** BRASIL. Resolução nº 129, de 29 de junho de 2011. Resolução N° 129, de 29 de Junho de 2011. Brasília.

**27** BRITSKI, H.A.; SATO, Y.; ROSA, A.B.S. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco. Brasília: Câmara dos Deputados/Codevasf, 1988. 143p.

**28** BROWN, R.S.; PFLUGRATH, B.D.; COLOTELO, A.H.; BRAUNER, C.J.; CARLSON, T.J.; DENG, Z.D. & SEABURG, A.G. (2012b). Pathways of barotrauma in juvenile salmonids exposed to simulated hydroturbine passage: Boyle's law vs. Henry's law. *Fisheries Research*, 121-122: 43-50.

**29** BROWN, R.S.; PFLUGRATH, B.D.; CARLSON, T.J. & DENG, Z.D. (2012c). The effect of an externally attached neutrally buoyant transmitter on mortal injury during simulated hydroturbine passage. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 4, 013107

**30** BROWN, R.S.; COLOTELO, A.H.; PFLUGRATH, B.D.; BOYS, C.A.; BAUMGARTNER, L.J.; DENG, Z.D.; SILVA, L.G.M.; BRAUNER, C.J.; MALLEN- COOPER, M.; PHONEKHAMPENG, O.; THORNCRAFT, G. & SINGHANOUVONG, D. (2014). Understanding Barotrauma in Fish Passing Hydro Structures: A Global Strategy for Sustainable Development of Water Resources. *Fisheries*, Vol. 39, n. 3, p. 108-122.

**31** BOYS, C.A.; NAVARRO, A.; ROBINSON, W.; FOWLER, T.; CHILCOTT, S.; MILLER, B.; PFLUGRATH, B.; BAUMGARTNER, L.J.; MCPHERSON, J.; BROWN, R. & DENG, Z. (2014). 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.

**32** CADA, F. G. A review of studies relating to the effects of propeller-type turbine passage on fish early life stages. *North American Journal of Fisheries Management*, Bethesda, v. 10, n. 1, p. 418-426, Mar. 1990.

**33** CADA, F. G. Effects of hydroelectric turbine passage on fish early life stages. *Water Power*, London, v. 91, n. 2, p. 318-326, Feb. 1991.

- 34** CADA, F. G.; HERGENRADER, G. L. An assessment of sampling mortality of larval fishes. Transactions of the American Fisheries Society, Bethesda, v. 107, n. 2, p. 269-274, Mar. 1978.
- 35** CANADIAN ELECTRICITY ASSOCIATION. Considering Fish and Fish Habitat in Existing Hydroelectric Operations and Maintenance: Electricity Industry Practices. Ottawa, 2001. 70 p. Disponível em: <http://www.canelect.ca/en/Pdfs/RevCEA.pdf>
- 36** CARNEIRO, Ricardo. Estado, Mercado e Desenvolvimento do Setor Elétrico Brasileiro. 2000. 6 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- 37** CEMIG. Avaliação do Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas. Belo Horizonte: Série Peixe Vivo, 2016.
- 38** CEMIG. História da Eletricidade no Brasil. Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/historia\\_da\\_eletricidade\\_no\\_brasil.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx). Acesso em: 13 abr. 2012.
- 39** CHOUERI, Ricardo Brasil. Biodiversidade e impacto de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia Tocantins-Araguaia: uma análise sistêmica. 2013. 62 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- 40** CHU, T.; DELGADO, A. Brazil: Has the future finally arrived? Pesquisa & Debate, n. 1 (37), v. 21, p. 133-156. São Paulo, 2010.
- 41** COUTANT, C.C. & WHITNEY, R.R. (2000). Fish Behavior in Relation to Passage through Hydropower Turbines: A Review. Transactions of the American Fisheries Society. Vol. 129, p. 351-380.
- 42** DE PAULO, R.G.F. 2007. Ferramentas para determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de Capim Branco I. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 97p. **43** DENG, Z.; CARLSON, T. J.; DUCAN, J. P. (2007). Six-Degree-of-Freedom Sensor Fish Design and Instrumentation. Sensor. Vol. 7, p. 3399-3415.



- 43** MAGALHÃES, V. P. F. (2009). Metodologia para Avaliação dos Efeitos de Pressão e Turbulência em Peixes. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 44** DUTRA, F.M.; HERMES, C.A; ZANETE, C. & MACHADO, W.J. 2010 . Resgate de ictiofauna nos trechos de vazão reduzida após o fechamento das adufas da PCH Santa-Fé. In: Seminário Nacional de Meio Ambiente e Extensão Universitária. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon. Disponível em <<http://www.unioeste.br/eventos/senama>>; acesso em 21 mar. 2012.
- 45** ENERGÉTICA, Empresa de Pesquisa. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2011.
- 46** ENERGIA, Santo Antônio. Apresentação Santo Antônio Energia. Porto Velho: Santo Antônio Energia, 2014. 151 slides, color.
- 47** FARIA, Marco Tulio Correa de. IMPACTO DO FECHAMENTO DE COMPORTA DO TUBO DE SUÇÃO SOBRE O EMPUXO HIDRÁULICO DE TURBINAS FRANCIS. 2010. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- 48** FENILL. G. Zomer Impactos Sócio-Ambientais Causados pela Implantação da Usina Hidrelétrica Ita. COBRAC 2002 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 6 a 10 de Outubro 2002.
- 49** FROESE, R. & PAULY, D. (eds) 2013. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (05/2013).
- 50** FURTADO, C. Formação econômica do Brasil. 32. Ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2005.
- 51** GODINHO, A.L.; POMPEU, P.S. A importância dos ribeirões para os peixes de piracema, In: Godinho, H.P.; Godinho, A.L. (Org.). Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 361-372.

- 52** GODINHO A. L. 1996. Peixes do Parque Estadual do Rio Doce. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas/Universidade Federal de Minas Gerais. 48p.
- 53** GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L.; FORMAGIO, P. S.; TORQUATO, V. C. Fish ladder efficiency in a south-east Brazilian river. *Ciência e Cultura*, 43(1): p. 63-66, 1991.
- 54** GODINHO, A.L. & KYNARD, B. 2008. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River Research and Applications*. DOI: 10.1002/rra.1180.
- 55** GODOY , M. P . 1975. Migrações dos peixes-Marcação. In: Poluição e Piscicultura. Notas sobre poluição, ictiologia e piscicultura. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí e Instituto de Pesca da C.P.R.N., São Paulo, p. 147-153.
- 56** GUERRA, Sinclair Mallet Guy; CARVALHO, Antomar Viegas. Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v.35, n.4, p.83-90, jul.1995.
- 57** HILSDORF, A.W.S.; PETRERE Jr., M. Conservação de peixes na bacia do rio Paraíba do Sul. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v.30, n.180, p.62-68, 2002.
- 58** IBAMA. Constituição (1986). Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Critérios Básicos e As Diretrizes Gerais Para Uso e Implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília, DF, 1986.
- 59** JOYCE, JC. 1993. Practical uses of aquatic weeds. In PIETERSE AH. e MURPHY KJ. ed., *Aquatic weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation*. Oxford University Press: Oxford. p. 274-291.
- 60** JUNHO, R. A. C. Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: proteção a jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição. Tese de doutorado em engenharia hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- 61** JUNK, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences*, v.106, p.110-127, 1989. n.1, <<http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/aecl518/>

- 62** KOTTELAT, M. & WHITTEN, T. 1996. Freshwater bio- 202 • Peixes do Quadrilátero Ferrífero | Guia de Identificação diversity in Asia, with special reference to sh. World Bank Tech. Pap. 343: 1-59
- 63** KYNARD, B. E. Anadromous fish behaviour important for fish passage. *Canadian Technical report of fisheries and Aquatic sciences*, 1993, p. 95-104.
- 64** LA ROVERE, E. L. Energia e meio ambiente. In Meio Ambiente. Aspectos Técnicos e econômicos. Margulis, S. (org). IPEA/PNUD, Brasília, 1990.
- 65** LEGEY, L.F.L., 1997, Modelo de Gestão Ambiental da Bacia da Baía de Sepetipa - MGAS - Relatório I, Rio de Janeiro, COPPE/SEMA-RJ.
- 66** LIMIAR Engenharia et al (Org.). Relatório Consolidado: Piracema 2010-2011, 2011-2012 e 2012-2013. Belo Horizonte: Limiar, 2013.
- 67** LOPES, João de Magalhães et al. Desenvolvimento de Metodologia para a Avaliação de Riscos de Morte de Peixes em Usinas da Cemig. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 21., 2011, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Snptee, 2011. p. 1 - 8.
- 68** LOURES, et al. Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas. Belo Horizonte: Série Peixe Vivo, 2016.
- 69** LOURES, R. C.; POMPEU, P. S. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brasil. *Neotropical Ichthyology*, Porto Alegre, v.10, n.4, p.731-740, Oct. 2012.
- 70** LOPES, Rafael Emílio. Estudo de Barreiras Elétricas para Impedimento de Entrada de Peixes em Turbinas Hidráulicas. 2009. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- 71** LOWE-McCONNELL, R. H. 1987. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 382 p.
- 72** MAGALHÃES, G. Força e Luz; Eletricidade e modernização na República Velha. São Paulo: Editora UNESP: FAPESP, 2000.

- 73** MANZANO, F. V.. 2012. Guia dos peixes da área de influência da Usina Hidrelétrica de Batalha. Rio de Janeiro: Furnas, 152 p.
- 74** McALLISTER, D. E., HAMILTON, A. L. & HARVEY, P. 1997. Global freshwater biodiversity: striving for the integrity of freshwater ecosystems. *Sea Wind* 11(3): 1-140
- 75** MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Copam nº 14, de 28 de dezembro de 1995. Deliberação Normativa Copam Nº 14, de 28 de Dezembro de 1995..
- 76** MORITZ, Ricardo. Metodologia de cálculo e análises de revisão extraordinária das tarifas de energia elétrica: um enfoque no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão das distribuidoras. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- 77** MÜLLER, A. C. Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento. São Paulo: Makron Books, 1995.
- 78** NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A. A.; BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P. V.; MAKRAKIS, M. C.; PAVANELLI, C. S. 2001. Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação. EDUEM. Maringá. 378 p.
- 79** NAKATANI, K.; BAUMGARTNER, G.; CAVICCHIOLI, M. Ecologia de ovos e larvas de peixes. In: VAZZOLER, A. E. A. D. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM, 1997b. p. 281-306.
- 80** NORTHCOTE. T.G. 1998. Migratory strategies in production in freshwater fishes, p. 352-359. In: S.D. Gerking (Ed). *Ecology of freshwater fish production*. Oxford, Blakwell Scientific Publications, 520p.
- 81** OLIVEIRA, A. As experiências internacionais de reestruturação. In: Oliveira, A Pinto Jr. (orgs.) *Financiamento do setor elétrico brasileiro. Inovações financeiras e novo modo de organização industrial*. Rio de Janeiro: Editora Garamond, 1997.
- 82** PAGLIARDI, Odail, and José Celso SOBREIRO DIAS. "Evolução Do Setor Elétrico: Uma Breve Reflexão." *Interciência e Sociedade* 1.1 (2011).

- 83** PANORAMA do Setor de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro. Centro de Memória da Eletricidade no Brasil, 1988.
- 84** PELICICE, F. M. & AGOSTINHO, A. A. 2007. Fish-Passage Facilities as Ecological Traps in Large Neotropical Rivers. *Conservation Biology*
- 85** PETTS, G.E. 1984. Impounded rivers: perspectives for ecological management. V.K. Wiley. Chichester. 326 p.
- 86** PIENKA, Bernard; PARRISH, Donna. Habitat Selection of Predator and Prey: Atlantic Salmon and Rainbow Smelt Overlap, Based on Temperature and Dissolved Oxygen. *Transactions of the American Fisheries Society*. United States, p. 13-19. nov. 2002.
- 87** PLOSKEY, G. R. Impacts of terrestrial vegetation and preimpoundment clearing on reservoir ecology and fisheries in USA and Canada. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 258: 1-35, 1985.
- 88** POMPEU, P.S.; HORTA, L.F.M. & MARTINEZ, C.B. (2009). Evaluation of the Effects of Pressure Gradients on Four Brazilian Freshwater Fish Species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 52, n. 1: p. 111-118.
- 89** PRADO, I.G. & POMPEU, P.S. (2014). Vertical and seasonal distribution of Fish in Três Marias reservoir. *Lake and Reservoir Management*. 30: 393-404.
- 90** ROSA, L. P. et al. A reforma do setor elétrico no Brasil e no mundo: uma visão crítica. Rio de Janeiro: Relume Dumará: Coppe, UFRJ, 1998.
- 91** SANTOS, G. B.; MAIA-BARBOSA, P. M.; VIERA, F.; LÓPEZ, C. M. Fish and zooplankton community structure in reservoirs of southeastern Brazil: effects of the introduction of exotic predatory fish. In: PINTO-COELHO, R. M.; GIANI, A.; SPERLING, E. V. *Ecology and human impact on lakes and reservoirs in Minas Gerais with special reference to future development and management strategies*. Belo Horizonte: Segrac, 1994. p.115-132.
- 92** SANTOS, G.B.; FORMAGIO, P.S. Estrutura da ictiofauna dos reservatórios do rio Grande, com ênfase no estabelecimento de peixes piscívoros. *Informativo Agropecuário*, v.21, n.2, p.98-106, 2000.

- 93 SANTOS, A.H.M., RIBEIRO Jr, L. U., GARCIA M.A.R.A., SEVERI, M.A. Vazão Remanescente no Trecho de Vazão Reduzida de Pequenas Centrais Hidrelétricas. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, PR, 2003.
- 94 SATO, Y., AND F. M. F. OSÓRIO. 1988. A pesca profissional na região de Três Marias, MG, em 1986. *In* Coletânea de Resumos dos Encontros da Associação Mineira de Aqüicultura (AMA): 1982–1987. CODEVASF, Brasília, 91–92 p.
- 95 SERGIPE. CEHOP. . FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES: Ensecadeiras. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/1-ensecadeiras-estrutura-e-usada-na-criacao-de-areas-245175-1.aspx>>. Acesso em: 01 dez. 2011.
- 96 SILVA L.F. & SOARES A.J.S. Análise das experiências internacionais em avaliação de impacto ambiental. XLII Congresso da SOBER. Cuiabá, MT, 2004.
- 97 SILVA, Bruno Gonçalves da. Evolução do Setor Elétrico Brasileiro no Contexto Econômico Nacional: uma análise histórica e econômica de longo prazo. 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- 98 SILVA, Flávio Nakamura Alves. Efeito de Campo Elétrico do Comportamento de Peixes Brasileiros e Estudo de Barreira Elétrica como Mecanismo de Controle de Movimentação de Peixes. 2010. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- 99 SILVA, Jefferson Moreira da. **Operação de Turbinas Bulbos**. Brasília: Ons, 2016. 20 slides, color.
- 100 SOUSA, Wanderley Lemgruber de. MPACTO AMBIENTAL DE HIDRELÉTRICAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE DUAS ABORDAGENS. 2000. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

**101** STEPHENSON, J.R.; GINGERICH, A.J.; BROWN, R.S.; PFLUGRATH, B.D.; DENG, Z.; CARLSON, T.J.; LANGESLAY, M.J.; AHMANN, M.L.; JOHNSON, R.L. & SEABURG, A.G. (2010). Assessing barotrauma in neutrally and negatively buoyant juvenile salmonids exposed to simulated hydro-turbine passage using a mobile aquatic barotrauma laboratory. *Fisheries Research*. Vol. 106, p. 271-278.

**102** STRASKRABA, M. Retention time as a key variable of reservoir limnology. *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. (Tundisi, J. G.; Straškraba, M. eds.). São Carlos: International Institute of Ecology/Brazilian Academy of Sciences/Backhuys Publishers. p. 385-410, 1999.

**103** SUZUKI, Fábio Mineo. Estudo do Comportamento de Peixes no Canal de Fuga da Usina Hidrelétrica de Três Marias Utilizando Telemetria Acústica. 2014. 97f. Tese (Doutorado) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

**104** TEIXEIRA, Mario Buede. Emprego de uma Metodologia Multicritério na Avaliação do Estudo de Impacto Ambiental De Hidrelétricas. 2006. 276 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

**105** THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS INC. ANSI/IEEE Std 125-2007 – IEEE Recommended Practice for Preparation of Equipment Specifications for Speed-Governing of Hydraulic Turbines Intended to Drive Electric Generators, 2007.

**106** TORQUATO, Gabriel. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES: UHE RETIRO BAIXO – Novembro 2013 a Fevereiro 2014. Belo Horizonte: Rumo Ambiental Consultoria e Serviços Ltda, 2014.

**107** TORQUATO, Gabriel Villela. Programa de Monitoramento da ictiofauna. Belo Horizonte: Rumo Ambiental, 2014. TORLONI, C. E. C., MOREIRA, J. A., CRUZ, J. A. 1986. Reprodução de peixes autóctones reofílicos no reservatório de Promissão, Estado de São Paulo. S. Paulo: CESP. 14 p. TUNDISI, J. Construção de reservatórios e previsão de impactos ambientais no baixo Tietê: Problemas limnológicos, Instituto de geografia. USP. Biogeografia,

1978, p.1-19. [L]  
[SEP]

**108** TURNPENNY, A W H and EVERARD, J K (1999). Can cavitation injure fish? In: Innovations in Fish Passage Technology (Ed.: Odeh, M.). American Fisheries Society ISBN 1-888569-17-4, 197-205.

**109** VAINER, Carlos B. & BERMANN, Célio. Lições da crise energética. Rio de Janeiro, O Globo, 26 de outubro de 2001.

**110** VAZ, M.M.; TORQUATO, V.C. & BARBOSA, N.D.C. 2000. Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande. 1. ed. Belo Horizonte: CEMIG/CETEC. 144 p.

**111** VIANA, Edna Maria de Faria; MARTINEZ, Carlos Barreira ; Vasco Torquato . O USO DE MODELOS REDUZIDOS COMO SUPORTE PARA DECISÃO NA LOCAÇÃO DE MECANISMOS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2008, Belo Horizonte. VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2008.

**112** VIEIRA, F., & BAUMGRATZ, S. S. 2011. Os peixes e a pesca no rio Piracicaba, MG. Ecodinâmica Consultores Associados Ltda, Belo Horizonte, 32 p. il. pp.

**113** VIEIRA, F.; POMPEU, P. S. Peixamentos: uma alternativa eficiente? Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v.30, n.175, p.28-33, 2001.

**114** VILELLA, Fábio Silveira et al (Comp.). Operação e Monitoramento do Sistema de Transposição de Peixes da UHE Retiro Baixo: Relatório Final. Venâncio Aires: Simbiota Consultoria Ambiental, 2015.

**115** XAVIER, Welington Cezar. Trajetória e Avaliação do Marco Regulatório do Setor Elétrico a Partir dos anos 1990 do Século XX. 2015. 261 f. Tese (Doutorado) - Curso de Administração, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

**116** ZIOBER, S.R., A. Bialecki, L.C. Gomes, D. Kipper. 2007. The importance of marginal lagoon as a fish nursery in the Upper Paraná River floodplain. Acta Limnologica Brasiliensia, 19(4): 369-381.



**117** WELCOMME, P. L. Fisheries ecology of floodplain rivers. New York: Longman, 1979.  
317 p.