

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ESTUDO DAS POTENCIAIS RESPOSTAS  
ECOLÓGICAS ÀS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS  
OCORRIDAS NO BAIXO TRECHO DO RIO  
PARAGUAÇU-BA**

VALÉRIA CARNEIRO DOS SANTOS

CRUZ DAS ALMAS, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ESTUDO DAS POTENCIAIS RESPOSTAS  
ECOLÓGICAS ÀS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS  
OCORRIDAS NO BAIXO TRECHO DO RIO  
PARAGUAÇU-BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
como parte dos requisitos para obtenção do título  
de Engenheira Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Sousa Fontes

VALÉRIA CARNEIRO DOS SANTOS

CRUZ DAS ALMAS, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**ESTUDO DAS POTENCIAIS RESPOSTAS  
ECOLÓGICAS ÀS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS  
OCORRIDAS NO BAIXO TRECHO DO RIO  
PARAGUAÇU-BA**

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

EXAMINADORES:

Prof. Dra. Andrea Sousa Fontes                      ASS \_\_\_\_\_  
(Orientadora - UFRB)

Prof. Dr. Jesus Manuel Delgado Mendez      ASS \_\_\_\_\_  
(Examinador)

MSc. Naiah Caroline Rodrigues de Souza      ASS \_\_\_\_\_  
(Examinadora)

VALÉRIA CARNEIRO DOS SANTOS

CRUZ DAS ALMAS, 2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por me dar suporte, determinação e força para continuar nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha família, sobretudo aos meus pais Valdinei e Jociene, por estarem sempre presentes na minha vida, pelas palavras de incentivo, por acreditarem em mim e pelas tantas renúncias que fizeram em nome da realização deste sonho.

Agradeço à minha irmã Vanessa pelas palavras de conforto e cumplicidade constante em todos os momentos dessa experiência.

Agradeço aos meus amigos, pela parceria dentro e fora da universidade, fazendo com que a caminhada fosse mais suave, em especial, Hérica Nascimento, Rosahelena Reis e Everton Silva.

Agradeço aos professores da UFRB, por todo o conhecimento compartilhado, em especial, a minha orientadora professora Andréa Fontes, pelo apoio, compreensão e inspiração ao longo desses anos de pesquisa.

“When life gets you down, do you wanna know what you’ve gotta do?  
Just keep swimming  
Just keep swimming”  
(Dory, Finding Nemo)

**ESTUDO DAS POTENCIAIS RESPOSTAS ECOLÓGICAS ÀS ALTERAÇÕES  
HIDROLÓGICAS OCORRIDAS NO BAIXO TRECHO DO RIO PARAGUAÇU-BA**

**RESUMO**

A integridade dos ecossistemas aquáticos, ripários e das áreas inundáveis é condicionada ao regime de escoamento, de forma que, a implantação de barragens nos leitos dos rios acarreta em diversos impactos ecológicos, sobretudo, no trecho à jusante, onde há a alteração do regime hidrológico. O trabalho teve como objetivo estudar as potenciais respostas ecológicas, com ênfase na ictiofauna como indicador ambiental, às alterações hidrológicas avaliadas no baixo trecho do rio Paraguaçu influenciado pela presença da barragem de Pedra do Cavalo. A análise foi realizada pelo uso do software IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*), sendo estudados os cinco componentes do escoamento fluvial críticos aos processos ecológicos: magnitude, duração, frequência, periodicidade e taxa de mudança. Além disso, foram consideradas as informações da ictiofauna local contidas no relatório do Inema/UFBA (2013). Verificou-se que todos os componentes do escoamento sofreram alterações, a principal delas foi a regularização das vazões, entre suas potenciais respostas ecológicas, de acordo com a literatura, estão: prejuízos nos processos reprodutivos e no recrutamento, alteração no conjunto de espécies, aumento de espécies não nativas e perda de espécies sensíveis. O diagnóstico da ictiofauna local, realizado pelo INEMA/UFBA(2013), apresentou aspectos como a alteração na composição das espécies e a presença de espécies introduzidas, as quais são apontadas na literatura como consequências das alterações na magnitude, periodicidade e taxa de mudança. Logo é evidente a necessidade de estabelecimento do hidrograma ambiental a fim de que as demandas ecológicas sejam atendidas nas diferentes localidades do trecho.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE QUADROS .....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
4.1 Objetivo Geral .....	16
4.2 Objetivos Específicos .....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
3.1. Dinâmica Fluvial .....	16
3.2. Requerimentos Hidrológicos dos Ecossistemas .....	18
3.3. Barragens.....	21
3.3.1. Demandas dos Usos do Reservatório .....	22
3.3.2. Impactos das Barragens .....	23
3.4. Vazões Ambientais .....	24
3.4.1. Vazões Ambientais no Brasil .....	25
3.4.2. Desafios para a Implantação dos Regimes de Vazões Ambientais .....	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1. Área de Estudo.....	30
4.1.1. Localização.....	30
4.1.2. Regime de Chuvas e Hidrografia.....	31
4.1.3. Aspectos Ecológicos do Baixo trecho da Bacia do rio Paraguaçu .....	33
4.1.4. Complexo de Pedra do Cavalo .....	34
4.1.4.1 Operação da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo .....	35
4.1.4.2 Plano de Operação da Barragem de Pedra do Cavalo para o atendimento aos requerimentos da vazão ambiental .....	36
4.2. Metodologia.....	37
4.2.1 Levantamento de Informações.....	39

4.2.1.1	Levantamento dos Dados Hidrológicos.....	39
4.2.1.2	Levantamento dos Aspectos Biológicos (Ictiofauna) do Baixo Trecho do rio Paraguaçu	40
4.2.2	Estudo das Relações Conceituais entre Alterações Hidrológicas e seus Impactos Ecológicos.....	41
4.2.3	Caracterização das Alterações Hidrológicas .....	41
4.2.4	Estudo das Potenciais Respostas Ecológicas às Alterações Hidrológicas no Baixo trecho do Rio Paraguaçu .....	43
4.2.5	Identificação das Componentes do Escoamento mais Relevantes para a Ictiofauna no baixo trecho do rio Paraguaçu .....	44
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	44
5.1.	Relações Conceituais entre Alterações Hidrológicas e Respostas Ecológicas	44
5.2.	Aspectos Ecológicos (Ictiofauna) no baixo trecho do rio Paraguaçu.....	46
5.3.	Alterações Hidrológicas no Baixo Trecho do rio Paraguaçu .....	50
5.3.1	Regimes de Chuva e Vazão no Baixo Trecho do Rio Paraguaçu.....	50
5.3.2	Indicadores de Alteração Hidrológica no Baixo Trecho do rio Paraguaçu	52
5.3.2.1	Magnitude das Vazões Mensais .....	56
5.3.2.2	Magnitude e Duração de Vazões Anuais Extremas.....	57
5.3.2.3	Época das Vazões Anuais Extremas.....	59
5.3.2.4	Frequência e Duração dos Pulsos de Vazões Altas e Baixas .....	60
5.3.2.5	Taxa de Mudanças no Hidrograma.....	61
5.4	Alterações Hidrológicas e Potenciais Respostas Ecológicas no Baixo trecho do rio Paraguaçu	62
5.5	Características do Escoamento Fluvial mais Perceptíveis pela Ictiofauna Local, de acordo às Alterações no Regime de Vazões do baixo trecho do rio Paraguaçu ..	64
6	CONCLUSÕES .....	68
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
	ANEXOS .....	78

APÊNDICE: Visita ao baixo trecho do rio Paraguaçu ..... 86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Princípios que justificam conservação do regime de fluxo natural .....	20
Figura 4.1. – Área de Estudo .....	31
Figura 4.2 – Precipitação Média Mensal na bacia do rio Paraguaçu de 1964 a 2011 ..	32
Figura 4.3 e Figura 4.4 - Hidrograma Ambiental para ano seco e normal .....	37
Figura 4.5 – Fluxograma da Metodologia do Trabalho .....	38
Figura 4.6 e Figura 4.7 – Vazões Afluentes e Defluentes da UHEPC fornecidas pela ANA e Votorantim .....	39
Figura 4.8 – Localização dos Pontos Amostrais.....	40
Figura 5.1 e Figura 5.2 – Precipitação Média Mensal no Baixo Paraguaçu de 1964 a 2011 e Precipitação Média Anual no Baixo Paraguaçu de 1964 a 2017 .....	50
Figura 5.3 e Figura 5.4- Vazões Médias e Medianas Mensais no baixo Paraguaçu (1964 a 1978, 1986 a 2004 e de 2006 a 2017).....	51
Figuras 5.5 - Medianas das Vazões Mensais no Baixo trecho do rio Paraguaçu nos períodos de 2006 a 2011 e 2012 a 2017 .....	52
Figura 5.6 – Componentes do Escoamento Ecológico das Vazões Afluentes e Defluentes à UHEPC (2006 a 2017).....	54
Figura 5.7 – Curvas de Permanência das Vazões Afluentes e Defluentes à UHEPC (2006 a 2017).....	55
Figura 5.8 e Figura 5.9- Vazões médias mensais e desvio padrão das vazões afluente e defluente à UHEPC (2006 a 2017) .....	56
Figura 5.10- Mediana das Vazões Mensais das Vazões Afluente e Defluente à UHEPC, entre 2006 e 2017 .....	57
Figura 5.11 e Figura 5.12 - Vazões Mínimas e Máximas de 7 dias nas vazões afluentes e defluentes à UHEPC entre 2006 e 2017 .....	58
Figura 5.13 e Figura 5.14 – Número e Duração (dias) de pulsos baixos nas vazões afluente e defluente à UHEPC entre 2006 e 2017 .....	60
Figura 5.15 e Figura 5.16 – Número e Duração (dias) de pulsos altos nas vazões afluente e defluente à UHEPC entre 2006 e 2017 .....	60

Figura 5.17 - Alterações Hidrológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu e suas Potenciais Respostas Ecológicas (Ictiofauna) .....	63
Figura 5.18 – Relação entre as Alterações Hidrológicas e os Aspectos da Ictiofauna no Baixo Trecho do Rio Paraguaçu.....	65
Figura 5.19 – Requerimentos de Vazão e Componentes do Escoamento no Baixo trecho do rio Paraguaçu .....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Componentes do Escoamento e Importância Ecológica .....	19
Quadro 3.2 - Principais Categorias de Demandas de Água.....	22
Quadro 3.3 - Evolução Científica de Vazões Ambientais .....	24
Quadro 4.1 - Principais Barragens na bacia do Paraguaçu .....	33
Quadro 4.2- Características da Barragem e Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo....	34
Quadro 4.3– Parâmetros do software Indicators of Hidrologic Alteration.....	42
Quadro 5.1- Relações conceituais entre Alterações Hidrológicas e Respostas Ecológicas.....	45
Quadro 5.2 -Diagnóstico da Ictiofauna no baixo trecho do rio Paraguaçu.....	48
Quadro 5.3 - Época das Vazões Anuais Extremas Afluente e Defluente à UHEPC ....	59
Quadro 5.4 - Taxa de Mudanças no Hidrograma.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA** - Agência Nacional de Águas
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- BA** - Bahia
- BBM** - *Building Block Methodology*
- DNAEE** - Departamento Nacional de Energia Elétrica
- EI** - Elevação
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IHA** – *Indicators of Hydrologic Alteration*
- INEMA** – Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- MMA** - Ministério do Meio Ambiente
- ONS** - Operador Nacional de Sistema Elétrico
- PCH** – Pequena Central Hidrelétrica
- Q<sub>7,10</sub>** – Vazão mínima de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos
- Q<sub>95</sub>** – Vazão com garantia de permanência em 95%
- Q<sub>90</sub>** – Vazão com garantia de permanência em 90%
- TNC** - *The Natural Conservancy*
- UFBA** – Universidade Federal da Bahia
- UHE** – Usina Hidrelétrica
- UHEPC** – Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo
- WAIORA** – *Water Allocation on River Attributes*

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial da população humana e suas demandas vêm amplificando os diversos impactos nos recursos hídricos, entre eles, a poluição dos cursos d'água e a perda de espécies aquáticas. A gestão desses recursos foi, por muito tempo, voltada a eliminação de ameaças, como: poluição de fontes pontuais, enchentes e secas, no entanto, atualmente discute-se uma gestão fundamentada na visão integrada da bacia hidrográfica, água e biota como um “superorganismo” promovendo assim o uso sustentável do recurso (Zalewski *et al.*, 1997).

De acordo com Richter *et al.* (1996), a composição da biota, estrutura e função dos ecossistemas aquáticos, ripários e das áreas inundáveis dependem do regime de escoamento, visto que, a variabilidade das condições hidrológicas desempenha papel fundamental na dinâmica populacional das espécies, influenciando no sucesso da reprodução e nas interações bióticas.

Alterações nos regimes podem modificar indiretamente os ecossistemas através de seus impactos no habitat dessas espécies, incluindo temperatura da água, teor de oxigênio, qualidade da água e tamanho de partículas do substrato (RICHTER *et al.*, 1996). Entre as principais fontes de alterações nos regimes hidrológicos estão: a urbanização (ocasiona o aumento dos picos de vazão), construção de canais e diques (reduz a infiltração no solo), e implantação de barragens (POFF *et al.*, 1997).

A construção de barragens é uma prática utilizada a milhares de anos por antigas civilizações. Acredita-se que os agricultores da margem oriental da Mesopotâmia podem ter sido os primeiros a construir barramentos, a fim de desviar a água dos córregos para os canais de irrigação. No entanto, as primeiras ruínas foram encontradas na Jordânia, constituíam um sistema de abastecimento de água para a cidade de Jawa, construídas em torno de 3.000 aC (INTERNATIONAL RIVERS, 2018).

Entre as principais finalidades das barragens de armazenamento de água estão: abastecimento humano e industrial, irrigação, navegação, recreação, controle de sedimentação, controle de cheias e produção de energia elétrica. A construção de reservatórios para a regularização das vazões permite a atenuação da variabilidade temporal e local da precipitação e vazão dos rios, buscando assim, armazenar água nos períodos chuvosos a fim de compensar os déficits da época de estiagem.

O grande número de barragens acarretou em vantagens para o uso dos recursos hídricos, proporcionando o desenvolvimento da sociedade e melhoria da habitação (Collier *et al.*, 1998). Entre os diversos usos citados para as águas dos reservatórios, a geração de energia elétrica se destaca no Brasil, uma vez que, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2017), cerca de 62% da matriz de energia elétrica brasileira é de origem hídrica, com um total de 1265 usinas em todo o país.

Apesar dos aspectos positivos, a implantação de obras dessa magnitude acarreta em diversos impactos culturais e socioambientais que são observados tanto à montante quanto à jusante do barramento. Os impactos da construção de reservatórios sobre a área inundada são facilmente identificados, entre eles: remoção da população que habita a área inundada, perda de sítios arqueológicos, extinção da vegetação inundada e diminuição da qualidade da água decorrente da decomposição da matéria orgânica submersa. Dentre os impactos à jusante, destacam-se obstáculo imposto pelo barramento na migração de peixes e, principalmente, a alteração no regime hidrológico provocando modificações no ecossistema no trecho do rio à jusante (COLLISCHONN & TASSI, 2008).

Segundo Tucci (1993), os impactos causados por essas obras no regime natural de vazões são: aumento das vazões médias e mínimas e diminuição da magnitude das vazões máximas, o que depende do tamanho do reservatório e do volume disponível no período anterior ao chuvoso.

Visto que a integridade biótica está intimamente relacionada ao regime hidrológico, esse tema vem sendo abordado pela gestão de recursos hídricos, sob a perspectiva do hidrograma ambiental, de forma a integrar regras de operação das barragens aos requerimentos ecológicos.

De acordo com a International Riversymposium & Environmental Flows Conference – IREFC (2007), as vazões ambientais referem-se à quantidade, periodicidade e qualidade da água necessária para manter ecossistemas de águas interiores e estuarinos, meio de subsistência e o bem-estar humano, que dependem destes ecossistemas. A implantação das vazões ambientais se torna mais complexa em período de crise hídrica, visto que, as demandas prioritárias devem ser atendidas. Todavia, é essencial o conhecimento das respostas ecológicas a essas alterações no regime de vazões naturais, a fim de que, as alterações decorrentes de obras hidráulicas e condições hidroclimatológicas não comprometam, de forma extrema, a integridade ambiental do ecossistema fluvial.

Logo, este trabalho visa estudar as potenciais respostas ecológicas às alterações no regime de fluxo no baixo trecho do rio Paraguaçu, sob a influência da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo.

## **2. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo Geral**

Estudar as potenciais respostas ecológicas, com ênfase na ictiofauna como indicador ambiental, às alterações hidrológicas avaliadas no baixo trecho do rio Paraguaçu influenciado pela presença da barragem de Pedra do Cavalo.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar o regime hidrológico no baixo trecho do rio Paraguaçu;
- Estudar as alterações hidrológicas decorrentes da Barragem de Pedra do Cavalo no baixo trecho do rio Paraguaçu;
- Estabelecer relações conceituais entre as alterações do regime hidrológico identificadas no baixo trecho do rio Paraguaçu e respostas ecológicas da ictiofauna, com base na literatura;
- Apontar as características do regime de fluxo alteradas mais perceptíveis para o atendimento à integridade biótica, com ênfase na ictiofauna da área de estudo;

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1. Dinâmica Fluvial**

Segundo Christofolletti (1980), o termo “rio” refere-se ao principal e maior elemento de uma bacia de drenagem, uma vez que, as águas que se juntam num canal principal após escoarem pelos cursos de água constitui esse sistema hídrico.

Os rios, alimentados por águas superficiais e subterrâneas, fazem parte do ciclo hidrológico, sendo constituídos da água precipitada que não sofreu evaporação e a parcela infiltrada que alimenta esses cursos através do escoamento subterrâneo. O volume do escoamento fluvial está sob influência de diversos fatores, entre eles: precipitação, condições

de infiltração, drenagem subterrânea e outros. A variabilidade do nível da água ao longo do ano trata-se do regime fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Poff *et al.* (1997), o regime de escoamento característico de cada região é determinado principalmente pelo tamanho do rio, variação climática, geologia, topografia e cobertura vegetal.

De acordo com Ward (1989), os ecossistemas lóticos, tais como os rios, possuem uma grande heterogeneidade espaço-temporal, assim, a dinâmica fluvial pode ser compreendida por quatro dimensões. A primeira é a longitudinal, que refere-se às interações que ocorrem no rio, de sua nascente até a foz, esse fluxo tem como principal característica possuir um movimento unidirecional, condicionando assim, os outros componentes. A segunda dimensão é a lateral, diz respeito aos movimentos de ciclagem de nutrientes entre o canal e as planícies de inundação, que ocorrem a partir do transbordamento da água da calha do rio transportando matéria orgânica e organismos. Para Junk *et al.* (1989), os pulsos de inundação são a principal força que controla a existência, produtividade e interações da biota nas planícies de inundações dos rios. Sendo que a troca lateral de nutrientes entre o canal do rio e a várzea fluvial possui maior relevância para a biota do que o fluxo longitudinal de matéria orgânica.

As interações entre as águas superficiais e subterrâneas remetem-se a dimensão vertical, embora haja uma componente lateral subterrânea de magnitude significativa. A última dimensão abordada por Ward (1989) é a dimensão temporal, a qual, diz respeito aos períodos em que determinados eventos ocorrem sobre os sistemas fluviais e ecológicos, permitindo, inclusive, o entendimento do tempo de respostas após perturbações.

Foram estabelecidos 5 componentes do escoamento capazes de caracterizar o regime de vazões e eventos hidrológicos críticos aos processos ecológicos. A partir da caracterização do regime através desses itens, as repostas ecológicas às alterações humanas a cada um desses componentes podem ser reconhecidas mais evidentemente, são eles: (Poff & Ward 1989, Richter *et al.*, 1996, Walker *et al.*, 1995, Poff *et al.*, 2010).

- Magnitude das Vazões - quantia de água que se movimenta por um local fixo por unidade de tempo. As magnitudes máximas e mínimas da vazão sofrem influência do clima e tamanho da bacia hidrográfica.
- Frequência – trata-se da frequência de ocorrência de uma vazão, superior a uma determinada magnitude, ao longo do tempo.

- Duração – refere-se ao período de tempo associado a uma condição de fluxo específica. Pode ser definida em relação a um fenômeno específico, como a quantidade de dias que uma planície de inundação foi inundada por uma inundação de determinada magnitude, ou por período de tempo específico, como o número de dias que a vazão supera determinado valor.
- Periodicidade ou Previsibilidade – refere-se à regularidade de ocorrência das vazões de magnitude referente a diferentes escalas de tempo.
- Taxa de Mudança ou Taxa de Variação – trata-se da rapidez que a vazão alterna de uma magnitude para outra.

### **3.2.Requerimentos Hidrológicos dos Ecossistemas**

A importância do regime hidrológico como condicionante para biodiversidade e integridade ecológica é acordada. Conforme Poff *et al.* (1997), o regime de fluxo pode ser definido como a “variável mestre” que molda os aspectos ecológicos fundamentais dos ecossistemas, sendo verificado que eventos extremos, como pulsos altos e baixos, são capazes de pressionar populações de determinadas espécies.

A composição da biota é o resultado da adaptação das espécies aos processos em diferentes escalas de tempo e espaço. Portanto, a saúde ambiental dos rios está fortemente relacionada à conservação do regime natural de vazões e sua variabilidade, uma vez que, os ecossistemas aquáticos, vegetação ripária e a ciclagem de nutrientes estão condicionados à previsibilidade e variabilidade dos pulsos altos e baixos (SOUZA, 2009).

O Quadro 3.1 relaciona os componentes do escoamento e sua importância para o ecossistema.

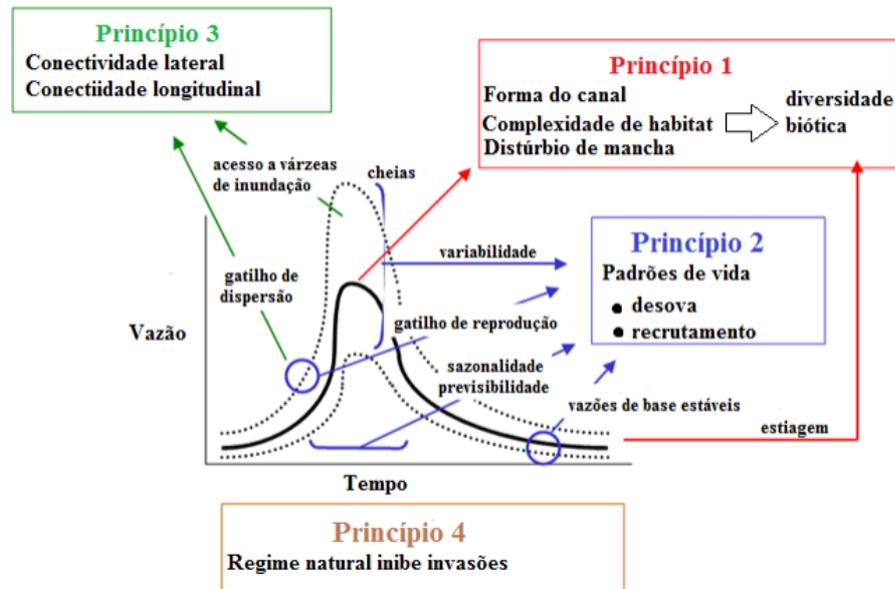
Quadro 3.1 - Componentes do Escoamento e Importância Ecológica

<b>Componentes do Escoamento</b>	<b>Importância Ecológica</b>
<b>Magnitude</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinação do habitat;</li> <li>- Influência na distribuição e abundância de organismos aquáticos;</li> <li>- Definição da forma do canal, transporte de matéria, geração de espaço heterogêneo e produção de manchas de ecossistemas.</li> </ul>
<b>Frequência</b>	<p>Do pulso de cheia:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Força para exportar matéria orgânica;</li> <li>- Possibilita ambiente propício para desova;</li> <li>- Conectividade do canal;</li> <li>- Preservação das espécies nativas.</li> </ul> <p>Do pulso de seca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recrutamento de plantas ripárias;</li> <li>- Espécies aquáticas e ripárias com adaptações comportamentais ou fisiológicas que os permitem conviver com estas situações extremas.</li> </ul>
<b>Duração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evita a extinção de espécies nativas por espécies dominantes;</li> <li>- A duração de inundações influencia a eficiência da zona ripária no controle de fluxos de nutrientes.</li> </ul>
<b>Período de Ocorrência</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sincronia de processos ecológicos com processos hidrológicos;</li> <li>- Cheias e estiagens são fatores determinantes na composição dos ecossistemas.</li> </ul>
<b>Forma de Eventos Hidrológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Influência na persistência e coexistência de espécies;</li> <li>- Gatilho para desova em algumas espécies de peixes;</li> <li>- Rapidez com que condições hídricas se alteram;</li> <li>- Regulam a persistência de espécies aquáticas e ripárias.</li> </ul>

Fonte: Poff et al., 1997, adaptado por (SOUZA, 2009)

Nessa perspectiva, Bunn & Arthington (2002) estabeleceram 4 princípios que ilustram a influência da alteração do regime hidrológico na biodiversidade aquática, conforme apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1– Princípios que justificam conservação do regime de fluxo natural



Fonte: BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. (2002). Tradução de Barbosa *et al* (2013).

Os princípios que justificam a conservação dos regimes hidrológicos naturais são:

1. A vazão é um dos principais fatores que determinam o habitat físico dos cursos d'água, e conseqüentemente, da distribuição, abundância e diversidade da biota. Observou-se que a estabilidade do substrato, forma, tamanho e correntezas de cursos de água são determinados pela interação entre o escoamento, geologia e relevo local.
2. Em respostas aos regimes hidrológicos naturais, as espécies aquáticas desenvolveram estratégias de história de vida. Assim, a alteração no fluxo é capaz de acarretar em falhas de recrutamento e perda da biodiversidade de espécies nativas.
3. A manutenção dos padrões naturais da conectividade longitudinal e lateral é fundamental para ocorrência de diversas espécies ribeirinhas. Logo, a perda dessa conectividade pode acarretar no isolamento de populações, recrutamento fracassado e extinção local.
4. Alterações no regime de fluxo favorecem a invasão e sucesso das espécies exóticas e introduzidas nos rios;

Em relação às estratégias de histórias de vida (Princípio 2), Lytle & Poff (2004) apresentaram três tipos de adaptações das espécies aos regimes naturais:

- Sincronização ao Regime Hidrológico: Organismos capazes de adaptar suas histórias de vida à alteração de eventos hidrológicos, como: peixes, insetos aquáticos e plantas ripárias. Estes possuem a habilidade de se ajustarem a longo-prazo a eventos que ocorrem com frequência e previsibilidade suficiente. Nos casos onde há grande variabilidade na ocorrência de eventos, algumas espécies desenvolvem estratégias para garantir a perpetuação da espécie. Um mecanismo utilizado por insetos é a produção de ovos que incubam em diferentes períodos.

- Respostas Comportamentais: adaptações comportamentais possibilitam a permanência dos animais em períodos isolados de cheia e estiagem. Entre elas estão: movimentação para áreas de refúgio, reprodução depois de cheias e escavação de ninhos profundos garantindo que não sejam arrastados.

- Respostas Morfológicas: entre as adaptações morfológicas estão as mudanças fisiológicas em resposta às inundações e alocação de biomassa, como algumas plantas que desenvolvem galhos mais frágeis para perderem biomassa durante a inundação, protegendo o restante de sua estrutura de perdas mais severas.

De acordo com Bunn & Arthington (2002), a alteração dos regimes hidrológicos é diversas vezes tida como a ameaça mais séria e contínua para a sustentabilidade ecológica dos rios e suas planícies de inundação. Uma das principais fontes de alterações no regime natural de vazões é a presença de barragens nos leitos dos rios, provocando inúmeros impactos ao ecossistema, como: redução da diversidade, aumento de espécies não nativas e perda de espécies sensíveis (POFF *et al.* 2010).

### **3.3.Barragens**

A Lei Federal 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a qual define barragem como: “qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”.

### 3.3.1. Demandas dos Usos do Reservatório

A Lei Federal 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, sancionada em 1997, tem, entre seus fundamentos, que a gestão de recursos hídricos deve sempre possibilitar o uso múltiplo das águas, no entanto, em situações de escassez, o consumo humano e a dessedentação de animais possuem prioridade (BRASIL, 1997).

De acordo com Lanna (1999), o desenvolvimento econômico propiciou uma intensificação das demandas das águas, tanto em quantidade, quanto em variedade de usos, de forma que, em algumas situações essas demandas não podem ser atendidas ocasionando conflitos de disponibilidade quantitativa. O Quadro 3.2 apresenta as principais categorias de demandas de água.

Quadro 3.2 - Principais Categorias de Demandas de Água

<b>CATEGORIAS</b>	<b>DEMANDAS</b>
<b>INFRAESTRUTURA SOCIAL</b>	- dessedentação - navegação - usos domésticos - recreação e lazer - usos públicos - amenidades
<b>AGRICULTURA E AQUICULTURA</b>	- agricultura - irrigação - piscicultura - pecuária - uso de estuários e banhados
<b>INDUSTRIAL</b>	- arrefecimento - mineração - hidroeletricidade - termoeletricidade - processamento industrial - transporte hidráulico
<b>EM TODAS AS CATEGORIAS ACIMA</b>	- transporte, diluição e depuração de efluentes
<b>PROTEÇÃO (PRESERVAÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO)</b>	- consideração de valores de opção de uso, de existência ou intrínseco

Fonte: Lanna (1999)

### 3.3.2. Impactos das Barragens

Segundo Collischonn & Tassi (2008), diversos impactos ambientais estão ligados à construção de reservatórios e usinas hidrelétricas. O principal impacto social verificado é o deslocamento da população que habita a área a ser inundada pelo reservatório, além disso, a expectativa da construção de obras desse porte causa uma estagnação nos investimentos locais. Dentre os impactos sociais, estão também os impactos culturais, em que há perda de sítios arqueológicos ou, em alguns casos, locais sagrados para os povos indígenas.

Entre os impactos do local inundado, tem-se a extinção da vegetação inundada e conseqüentemente, o comprometimento da qualidade da água, uma vez que, o oxigênio dissolvido é consumido na decomposição da vegetação causando uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido podendo levar a uma grande mortandade de peixes (COLLISCHONN & TASSI, 2008).

De acordo com Petesse & Petrere (2012), na formação de um reservatório, o trecho do rio torna-se uma planície alagada, provocando a perda da biodiversidade da fauna aquática e alteração da composição, uma vez que, somente espécies com exigências ambientais menos restritivas, em relação à qualidade da água e substrato, conseguem perpetuar, enquanto as demais desaparecem ou são obrigadas a migrar na direção montante ou para afluentes do rio. Tem-se também, o impacto na abundância das espécies da fauna, visto que, há a alteração da disponibilidade das condições necessárias, como desaparecimento de substratos essenciais para a reprodução e acumulação de detritos, forçando a migração dos peixes para as margens, resultando numa alteração da composição, em que espécies que possuem resistência a condições adversas e estratégias de reprodução tornam-se mais abundantes e as demais mais raras.

Dentre os impactos à jusante do barramento, destaca-se a alteração do regime hidrológico que, como já discutido no item 3.2, está intimamente ligado ao ecossistema fluvial. Tendo em vista essa problemática, surgiu a necessidade de estabelecer um regime de vazões que atendesse aos processos ecológicos e as demandas humanas (COLLISCHONN *et al.*, 2005).

### 3.4. Vazões Ambientais

Ao longo dos anos, os impactos ambientais à jusante de barramentos, sobretudo as alterações no regime natural de vazões, se tornou mais evidente, gerando uma maior preocupação. Assim, inicialmente, definiu-se a necessidade de estabelecer uma vazão mínima, a qual permaneceria no rio após a retirada de todas as demandas para uso humano, pretendia-se assim, que a quantidade de água remanescente no rio durante os períodos secos não fosse tão pequena que ocasionasse a falta de oxigênio para os peixes, e assim, a extinção de espécies (COLLISCHONN et al, 2005).

No entanto, a metodologia de vazões ambientais é focada em um valor fixo de vazão mínima, não havendo a inserção de outras características do regime hidrológico que são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas fluviais. Deste modo, diversas metodologias foram desenvolvidas com o intuito de propor um hidrograma ambiental que seja tanto quanto possível semelhante ao regime natural de vazões, atendendo aos requerimentos ecológicos e aos usos humanos (COLLISCHONN et al, 2005). O Quadro 3.3 apresenta a evolução dos conceitos de vazões ambientais ao longo do tempo.

Quadro 3.3 - Evolução Científica de Vazões Ambientais

<b>Termos aplicados</b>	<b>Objetivo de alocação</b>	<b>Estágio científico</b>
Vazões de compensação, vazões mínimas aceitáveis	Captação de jusante, navegação	Ecólogos relatam respostas de peixes migradores à condições de vazão
Vazões ecológicas, sanitárias, residuais, remanescentes.	Manutenção de habitat físico para espécies de interesse, saneamento	Vazões resultam de "Chute Educado" de biólogos de pesca e/ou engenheiros
Vazões ecológicas, vazões de arrasto	Processos geomorfológicos	Restauração de canais (capacidade de condutância hidráulica)
Vazões ecológicas, ambientais, remanescentes	Processos ecológicos	Variabilidade de vazões naturais sustenta processos ecológicos; incerteza dirimida via manejo adaptativo.
Vazões ecológicas, ambientais, hidrograma ecológico	Demandas hídricas de ecossistemas e da sociedade	Reconhecimento de papel social de manter ecossistemas na produção de bens e serviços

Fonte: Adaptado de SOUZA (2009)

Diversas metodologias foram desenvolvidas ao longo dos anos para a determinação das vazões ambientais, as quais, podem ser classificadas em 4 categorias genéricas: i) métodos baseados em registros hidrológicos e na consulta a tabelas, ii) métodos baseados em parâmetros hidráulicos, iii) métodos baseados na relação habitat e vazão e iv) métodos holísticos (MEDEIROS *et al.*2015).

As metodologias hidrológicas recorrem às series temporais de vazões diárias ou mensais e usualmente fixam um percentual ou proporção da vazão natural do curso de água em questão para definir a vazão ambiental. Nas metodologias hidráulicas são consideradas as alterações em variáveis hidráulicas simples, como perímetro molhado ou profundidade máxima (LONGHI & FORMIGA,2011).

As metodologias baseadas no habitat buscam analisar as vazões ambientais quanto ao habitat físico disponível para as espécies pesquisadas (LONGHI & FORMIGA,2011). Por fim, as metodologias holísticas, segundo O’Keeffe, J. & Quesne, T.L. (2008), são baseadas no consenso de especialistas de diversas áreas a fim de definir os fluxos apropriados para atender a um conjunto predeterminado de objetivos ambientais.

#### 3.4.1. Vazões Ambientais no Brasil

Em 1997, Poff *et al* (1997) relataram o panorama da gestão de recursos hídricos da época, segundo os autores, historicamente, a proteção com os cursos de água limitava-se a qualidade da água e apenas uma característica da quantidade: a vazão mínima. No entanto, essa visão estava dando lugar ao reconhecimento que a integridade ecológica está diretamente ligada ao dinamismo ambiental, sendo necessárias ações coordenadas e descentralizadas para a proteção e restauração da variabilidade do fluxo natural de um rio.

No Brasil, o extinto Departamento Nacional de Energia Elétrica (DNAEE), em 1984 aprovou as “Normas para Apresentação de Estudos e de Projetos de Exploração de Recursos Hídricos para Geração de Energia Elétrica”, entre elas, a norma 02 estabelece que “*na concepção do Projeto Básico deverá ser considerado que a vazão remanescente no curso d’água, a jusante do barramento, não poderá ser inferior à 80% (...) da vazão mínima média mensal, caracterizada com base na série histórica de vazões naturais com extensão de pelo menos 10 (...) anos*”. Essa norma foi revogada pela Resolução 394 da ANEEL (SOUZA, 2009).

As discussões a respeito dos impactos ambientais das usinas hidrelétricas se intensificam a partir da Resolução 01/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente que estabelece a obrigatoriedade da elaboração do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (SOUZA, 2009).

Os debates a respeito da escolha das vazões ambientais têm início no Conselho Nacional de Recursos Hídricos em 2006, motivados pela publicação e premiação do trabalho “Em busca do Hidrograma Ecológico” (Collischonn *et al.*, 2005) no XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e no WMO Research Award for Young Scientists. Ainda em 2006, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico lança edital para desenvolvimento de pesquisas sobre vazões ambientais (SOUZA, 2009).

No estado da Bahia, foi assinada em 2007 a instrução normativa nº01 que dispõe sobre a emissão de direito dos recursos hídricos de domínio do Estado, assim como a sua renovação, ampliação, transferência, revisão, suspensão e extinção. Neste documento definiram-se os limites para o somatório das vazões a serem outorgadas. No artigo 9º, inciso II, tem-se que para lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais perenes podem ser outorgados até 80% das vazões regularizadas com 90% de garantia, em casos de abastecimento humano, o limite pode atingir 95%. A vazão remanescente de 20% deverá escoar para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque. No caso de mananciais intermitentes, o inciso III define o limite de 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia.

Em junho de 2011, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu as diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes através da Resolução Nº 129, a qual estipula que para a determinação da vazão mínima remanescente devem ser consideradas, entre outros fatores, a vazão de referência, os critérios de outorgas, as demandas e características específicas dos usos e as prioridades e diretrizes estabelecidas nos planos de recursos hídricos (BRASIL, 2011).

No Artigo 6º, inciso II, tem-se que as autoridades outorgantes podem adotar critérios diferenciados para a determinação das vazões mínimas remanescentes em trechos de rios que possuem uma vazão reduzida, resultante de empreendimentos de geração hidrelétrica, por meio da apresentação de estudos que realizem a avaliação da interferência nos usos múltiplos no trecho. A resolução estabelece também que em casos de eventos hidrológicos críticos

podem ser mantidas vazões abaixo das mínimas remanescentes, desde que, haja o atendimento aos usos prioritários (BRASIL, 2011).

#### - Casos de Definição de Vazões Ambientais no Brasil

- Bacia Hidrográfica do rio Meia Ponte – Goiás

Barbosa *et al.*(2013) determinaram as vazões ecológicas para seis pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, no estado de Goiás, utilizando os métodos hidrológicos  $Q_{7,10}$ , Curva de Permanência de Vazões, Tennant e o método hidráulico do Perímetro Molhado, além disso, caracterizaram as condições dos regimes de vazão pelo método dos Indicadores de Alteração Hidrológica – *Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA). Neste estudo, observou-se que a maior limitação dos métodos era que esses têm como objetivo estabelecer uma vazão mínima, com exceção do IHA que busca diversas características do regime de vazões.

Logo, recomendou-se a adoção do método IHA a fim de analisar o comportamento dos componentes de vazão considerados e, a partir disso, definir, de acordo às características locais e recursos financeiros disponíveis, outro método que não considere apenas a manutenção de uma vazão mínima. Barbosa *et al.*(2013) apontaram ainda que caso a aplicação de hidrogramas ecológicos seja impossível, recomenda-se a adoção da vazão  $Q_{90}$ , que refere-se a vazão com garantia de permanência em 90%, por ser menos restritiva, podendo assim abranger uma maior quantidade de fatores ecológicos.

- Bacia Hidrográfica do rio Pará – Minas Gerais

Dos Reis *et al.*(2007) realizaram um estudo comparativo das metodologias para a determinação da vazão ecológica na bacia do rio Pará, no estado de Minas Gerais, com objetivo de propor um regime de vazões para o trecho à jusante da Pequena Central Hidrelétrica Cajurú considerando os requerimentos físico-químicos da ictiofauna local.

A metodologia utilizada neste estudo foi baseada no habitat, sendo adotado o modelo WAIORA – *Water Allocation on River Attributes*. Este método é capaz de estimar os efeitos da vazão nos parâmetros: habitat (profundidade, largura e velocidade), temperatura da água,

concentrações de oxigênio dissolvido e amônia total. O WAIORA é utilizado como suporte à decisão, uma vez que, não define a vazão ecológica, assim, as vazões de referências foram calculadas pelos diversos métodos existentes. Por fim, o trabalho obteve o regime de vazões atendendo aos requerimentos das espécies de peixes representando as características sazonais de rios tropicais (DOS REIS *et al.*, 2007).

- Bacia Hidrográfica do rio São Francisco – Baixo Trecho (Alagoas, Pernambuco e Sergipe)

Medeiros *et al.* (2010) desenvolveram um projeto visando a definição do regime de vazões ambientais no baixo curso do rio São Francisco promovendo a participação social no processo de alocação de água. O método utilizado foi a avaliação social dentro da metodologia holística da Construção de Blocos (*Building Block Methodology* - BBM).

O processo de definição do regime de vazões ambientais para esse trecho foi composto pelas atividades: 1) Levantamento das informações sobre o trecho para o reconhecimento dos conflitos de usos da água; 2) Contato com o Comitê de Bacia do São Francisco; 3) Identificação das comunidades ribeirinhas extrativistas; 4) Identificação dos usuários e como são utilizados os recursos gerados do rio (pesca, agricultura, lazer, entre outros); 5) Priorização da importância dos recursos e sua importância; 6) Identificação da relação entre os usos e a sazonalidade das vazões; 7) Relação entre os recursos e a vazão do rio (com o auxílio dos “níveis d’água”); 8) Relação entre a duração, magnitude das vazões e recursos do rio; 9) Estudo das alterações no rio ao longo do tempo; 10) Determinação da “Condição Desejada” e 11) Coleta e cruzamento dos estudos das equipes de especialistas para a definição do regime de vazão (MEDEIROS *et al.*, 2010).

Segundo Medeiros *et al.* (2010), o hidrograma proposto não é definitivo, devendo ser discutido amplamente, sendo assim, colabora para a elaboração de um plano que atenda às demandas humanas e do ecossistema aquático.

- Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu – Bahia

Medeiros *et al.* (2015) definiram um regime de vazões para o baixo trecho do rio Paraguaçu, à jusante da UHE de Pedra do Cavalo. Neste estudo foi adotada a metodologia

holística *Building Block Methodology* (BBM), visto que, este método considera como fonte de informação as observações e análises da população extrativista e ribeirinha.

Assim, o método foi constituído de três partes: i) levantamento de dados hidrológicos e ecológicos do habitat; ii) oficina de trabalho dos especialistas, onde é definido o regime de vazões e iii) negociação entre os atores envolvidos (preocupações ambientais/ interesses dos usuários/ possibilidade de manejo) (MEDEIROS *et al.*, 2015).

Medeiros *et al.* (2015) concluem que existem muitos desafios para a implantação do hidrograma ambiental, considerando a necessidade de alcançar equilíbrio entre os fatores ecológicos, sociais e econômicos, no entanto, com o aumento das discussões sobre o tema há também uma maior busca por soluções.

#### 3.4.2. Desafios para a Implantação dos Regimes de Vazões Ambientais

Conforme Souza *et al.*(2008), para o gerenciamento dos recursos hídricos e as tomadas de decisão é fundamental a predição das respostas ecológicas às alterações do regime de vazões, entretanto, as informações hidrológicas e principalmente ecológicas são insuficientes. Em relação aos dados hidrológicos, existem ferramentas, como a simulação, que contribuem no preenchimento das lacunas de informações, no entanto, quanto ao monitoramento ecológico, tem-se a necessidade de obtenção de dados a longo-prazo para alcançar resultados, sendo esse um desafio para países como o Brasil que não permite que grandes gastos sejam tomados em todas as bacias hidrográficas.

Para Collischonn *et al.*(2005), um grande desafio para a implantação do hidrograma ambiental é conseguir estabelecer a ligação exata entre o regime hidrológico e as espécies, isso porque, devem ser consideradas o maior número possível de espécies para não acarretar em um desequilíbrio da cadeia alimentar e conseqüentemente, extinção e condições favoráveis para espécies exóticas. Além disso, Collischonn *et al.*(2005) aponta que um dos passos para alcançar esse objetivo é avaliar os conflitos entre os requerimentos de vazão do ecossistema e as demandas de uso da água.

Segundo a Agência Nacional de Águas (2017), no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil de 2017, o país vem sofrendo uma crise hídrica desde 2012, sendo a região nordeste a principal afetada por secas e estiagens. Cerca de 80% das pessoas

afetadas por esses eventos vivem no nordeste. Os estados do Ceará, Minas Gerais e Bahia correspondem a 61% dos registros de secas no Brasil.

Desde 2012, os volumes precipitados nos períodos úmidos foram muito abaixo da média, ocasionando a redução das recargas dos reservatórios e prejudicando drasticamente o atendimento às demandas de água dos diversos usos, inclusive a demanda do ecossistema (ANA, 2017).

Por conseguinte, conhecidos os grandes desafios para a implantação do hidrograma ambiental em rios brasileiros, sobretudo em períodos de seca, quando é ainda maior a necessidade de atender às demandas prioritárias (abastecimento humano e dessedentação de animais), a indicação das principais características do regime de fluxo que provocam respostas do ecossistema apresenta-se como uma importante iniciativa para o estabelecimento do regime de vazões ambientais.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Área de Estudo**

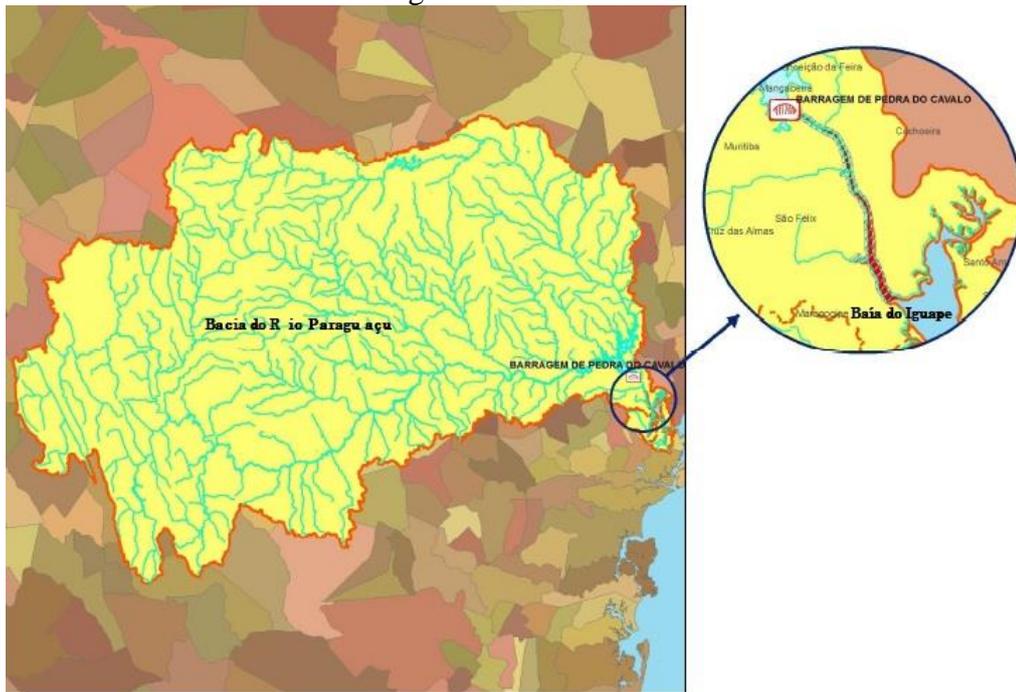
#### **4.1.1. Localização**

A Bacia Hidrográfica do Paraguaçu está situada entre os paralelos 11°11' a 13°42' S e os meridianos 38°48' a 42°07' W, com extensão de 56.300 km<sup>2</sup> (IBGE, 1981) no centro-oeste da Bahia, ocupando 10% do território, com população de 1.657.254 habitantes, englobando 84 municípios (INEMA,[20-?]).

Esta bacia limita-se ao sul com as bacias do rio de Contas e Jequiriçá; a oeste com a bacia do rio São Francisco; a nordeste com a bacia do rio Inhambupe e a leste com o Oceano Atlântico. O rio Paraguaçu possui suas nascentes ao norte do município de Barra da Estiva, no morro do Ouro, percorrendo o sertão baiano até a sua foz na Baía de Todos os Santos (IBGE, 1981).

A área de estudo do seguinte trabalho localiza-se à jusante da barragem de Pedra do Cavalo, o baixo trecho do rio Paraguaçu, como observado na Figura 4.1.

Figura 4.1. – Área de Estudo

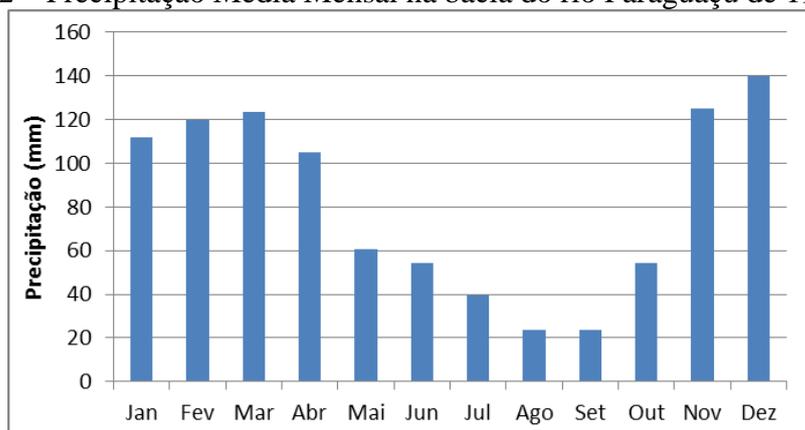


Fonte: INEMA/UFBA (2010)

#### 4.1.2. Regime de Chuvas e Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Paraguaçu possui variadas zonas climáticas em seu território, desde o clima úmido no alto da bacia até grandes trechos de clima semiárido no médio trecho. A área de estudo, no baixo curso, porção sudoeste do Recôncavo Baiano, apresenta clima úmido e subúmido, com elevadas precipitações, superiores a 1300 mm anuais (IBGE, 1981). As precipitações mensais no baixo trecho do rio Paraguaçu são apresentadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Precipitação Média Mensal na bacia do rio Paraguaçu de 1964 a 2011



Fonte: Dados do Hidroweb

A partir dos dados de precipitação média mensal da estação pluviométrica de Porto (código - 1241017) do período de 1964 a 2011, tem-se que os meses menos chuvosos são entre julho e setembro e a época mais úmida de novembro a abril, como demonstrado na Figura 4.2. A estação pluviométrica está localizada na Chapada Diamantina e apresenta correlação de 69% com a vazão do rio Paraguaçu na área de estudo, como apontado por INEMA/UFBA (2013).

Conforme IBGE (1981), os afluentes do rio Paraguaçu pela margem esquerda são os rios: Santo Antônio, Piranhas, Capivari, do Peixe, Paratigi, Saracura, Paulista, Preto, Bonito, Utinga, Ochó, Jacuípe, Tupim e Curimataí, entre outros menos importantes, e pela margem direita, apenas os rios de Una, da Palma, Cambuca e os riachos São Francisco, Vermelho, do Roncador, Toca da Onça, Grande e do Sebastião, e outros menores que representam contribuição importante.

A bacia do rio Paraguaçu vem sendo modificada devido a implantação de barramentos desde o século XX, o Quadro 4.1 apresenta as barragens nos cursos d'água desta bacia (INEMA/UFBA, 2013).

Quadro 4.1 - Principais Barragens na bacia do Paraguaçu

Nome	APERTADO	BANDEIRA DE MELO	FRANÇA	SÃO JOSÉ DO JACUIPE	PEDRA DO CAVALO
Município	Mucugê	Itaeté	Pirituba /Miguel Calmon	São José do Jacuípe	Cachoeira
Rio	Paraguaçu	Paraguaçu	Jacuípe	Jacuípe	Paraguaçu
Ano de Implantação	1998	2006	1996	1988	1985
Vol. Máx. (hm <sup>3</sup> )	108,69	111,59	24,19	357,00	4836,82
Altura do barramento (m)	27,20	19,10	25,50	41,60	142,00
Latitude	13°04'37" s	13°01'39"s	11° 33's	11°31'12"s	12°35'01"s
Longitude	41°26'31"w	40°49'03"w	40° 35'w	40°02'40"w	38°59'55"w
Tipo	Terra / vertedor lateral em CCV <sup>1</sup>	CCR <sup>2</sup> e Terra	Terra e enrocamento	Terra / enrocamento	Enrocamento com núcleo de argila
Usos	Abastecimento, irrigação e regularização	Abastecimento, irrigação e regularização	Abastecimento humano, rural e regularização	Abastecimento, irrigação	Abastecimento, controle de cheias, irrigação, geração de energia, lazer

CCV: concreto convencional

CCR: Concreto compactado a rolo

Fonte: INEMA/UFBA(2013)

#### 4.1.3. Aspectos Ecológicos do Baixo trecho da Bacia do rio Paraguaçu

O Baixo curso do Paraguaçu é caracterizado pela presença da Floresta Ombrófila Densa, e nas regiões mais ao litoral, tem-se as Áreas de Influência Marinha e Fluviomarina (mangues e restingas) (IBGE, 1981). A região insere-se no bioma Mata Atlântica, com predominância de Manguezal, que se trata de um ecossistema costeiro que, de acordo a literatura, não se refere apenas a formação vegetal, mas sim, um conjunto maior representado pela coexistência entre a biota e o meio físico (INEMA/UFBA, 2010).

Em relação à oceanografia, tem-se que a área de estudo é influenciada pelas marés que se propagam da Baía de Todos os Santos até os limites do município de Cachoeira (LESSA *et al.* 2001). Dessa forma, de acordo com o INEMA/UFBA (2013), o regime hidrodinâmico é controlado por dois fluxos de direções contrárias: fluxo de água doce, decorrente do controle do regime de vazões da operação da usina hidrelétrica e o fluxo da maré vindo do oceano. Assim, alterações no escoamento fluvial impactam todos os parâmetros de qualidade da água, sobretudo a salinidade, tendo em vista que, o trecho à jusante da usina é influenciado pela intrusão salina, condições essas que são determinantes para os ecossistemas aquáticos.

O teor de salinidade representa uma característica importante para a distribuição das espécies da ictiofauna, em que, nos trechos mais próximos da barragem (locais com baixa salinidade) são encontrados peixes de menor porte e conforme a aproximação com a Baía do

Iguape e assim o aumento da salinidade, tem-se exemplares de maior porte (INEMA/UFBA, 2013).

A área de estudo foi subdividida pelo INEMA/UFBA (2013) em 5 pontos amostrais, as espécies da ictiofauna registradas em tais pontos, assim como, o requerimento ecológico destas, podem ser verificadas no Anexo.

#### 4.1.4. Complexo de Pedra do Cavalo

O Complexo de Pedra do Cavalo localiza-se a cerca de 40 km da foz da bacia do rio Paraguaçu, situado entre os municípios de Cachoeira e Governador Mangabeira, nas coordenadas 12° 35' 01" Sul e 38° 59' 55" Oeste (MEDEIROS *et al.*, 2015).

A construção da barragem iniciou em 1978, sendo implantada em 1985 (INEMA, [200?]). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2006), os municípios de Cachoeira e São Felix, situados nas margens do rio Paraguaçu, eram acometidos praticamente anualmente pelas enchentes, algumas de grande magnitude, como dos anos de 1914, 1930, 1940, 1960, 1964 e 1985. Logo, o funcionamento da represa melhorou essa situação ao atender ao controle de cheias, no entanto, no ano de 1989, em virtude da intensidade excepcional da cheia (tempo médio de ocorrência=500 anos), a barragem não cumpriu seu principal objetivo, sendo esse o único evento de enchente após a construção do barramento.

Embora o empreendimento tenha sido projetado para o atendimento aos usos múltiplos, o reservatório atendia apenas ao controle de enchentes à jusante e abastecimento urbano das cidades próximas e da região metropolitana de Salvador. A partir de 2005 foi iniciada a geração de energia elétrica sob a operação do Grupo Votorantim (GENZ, 2006).

No quadro 4.2 estão apresentadas as características desse empreendimento hidráulico.

Quadro 4.2- Características da Barragem e Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo

<b>BARRAGEM</b>	
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	53.108
Nível de água máximo maximorum (m)	124,00
Nível de água máximo normal, no período úmido (dezembro a março) (m)	114,50
Nível de água máximo normal de projeto, período seco (maio a outubro) (m)	120,00
Nível de água máximo normal, no mês de novembro (m)	119,00
Nível de água máximo normal, no mês de abril (m)	119,50

<b>BARRAGEM</b>	
Nível de água mínimo (m)	106,00
Volume total, na El. 124,00 m (hm <sup>3</sup> )	4.836
Área do reservatório, na El. 124,00 m (km <sup>2</sup> )	185,9
Área do reservatório, na El. 120,00 m (km <sup>2</sup> )	157,5
Área do reservatório, na El. 114,50 m(km <sup>2</sup> )	132,0
Vazão Média de Longo Termo (m <sup>3</sup> /s)	106
Vazão Mínima Mensal (m <sup>3</sup> /s)	5,2
Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /s)	5.198
<b>USINA HIDRELÉTRICA</b>	
Capacidade Instalada Total (MW)	160
Energia Assegurada Total (MW)	56,4
Número de Turbinas	2
Potência de cada turbina (MW)	82,65
Vazão Máxima por Turbina (m <sup>3</sup> /s)	80

Fonte: INEMA, [200?]; MEDEIROS *et al.* (2015)

#### 4.1.4.1 Operação da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo

O contrato de concessão N. 019/2002 da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (2002), estabelece os termos para a exploração da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo, determinando os critérios de operação da barragem a serem respeitados pela Votorantim Cimentos N/NE. Entre os critérios, têm-se:

- A barragem deve operar com o limite mínimo de nível d'água de 106,0 m e máximo de 124,0 m;
- Descarga máxima de projeto de 12.000 m<sup>3</sup>/s;
- A máxima vazão defluente a ser turbinada é de 160 m<sup>3</sup>/s;
- Quando o nível de água do reservatório a montante estiver acima da cota mínima de operação, 106 m, a UHE deverá operar turbinando 60 m<sup>3</sup>/s médios diários. No entanto, quando o nível do reservatório atingir o N.A. mínimo normal e abaixo dele, a vazão turbinada será de 10m<sup>3</sup>/s médios diários;

Além dos critérios estabelecidos pela ANEEL, o reservatório de Pedra do Cavalo segue as seguintes restrições operativas do Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS, 2014):

- Restrição 1 – nível máximo de montante de 119,00 m durante o mês de novembro;

- Restrição 2 – nível máximo de montante de 114,50 m entre os meses de dezembro e março;
- Restrição 3 – nível máximo de montante de 119,50 m durante o mês de abril;
- Restrição 4 – condicionante operativa em relação ao nível de montante – paralisação da geração para cotas inferiores a 113,00 m no período de janeiro a março;
- Restrição 5 – Vazão defluente mínima de 10 m<sup>3</sup>/s;
- Restrição 6 – Vazão defluente máxima de 1500 m<sup>3</sup>/s;

De acordo com a ONS (2017), apesar da restrição de vazão defluente mínima de 10 m<sup>3</sup>/s, determinada pela ANEEL N° 19/2002, o estado da Bahia, através da Portaria n° 2771/2012, reduziu a vazão mínima para 6 m<sup>3</sup>/s em junho de 2012, devido à seca configurada na bacia. No mês de agosto do mesmo ano, através da Portaria n° 3268/2012, a vazão mínima foi reduzida para 3 m<sup>3</sup>/s, a qual, permanece até os dias atuais.

#### 4.1.4.2 Plano de Operação da Barragem de Pedra do Cavalo para o atendimento aos requerimentos da vazão ambiental

Medeiros *et al.* (2015), propuseram um plano de operação para a Barragem de Pedra do Cavalo a fim de atender aos requerimentos da vazão ambiental, como já citado no item 3.4.1.1., a metodologia utilizada foi o método BBM, e teve como objetivo assegurar a relação entre as condições climáticas, estabelecer vazões à jusante do barramento que atendessem aos requerimentos ambientais e o monitoramento contínuo a fim de subsidiar o manejo de vazões ambientais. Sendo propostas alternativas de hidrogramas ambientais para ano seco e normal, como apresentada nas Figuras 4.3 e 4.4.

Figura 4.3- Hidrograma Ambiental para ano seco

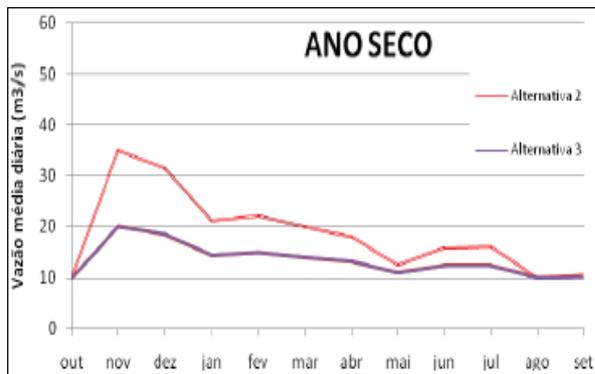
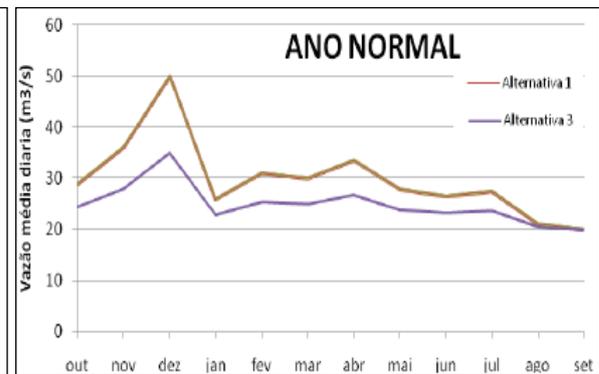


Figura 4.4 – Hidrograma Ambiental para ano normal

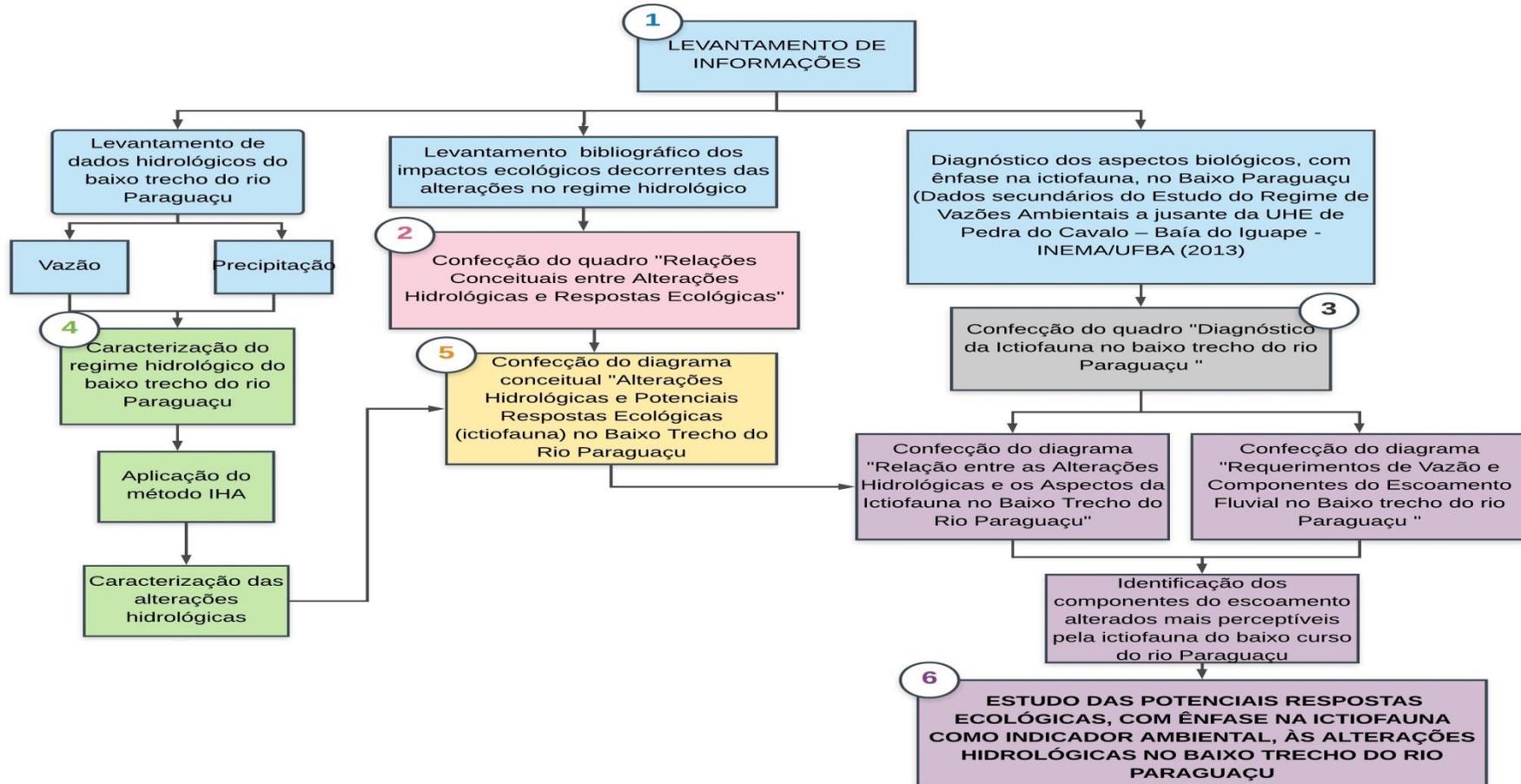


Fonte: MEDEIROS *et al.*(2015)

## 4.2. Metodologia

Para o estudo das potenciais respostas ecológicas, com ênfase na ictiofauna, às alterações hidrológicas ocorridas no baixo trecho do rio Paraguaçu, o trabalho foi dividido em 6 etapas que se correlacionam, como observado na Figura 4.5 e detalhadas a seguir:

Figura 4.5 – Fluxograma da Metodologia do Trabalho



Fonte: Próprio Autor (2018)

## 4.2.1 Levantamento de Informações

### 4.2.1.1 Levantamento dos Dados Hidrológicos

Para o estudo do regime hidrológico no baixo trecho do rio Paraguaçu foram obtidas as séries históricas das vazões afluentes e defluentes da barragem de Pedra do Cavalo, a partir de 2005, fornecidas pela Agência Nacional de Águas, através do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios, e pelo grupo Votorantim. Sendo realizada uma análise comparativa para escolha da série a ser trabalhada, conforme demonstrado nas Figuras 4.6 e 4.7.

Figura 4.6 – Vazões Afluentes da UHEPC fornecidas pela ANA e Votorantim

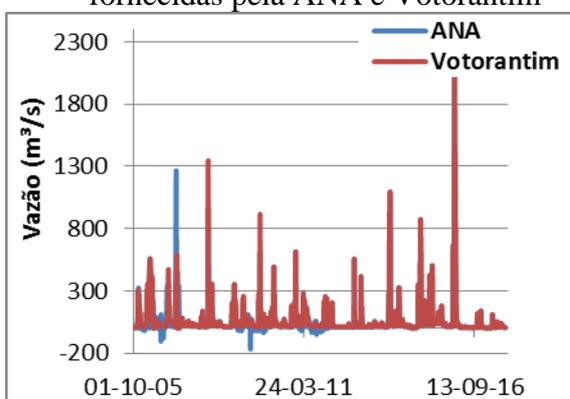
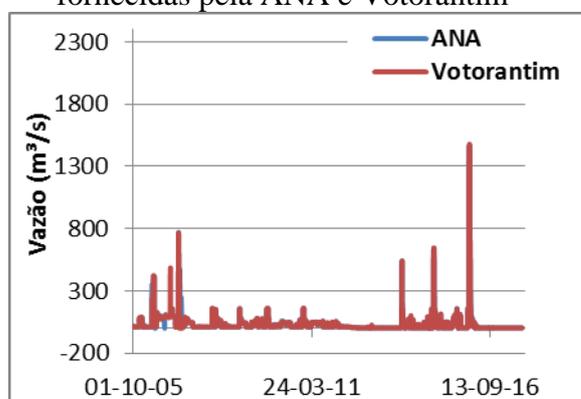


Figura 4.7 - Vazões Defluentes da UHEPC fornecidas pela ANA e Votorantim



Fonte: Dados da ANA e Votorantim

Nas Figuras 4.6 e 4.7 nota-se a semelhança entre as duas séries históricas, sobretudo nas vazões defluentes, contudo, na Figura 4.6 há a presença de alguns valores negativos na série disponibilizada pela Agência Nacional de Águas, logo, optou-se por adotar os dados fornecidos pela Votorantim, utilizando a série histórica da ANA apenas para o preenchimento das falhas e dos dados a partir de agosto de 2017.

Para o estudo da precipitação, foram utilizados os dados do posto pluviométrico de Porto (código 01241017), situado na Chapada Diamantina, uma vez que, esta estação apresenta correlação de 69%, segundo INEMA/UFBA (2013), com a vazão à jusante da barragem de Pedra do Cavalo.

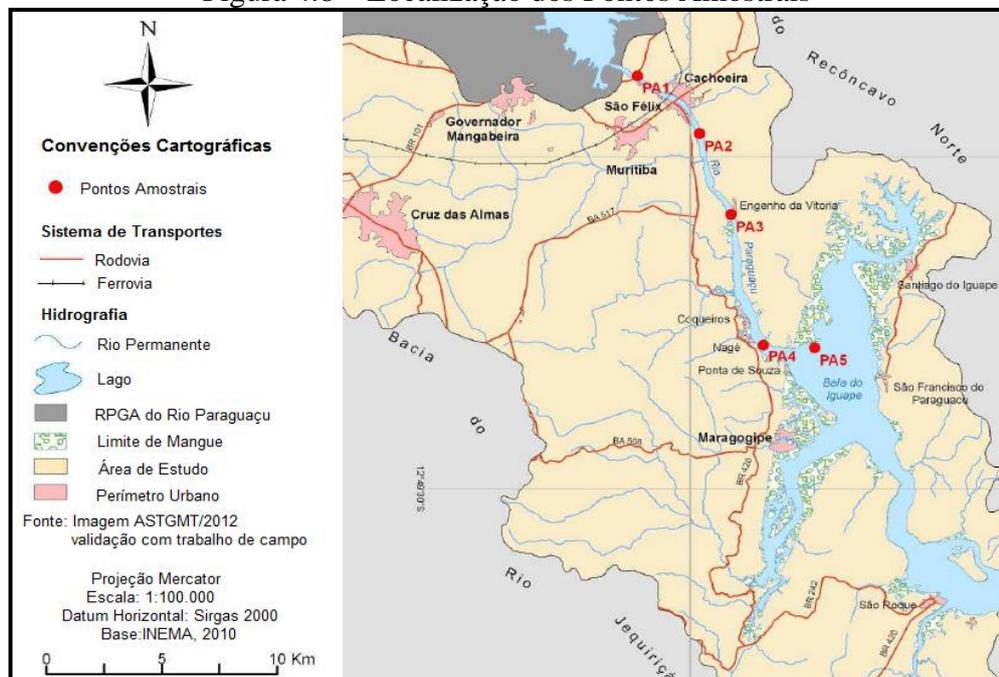
#### 4.2.1.2 Levantamento dos Aspectos Biológicos (Ictiofauna) do Baixo Trecho do rio Paraguaçu

De acordo com Araújo (1998), a utilização da comunidade de peixes como indicadores no monitoramento biológico possui diversas vantagens, entre elas: a facilidade de identificação e informações sobre as espécies e a posição no topo da cadeia alimentar, proporcionando uma visão integrada do ambiente aquático. Assim, optou-se por realizar o estudo das potenciais respostas ecológicas às alterações de fluxo no grupo ictiofauna.

As informações do baixo trecho do rio Paraguaçu foram obtidas através do Volume 3 do “Estudo do Regime de Vazões Ambientais à jusante da UHE de Pedra do Cavalo – Baía do Iguape” (INEMA/UFBA, 2013) que aborda os aspectos biológicos, hidráulicos, hidrológicos e de qualidade das águas, desenvolvido pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Bahia, em parceria com Universidade Federal da Bahia.

Neste estudo, foram realizadas duas campanhas em cinco pontos amostrais distribuídos de jusante para a montante, no ano de 2011, em que foram capturados 1470 exemplares, na primeira, e 1716, na segunda. A Figura 4.8 apresenta a localização dos pontos amostrais das duas campanhas.

Figura 4.8 – Localização dos Pontos Amostrais



Fonte: INEMA/UFBA (2013)

Deste relatório foram obtidas as características: salinidade nos diferentes pontos, porte dos exemplares capturados, espécies nativas e introduzidas, estado de preservação, assim como, os requerimentos exigidos pelas espécies em cada ponto amostral.

A partir dessas informações, foi confeccionado um quadro relacionando os aspectos ecológicos e os requerimentos de vazão para cada ponto amostral, com a finalidade de subsidiar a identificação das características do regime de fluxo alteradas mais perceptíveis para o conjunto das espécies de peixes do baixo trecho.

Para a complementação da caracterização da área de estudo e verificação das características do regime hidrológico na área de estudo, foi realizada uma visita técnica aos pontos amostrais 1,3,4 e 5, como apresentado no Apêndice.

#### 4.2.2 Estudo das Relações Conceituais entre Alterações Hidrológicas e seus Impactos Ecológicos

Para a identificação dessas relações conceituais, foi realizado o levantamento de trabalhos que abordassem os efeitos das alterações humanas nos regimes de fluxo natural, bem como, suas respostas ecológicas.

As informações obtidas na literatura foram sistematizadas em um quadro, relacionando os componentes do escoamento (magnitude, frequência, duração, periodicidade e taxa de variação) e as respostas ecológicas às alterações em cada um dos componentes.

#### 4.2.3 Caracterização das Alterações Hidrológicas

Para o estudo das alterações hidrológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu foi utilizado o software IHA 7.1 (Indicators of Hydrologic Alteration), proposto por Richter *et al.* (1996), o qual, define 33 parâmetros, divididos em 5 grupos, que englobam diferentes características do regime hidrológico relevantes para o ecossistema aquático.

Os parâmetros abordados pelo IHA podem ser observados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3– Parâmetros do software Indicators of Hidrologic Alteration

<b>Grupo</b>	<b>Característica</b>	<b>Parâmetro</b>
1. Magnitude das vazões mensais	Magnitude Distribuição temporal	1 a 12. Vazão média mensal (doze meses)
2. Magnitude e duração de vazões anuais extremas	Magnitude Duração	13. Vazão máxima diária 14. Vazão mínima diária 15. Vazão máxima de 3 dias 16. Vazão mínima de 3 dias 17. Vazão máxima de 7 dias 18. Vazão mínima de 7 dias 19. Vazão máxima de 30 dias 20. Vazão mínima de 30 dias 21. Vazão máxima de 90 dias 22. Vazão mínima de 90 dias 23. Número de dias com vazão nula 24. Vazão mínima de 7 dias dividida pela vazão média anual (escoamento de base)
3. Época das vazões anuais extremas	Época de ocorrência	25. Dia Juliano de cada vazão máxima diária anual 26. Dia Juliano de cada vazão mínima diária anual
4. Frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas	Magnitude Frequência Duração	27. Número de eventos de cheia em cada ano 28. Número de eventos de seca em cada ano 29. Duração média dos eventos de cheia anual 30. Duração média dos eventos de seca anual
5. Taxa/Frequência de mudanças no hidrograma	Frequência da taxa de mudança	31. Média de todas as diferenças positivas de dias consecutivos 32. Média de todas as diferenças negativas de dias consecutivos 33. Número de Reversões

Fonte: Richter (1999)

As análises realizadas pelo software são executadas a partir da inserção dos dados diários de vazão, sendo considerado o ano hidrológico do dia 1 de outubro a 30 de setembro. As variáveis do IHA podem ser calculadas por estatísticas paramétricas (média/desvio padrão) ou não-paramétricas (mediana/percentil), conforme a natureza dos dados.

Na análise dos eventos hidrológicos extremos, os mínimos e máximos de 3, 7, 30 e 90 dias, o cálculo é feito pelas médias móveis para cada período possível que esteja dentro do ano hidrológico, independente do tipo de análise estatística selecionada (THE NATURAL CONSERVACY, 2009).

Segundo *The Natural Conservancy* (2009), o software oferece a possibilidade de realizar um estudo comparativo entre dois períodos, de forma que, permite analisar o sistema hidrológico pré e pós-impacto.

No presente estudo, foi realizada uma comparação espacial, entre as séries históricas das vazões afluentes e defluentes do Complexo de Pedra do Cavalo, de 2006 a 2017, com o intuito de identificar as alterações hidrológicas causadas pela Usina Hidrelétrica no regime de vazões à jusante.

Segundo Pimentel Gomes (1985), coeficientes de variação, dados pela relação média/desvio padrão, acima de 30% são classificados como altos, indicando que a média não possui boa representatividade. No presente trabalho, as séries históricas das vazões afluentes e defluentes apresentaram coeficientes de variação acima de 50%. Logo, para a investigação das alterações hidrológicas no baixo curso do rio Paraguaçu, as análises paramétricas precisaram ser complementadas pelas análises não paramétricas.

Dos cinco grupos de indicadores, foram analisadas as seguintes variáveis: médias mensais (grupo 1), vazões mínimas e máximas de 7 dias (grupo 2), época de ocorrência das vazões anuais extremas (grupo 3), número e duração dos eventos de secas e cheias de cada ano (grupo 4) e o número de reversões (grupo 5). Além disso, o software apresentou gráfico dos componentes do escoamento ecológico e da curva de permanência.

#### 4.2.4 Estudo das Potenciais Respostas Ecológicas às Alterações Hidrológicas no Baixo trecho do Rio Paraguaçu

A partir da caracterização das alterações nos componentes de escoamento fluvial no baixo trecho, foram levantadas quais das repostas ecológicas às alterações hidrológicas contidas no quadro, de acordo com a literatura, são aplicadas para a área de estudo.

Essas informações foram sistematizadas em um diagrama comparativo, contendo as potenciais respostas ecológicas às alterações hidrológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu.

#### 4.2.5 Identificação das Componentes do Escoamento mais Relevantes para a Ictiofauna no baixo trecho do rio Paraguau

Com base no diagrama que relaciona as alterações hidrológicas verificadas no baixo trecho e as suas potenciais respostas ecológicas, foram confeccionados outros dois diagramas. O primeiro, demonstrando os aspectos ecológicos da área de estudo que condiziam com as respostas ecológicas observadas na literatura, e o segundo, apresentando a relação entre os requerimentos de vazão da ictiofauna local e os componentes do regime hidrológico. Sendo possível então, a identificação das características de fluxo alteradas mais perceptíveis pelo conjunto de peixes da área de estudo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Relações Conceituais entre Alterações Hidrológicas e Respostas Ecológicas

As alterações no regime de vazões ocasionam impactos ecológicos nos diferentes grupos do ecossistema. Lafayette *et al.* (2005) no estudo sobre as alterações hidrológicas no rio São Francisco apontam que a redução da magnitude e frequência das vazões máximas afetou o transporte longitudinal do rio, resultando no carreamento apenas de partículas mais leves e o aprisionamento de sedimentos, além disso, as baixas vazões não proporcionaram a conectividade lateral, afetando a formação de lagoas laterais e os importantes processos biológicos como: a desova de espécies de peixes e a procriação de macroinvertebrados bentônicos.

Poff *et al.* (2010) realizaram a revisão de 165 artigos das últimas quatro décadas, com foco nos estudos posteriores à publicação de Poff *et al.* (1997) que abordavam os aspectos ecológicos associados às alterações no regime de vazões. Em ambos os trabalhos, as alterações de fluxo foram caracterizadas em termos de: magnitude, frequência, duração, periodicidade e taxa de mudança, e as respostas ecológicas caracterizadas de acordo à identidade taxonômica (macroinvertebrados, peixes, vegetação ripária) e ao tipo de resposta (abundância, diversidade e parâmetros demográficos).

Entre as respostas ecológicas da vegetação ripária, verificadas na revisão de literatura feita por Poff *et al.* (2010), destacam-se a redução da riqueza das espécies como resposta à

regularização das vazões e a invasão da vegetação em canais, devido à diminuição da frequência de pulsos altos.

De acordo com Poff *et al.*(2010), os peixes são indicadores sensíveis de alteração de fluxo. Sendo assim, no presente trabalho, foram consideradas apenas as respostas ecológicas da ictiofauna. A seguir, observa-se o Quadro 5.1 que relaciona as respostas ecológicas das espécies de peixes às alterações hidrológicas verificadas em diversos estudos científicos.

Quadro 5.1- Relações conceituais entre Alterações Hidrológicas e Respostas Ecológicas.

<b>Componentes do Escoamento</b>	<b>Alteração de fluxo</b>	<b>Respostas Ecológicas do grupo Ictiofauna</b>
MAGNITUDE	Regularização (perda de extremos de alto/baixo escoamento)	Perda de espécies sensíveis <sup>1</sup> ; Redução da diversidade <sup>1</sup> ; Alteração do conjunto e das espécies dominantes <sup>1</sup> ; Redução da abundância <sup>1</sup> ; Aumento de espécies não nativas <sup>1</sup> ; Invasão ou estabelecimento de espécies exóticas, levando a: extinção local, ameaça a espécies comerciais nativas e, comunidades alteradas <sup>2</sup> .
	Aumento da magnitude dos extremos do escoamento	Interrupção do ciclo de vida <sup>1</sup> ; Redução da riqueza de espécies <sup>1</sup> e Alteração nos conjuntos <sup>1</sup> .
	Ausência de inundações durante o ano	Decréscimo do recrutamento nos anos seguintes devido ao acesso limitado dos peixes jovens aos habitats laterais <sup>3</sup> .
FREQUÊNCIA	Decréscimo da frequência dos pulsos.	Reprodução fora de época <sup>1</sup> ; Reprodução reduzida <sup>1</sup> ; Decréscimo de abundância <sup>1</sup> ; Extermínio de peixes nativos <sup>1</sup> ; Decréscimo da riqueza de espécies endêmicas e sensíveis <sup>1</sup> ; Habitat reduzido para peixes jovens <sup>1,3</sup> ; Perturbação dos sinais para desencadear a maturação das gônadas, migração e desova <sup>3</sup> ;
DURAÇÃO	Decréscimo da duração das inundações das planícies de inundação	Decréscimo da abundância de peixes jovens <sup>1</sup> ; e Mudança na comunidade de peixes jovens <sup>1</sup> ;
	Aumento na duração de vazões baixas	Falha no recrutamento e posterior diminuição da quantidade de indivíduos adultos <sup>5</sup>

<b>Componentes do Escoamento</b>	<b>Alteração de fluxo</b>	<b>Respostas Ecológicas do grupo Ictiofauna</b>
PERIODICIDADE	Mudanças na sazonalidade dos picos de fluxo	Decréscimo da reprodução e recrutamento <sup>1</sup> ; Mudança na estrutura do conjunto <sup>1</sup> ; Perturbação dos sinais de desova para peixes <sup>2</sup> ; Ausência de peixes jovens de espécies migratórias nas planícies de inundações (em anos secos) <sup>3</sup> .
	Maior previsibilidade	Mudança na diversidade e estrutura dos agrupamentos <sup>1</sup> ; e Decréscimo de reprodução e recrutamento <sup>1</sup> .
TAXA DE VARIAÇÃO	Variabilidade Reduzida	Perturbação das estratégias reprodutivas <sup>4</sup> ; Alteração na composição dos conjuntos <sup>4</sup>

Fonte: Poff et al (2010)<sup>1</sup>; Poff et al (1997)<sup>2</sup>; Agostinho et al (2008)<sup>3</sup>; Agostinho et al (2004)<sup>4</sup>; Welcomme (1979) apud Agostinho et al (2004)<sup>5</sup>

## 5.2. Aspectos Ecológicos (Ictiofauna) no baixo trecho do rio Paraguaçu

Segundo o Volume 3 do “Estudo do Regime de Vazões Ambientais à jusante da UHE de Pedra do Cavalo – Baía do Iguape” (2013), no Ponto Amostral 1 há a presença de espécies remanescentes do período anterior à construção da barragem (a piranha *Serrassalmus brandtii*, a piaba *Astyanax gr. bimaculatus* e o corró *Geophagus sp.*). Essas espécies não realizam a piracema (sedentárias), dado que, o barramento obstruiu a passagem daquelas que realizam esse fenômeno impossibilitando a reprodução das que precisam subir o rio durante a época reprodutiva. A presença de espécies introduzidas é verificada pela ocorrência de exemplares da *Tilápia sp.* que trata-se de uma espécie que alimenta-se de ovos e larvas causando impactos negativos, caracterizando uma poluição biológica. Outra espécie introduzida verificada foi a pari viva (barrigudinho) *Poecilia vivípara*, por ser altamente resistente às alterações ambientais, sendo capaz de sobreviver em condições de baixa concentração de oxigênio, sendo, inclusive, dominante nas amostragens.

A presença de espécies marinhas no ponto amostral 1, como as tainhas de grande porte, representa uma situação adversa, uma vez que, a localidade possui baixa salinidade, logo, a ocorrência dessa espécie, assim como dos robalos e mirins, que são originalmente de água

salgada e também penetram em água doce, indicam o avanço da cunha salina (INEMA/UFBA, 2013).

Nos pontos amostrais 2 e 3 verificou-se uma alta abundância de espécies associadas ao substrato areno-lamoso, tais como: linguados e mirins, de forma que, altas vazões podem aumentar o assoreamento e prejudicar as populações mais dependentes do substrato (INEMA, 2013).

O ponto amostral 3 foi estabelecido em local com alto nível de preservação ambiental, caracterizando-se pela presença de espécies marinhas/estuarinas, algumas de importância comercial, que utilizam esse ponto como área de criação e desenvolvimento (INEMA/UFBA, 2013).

Nos pontos amostrais 4 e 5 há alta salinidade e presença de exemplares de maior porte, e assim, uma grande quantidade de pescadores, sendo encontradas diversas espécies importantes para a pesca, como: pampos, robalos, xangós, pititingas e tainhas. Embora essas espécies possuam a capacidade de suportar altas variações de salinidade, elas demandam uma determinada altura de coluna d'água para introduzirem-se no estuário (INEMA, 2013).

No ponto amostral 5, local de maior salinidade, destaca-se a presença pontual de espécies de água doce, como a ciperinodontiforme (*Poecilia vivípara*), apontando a importância da manutenção de vazões baixas, uma vez que, a invasão dessa espécie pode afetar as espécies nativas (INEMA/UFBA, 2013). Nessa localidade, há a necessidade de que as vazões não sejam tão altas que causem o arraste dos indivíduos e também não sejam tão baixas que não proporcionem a altura de coluna d'água necessária para a introdução de determinadas espécies no estuário.

Nos pontos amostrais de 2 a 5, o INEMA/UFBA (2013) sugere evitar o lançamento de grandes vazões em períodos chuvosos ou em épocas de marés baixas, com o intuito de evitar o deslocamento dos indivíduos e a alteração das condições de salinidade do habitat. Dessa forma, as espécies dessa região possuem como requerimento hidrológico a manutenção das vazões baixas.

No Quadro 5.2 é apresentada a síntese do diagnóstico da ictiofauna no baixo trecho do rio Paraguaçu, sendo destacados os impactos do Complexo de Pedra do Cavalo nesse grupo, assim como, os requerimentos de vazão destes.

Quadro 5.2 -Diagnóstico da Ictiofauna no baixo trecho do rio Paraguaçu

Pontos Amostrais	Localização	Estado de conservação	Aspectos Ecológicos	Requerimentos Hidrológicos
1	Próximo à Barragem de Pedra do Cavalo, embaixo da ponte da BR101.	São verificados impactos diretos do barramento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baixa Salinidade;</li> <li>▪ Impactos diretos do barramento: Ausência de espécies que realizam piracema; Presença de espécies introduzidas (<i>Tilapia sp.</i>); Presença de espécies resistentes às condições ambientais e Composição de espécies altamente dominada por espécies de água doce ou resistentes à baixa salinidade;</li> <li>▪ Indivíduos de pequeno porte;</li> <li>▪ Espécies representantes da comunidade remanescente do período anterior à construção da barragem;</li> <li>▪ Presença pontual de espécies marinhas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ciclos periódicos de inundação para áreas de várzea a fim de oportunizar uma ocupação gradual das espécies da comunidade remanescente;</li> <li>▪ Manutenção de vazões altas: o avanço da maré, e por conseguinte, da salinidade possibilita que as espécies marinhas atinjam trechos à montante do estuário;</li> </ul>
2	À jusante das cidades de Cachoeira e São Félix	Impactos da aglomeração urbana (lançamento <i>in natura</i> de esgoto, lixo e retirada de água)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Região de Intrusão Salina</li> <li>▪ Alta abundância de espécies associadas ao substrato areno-lamoso (língüados e mirins);</li> <li>▪ Espécies marinhas/estuarinas dependentes do ciclo de maré (salinidade);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção de vazões baixas : o aumento do assoreamento, devido às altas vazões, pode prejudicar populações mais dependentes do substrato areno-lamoso;</li> <li>▪ Manutenção de vazões baixas: a combinação de vazões altas e marés baixas podem arrastar alguns indivíduos para locais à jusante;</li> </ul>

<b>Pontos Amostrais</b>	<b>Localização</b>	<b>Estado de conservação</b>	<b>Aspectos Ecológicos</b>	<b>Requerimentos Hidrológicos</b>
<b>3</b>	À montante do Rio Sinunga, próximo do engenho da Vitória	Bom nível de preservação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Região de Intrusão Salina</li> <li>▪ Presença de espécies marinhas/estuarinas</li> <li>▪ Alta abundância de espécies associadas ao substrato areno-lamoso (linguados e mirins);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção de vazões baixas: o aumento do assoreamento, devido a altas vazões, pode prejudicar populações mais dependentes do substrato areno-lamoso;</li> <li>▪ Manutenção de vazões mais baixas tendo em vista que determinadas espécies comerciais utilizam esse ponto como área de criação e desenvolvimento.</li> </ul>
<b>4</b>	À montante da baía do Iguape e à jusante de Coqueiros e Nagé;	Menor escala de impactos relacionados a aglomerados urbanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possui altos valores de salinidade;</li> <li>▪ Ocorrência de exemplares de maior porte;</li> <li>▪ Presença de espécies importantes para a pesca;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção das vazões baixas: vazões mais altas podem causar mudança na ocorrência das espécies devido à diminuição da salinidade;</li> <li>▪ Manutenção das vazões altas: espécies, que possuem interesse comercial, necessitam de determinada altura de coluna d'água para introduzirem-se no estuário.</li> </ul>
<b>5</b>	Em frente à desembocadura do rio Paraguaçu, próximo à ilhota;	Bom estado de preservação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possui a maior quantidade de salinidade e de exemplares de maior porte;</li> <li>▪ Presença pontual de espécies de água doce, que possuem grande tolerância.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção de vazões baixas: a combinação entre altas vazões e marés mais baixas podem arrastar exemplares para locais mais à jusante;</li> </ul>

Fonte: INEMA/UFBA (2013)

### 5.3. Alterações Hidrológicas no Baixo Trecho do rio Paraguaçu

#### 5.3.1 Regimes de Chuva e Vazão no Baixo Trecho do Rio Paraguaçu

A partir dos dados de precipitação da estação pluviométrica de Porto (código 01241017), localizada na Chapada Diamantina, foram obtidas as precipitações mensais e as médias anuais durante o período de 1964 a 2011 no baixo trecho do rio Paraguaçu, apresentadas nas Figuras 5.1 e 5.2.

Figura 5.1 – Precipitação Média Mensal no Baixo Paraguaçu de 1964 a 2011

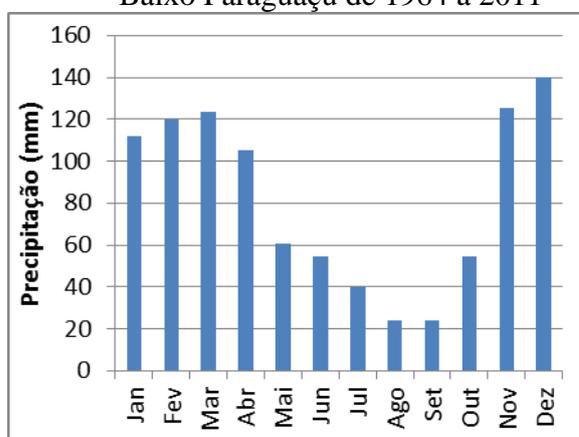
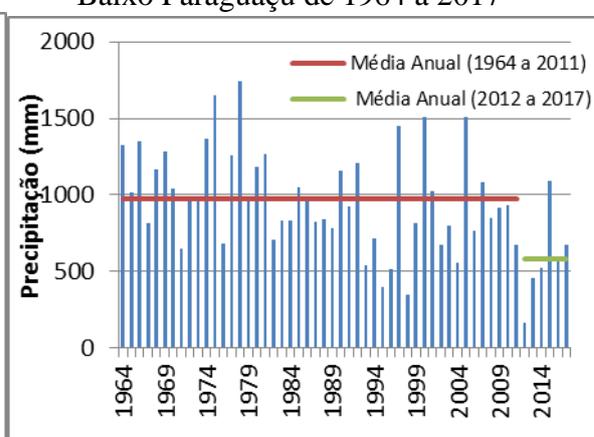


Figura 5.2 - Precipitação Média Anual no Baixo Paraguaçu de 1964 a 2017



Fonte: Dados do Hidroweb (ANA)

Na Figura 5.1 verifica-se que os meses menos chuvosos são entre julho e setembro e a época mais úmida de novembro a abril. Na Figura 5.2 tem-se a precipitação anual desde 1964, observa-se que 2012 foi o ano mais seco da série histórica, com 162,2 mm anuais, seguido dos anos de 1998 e 1995, destaca-se que o ano de 2015 apresentou chuvas muito acima da média do período, com precipitação anual de 1091,5 mm. Embora já tenham sido constatados anos com precipitação muito baixa, a partir de 2012 essa situação é crítica, uma vez que, a precipitação anual média é de 580 mm, enquanto que, de 1964 a 2011, esse valor é cerca de 980 mm.

Nas Figuras 5.3 e 5.4 são apresentados os regimes hidrológicos do baixo trecho do rio Paraguaçu nos períodos: 1964 a 1978 (anterior ao barramento), 1986 a 2004 (impactado apenas pela barragem de Pedra do Cavallo) e de 2006 a 2017 (regime impactado pela operação da usina hidrelétrica) através das vazões médias e também das medianas, a fim de verificar a representatividades destas.

Figura 5.3 -Vazões Médias Mensais no baixo Paraguaçu (1964 a 1978, 1986 a 2004 e de 2006 a 2017)

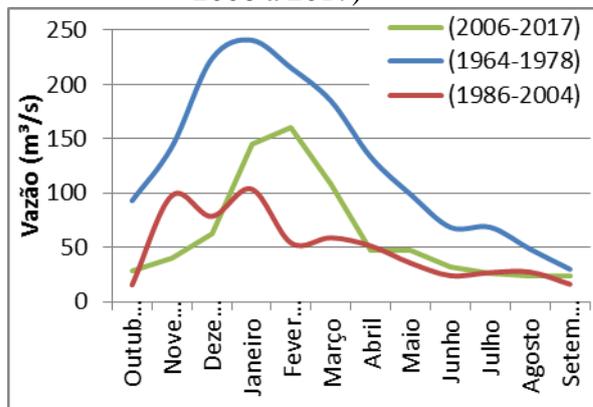
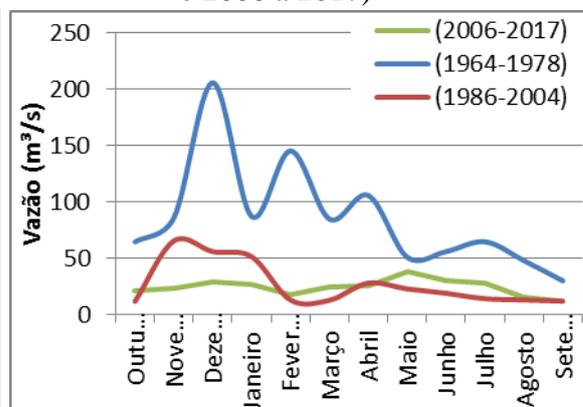


Figura 5.4- Mediana das Vazões Mensais no baixo Paraguaçu (1964 a 1978, 1986 a 2004 e 2006 a 2017)



Fonte: Dados do Hidroweb/Votorantim

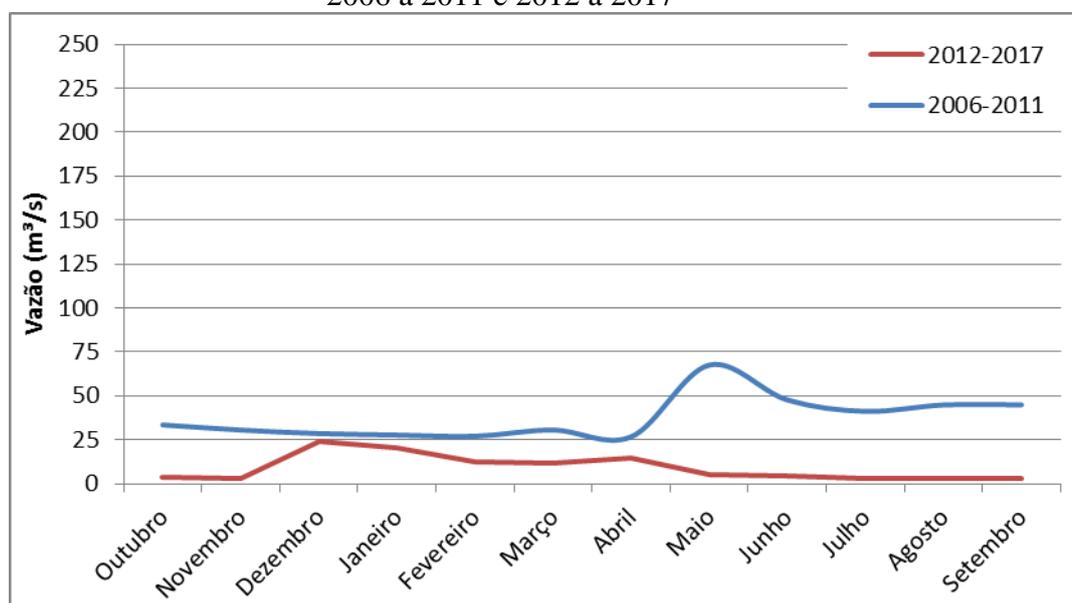
Nas Figuras 5.3 e 5.4 foram utilizados os dados da estação fluviométrica de Pedra do Cavalo (código ANA- 51490000) para o período de 1964 a 2005, e as séries históricas disponibilizadas pela Votorantim, para os dados a partir de 2005. Tem-se que de 1964 a 1978, período que antecede a construção do barramento, as vazões altas ocorrem entre novembro e abril, variando de 130 m<sup>3</sup>/s a 250 m<sup>3</sup>/s, passo que, de maio a outubro predominam-se vazões mais baixas. A partir de 1986, posteriormente a presença do barramento, há uma diminuição da magnitude e da variabilidade das vazões, em que, as vazões mais altas variam de 50 m<sup>3</sup>/s a 110m<sup>3</sup>/s.

No período de 2006 a 2017, constata-se que o hidrograma de vazões médias mensais da Figura 5.3. não possui uma boa representatividade, uma vez que, o ano de 2016 apresentou vazões muito acima daquelas observadas nesse período, conduzindo as médias para valores distantes da tendência central.

Tendo em vista que eventos extremos isolados são característicos de regiões semiáridas e que as vazões nesse trecho resultam da precipitação no Médio Paraguaçu, para a análise desse período, de 2006 a 2017, a mediana das vazões mensais se mostra mais representativa. Na Figura 5.4., tem-se que a partir de 2006, após o início da operação da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo, houve uma diminuição da magnitude das vazões assim como a intensificação da regularização destas, apresentando vazões entre 13m<sup>3</sup>/s e 39 m<sup>3</sup>/s.

Visto que a partir de 2012 houve uma diminuição da precipitação, conforme Figura 5.2, e que a mediana se mostra mais representativa para esse período, a Figura 5.5 apresenta as medianas das vazões mensais no baixo curso do Paraguaçu nos períodos de 2006 a 2011 e 2012 a 2017, ambos após a implantação da Usina Hidrelétrica de Pedra do Cavalo.

Figuras 5.5 - Medianas das Vazões Mensais no Baixo trecho do rio Paraguaçu nos períodos de 2006 a 2011 e 2012 a 2017



Fonte: Dados da Votorantim

Na Figura 5.5 verifica-se a diminuição da magnitude das vazões mensais no período de 2006 a 2017. A partir de 2012, a magnitude das vazões mensais são ainda menores, apresentando uma variabilidade de 3 m³/s a 25m³/s.

### 5.3.2 Indicadores de Alteração Hidrológica no Baixo Trecho do rio Paraguaçu

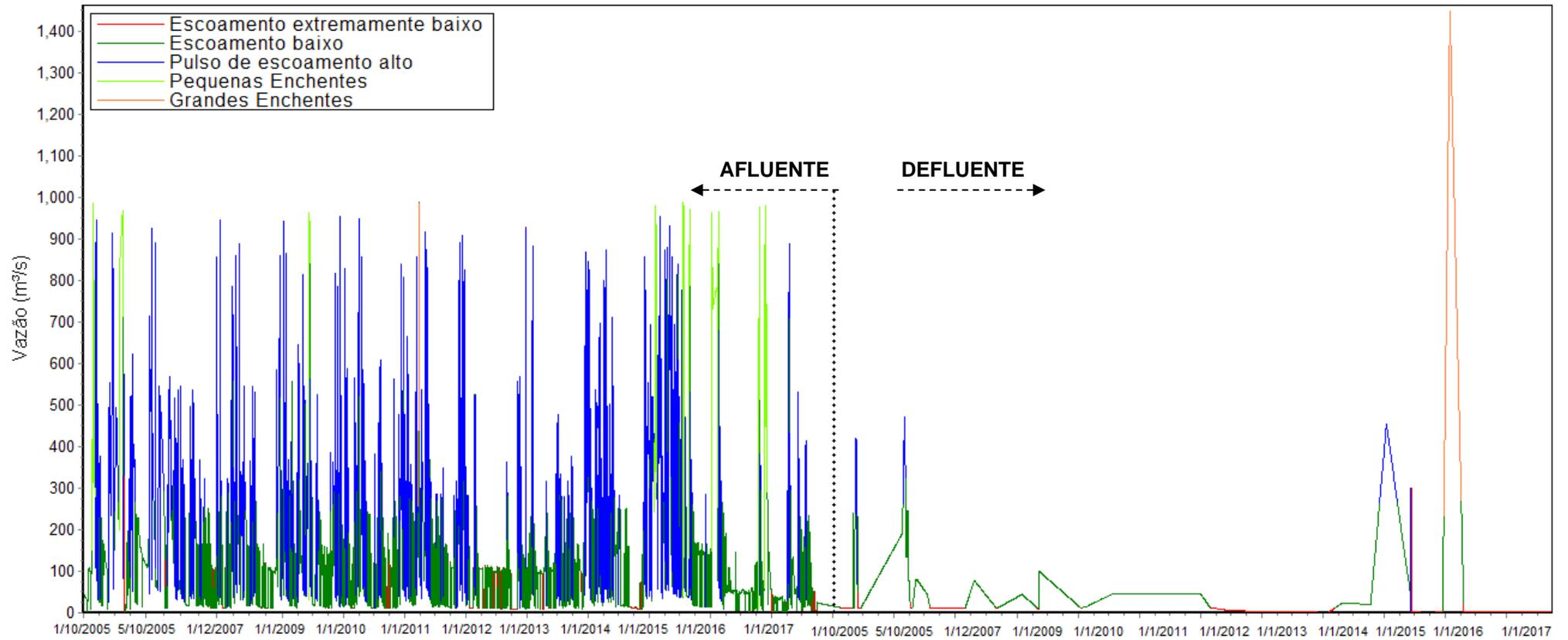
- Componentes do Escoamento Ecológico

De acordo com The Natural Conservancy (2009), o IHA calcula parâmetros para cinco tipos diferentes de componentes de vazão ecológica, fundamentados na observação de ecologistas de que essas condições de fluxo devem ser mantidas para a garantia da integridade do ecossistema. No gráfico, esses componentes são representados por cores distintas, são eles: escoamento extremamente baixo (vermelho), escoamento baixo (verde escuro), pulso de escoamento alto (azul), pequenas enchentes (verde claro) e grandes enchentes (laranja). Para a determinação desses componentes, na referida análise, o software definiu as seguintes considerações: a) As vazões altas são aquelas superiores a 75% das vazões diárias do período, sendo consideradas vazões baixas àquelas inferiores a essa porcentagem; b) As pequenas inundações são definidas como a vazão alta inicial com pico maior que um evento de período de retorno de 2 anos; c) As grandes inundações são definidas como a vazão alta inicial com

pico maior que um evento de período de retorno de 10 anos; e d) Uma vazão extremamente baixa é definida como uma vazão inicial baixa inferior a 10% das vazões diárias do período.

A Figura 5.6 traz os componentes do escoamento ecológico para as vazões afluentes e defluentes à Usina Hidrelétrica Pedra do Cavalo, entre os anos hidrológicos de 2006 e 2017.

Figura 5.6 – Componentes do Escoamento Ecológico das Vazões Afluentes e Defluentes à UHEPC (2006 a 2017)



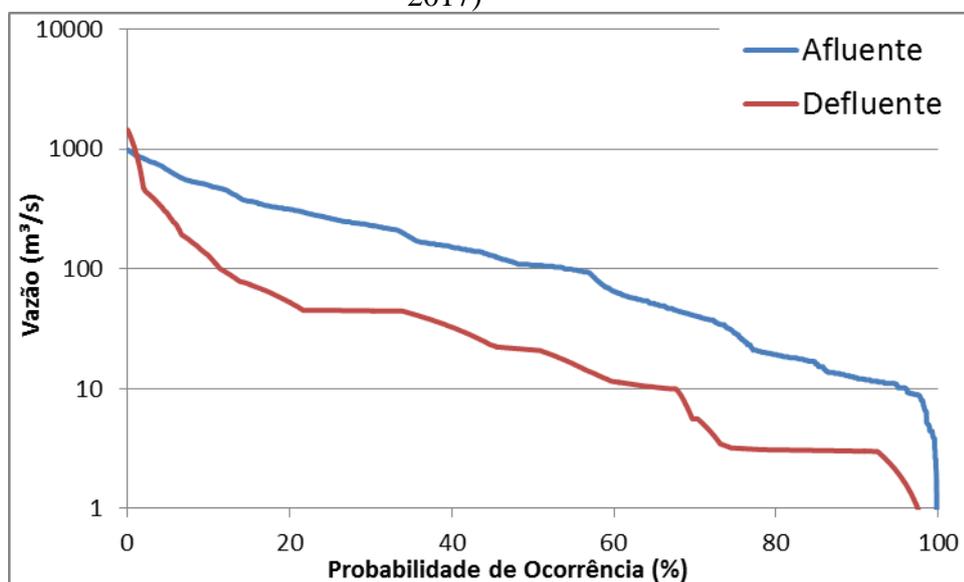
Fonte: Dados da Votorantim

Na Figura 5.6 verifica-se que nas vazões afluentes ao empreendimento hidráulico têm-se numerosos pulsos altos, baixas vazões e pequenas enchentes. Nas vazões defluentes, observa-se uma extrema atenuação da variabilidade, com predominância de vazões baixas e extremamente baixas e ausência de pequenas enchentes. Destaca-se ainda, há ocorrência de uma grande enchente no início do ano de 2016 com magnitude de 1400 m<sup>3</sup>/s, sendo que, de acordo com Medeiros *et al.* (2015), o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) define que a vazão máxima defluente é de 1500 m<sup>3</sup>/s, dado que, acima desse valor há risco iminente de inundação das cidades localizadas imediatamente à jusante da barragem. Logo, é verificado que os pulsos altos que ocorriam com frequência à montante do barramento foram “acumulados” no reservatório e liberados à jusante de forma concentrada, provocando um evento de grande enchente.

- Curvas de Permanência

Na Figura 5.7 são demonstradas as curvas de permanência das vazões afluentes e defluentes à Barragem de Pedra do Cavalo, no período de 2006 a 2017.

Figura 5.7 – Curvas de Permanência das Vazões Afluentes e Defluentes à UHEPC (2006 a 2017)



Fonte: Dados da Votorantim

A curva de permanência, Figura 5.7, indica uma diminuição da magnitude e variabilidade das vazões no trecho à jusante, dado que, curvas mais horizontais representam um escoamento mais regularizado.

No estudo das alterações hidrológicas, foram analisados os cinco grupos definidos por Richter (1996): magnitude das vazões mensais, magnitude e duração de vazões anuais extremas, época das vazões anuais extremas, frequência e duração dos pulsos de vazões altas e baixas e taxa de mudanças no hidrograma.

### 5.3.2.1 Magnitude das Vazões Mensais

A magnitude das vazões é a característica do escoamento determinante para o habitat, define a forma do canal e influencia na distribuição e abundância dos organismos aquáticos. As vazões médias mensais e os desvios padrão à montante e à jusante da UHE Pedra do Cavalo, entre 2006 e 2017, são observadas nas Figuras 5.8 e 5.9.

Figura 5.8- Vazões médias mensais e desvio padrão das vazões afluentes à UHEPC (2006 a 2017)

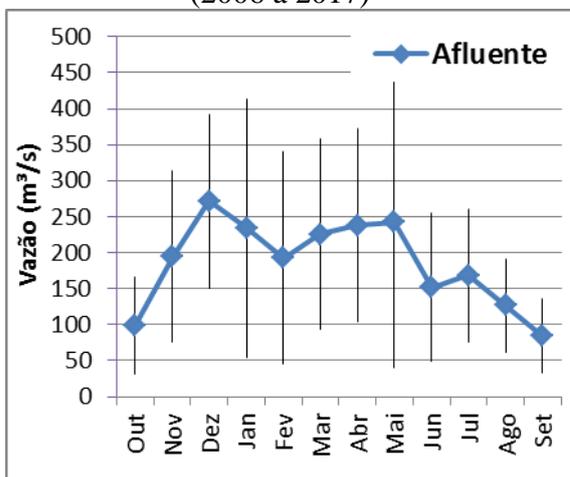
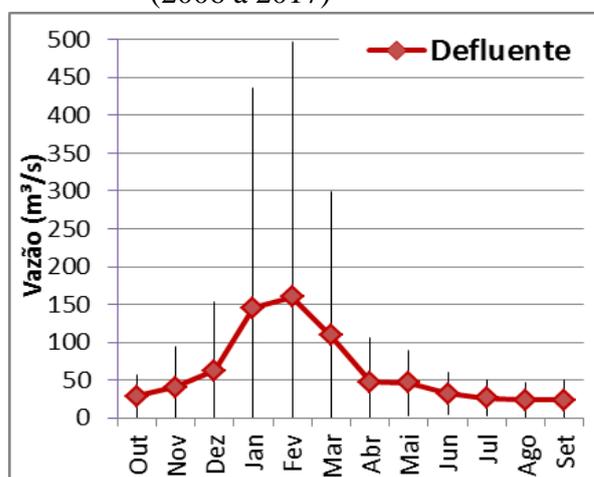


Figura 5.9- Vazões médias mensais e desvio padrão das vazões defluentes à UHEPC (2006 a 2017)



Fonte: Dados da Votorantim

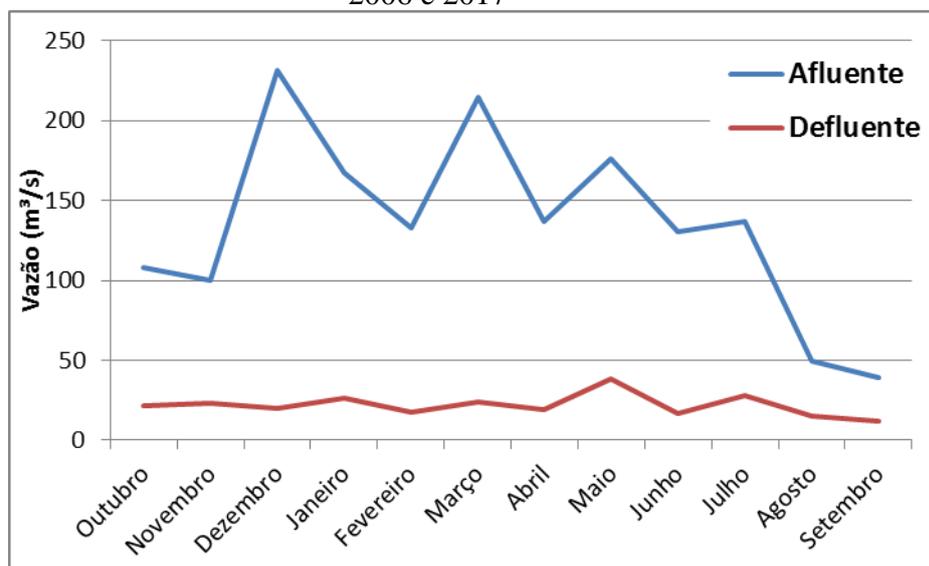
Nas Figuras 5.8 e 5.9 têm-se as médias mensais das vazões afluentes e defluentes ao barramento. Verifica-se uma grande variabilidade no trecho à montante, uma vez que, esse é menos antropizado. Nas vazões defluentes constata-se que as médias mensais são

representativas apenas nos meses mais secos, no período mais úmido, sobretudo os meses de janeiro, fevereiro e março, há um desvio padrão elevado.

Em ambos os trechos, as vazões apresentaram o coeficiente de variação superior a 50%, indicando uma alta dispersão dos dados, de forma que, a mediana é mais apropriada para representar essas series históricas.

As medianas das vazões mensais à montante e à jusante da Barragem de Pedra do Cavalo no período de 2006 a 2017 são observadas na Figura 5.10.

Figura 5.10- Mediana das Vazões Mensais Afluentes e Defluentes à UHEPC, entre 2006 e 2017



Fonte: Dados da Votorantim

Na Figura 5.10 nota-se que a vazão defluente é inferior à afluente em todos os meses do ano, sendo que, a mediana das vazões mensais à montante do barramento são cerca de 7 vezes maior que as do trecho à jusante. Além disso, enquanto as vazões mensais afluentes variam de 40 a 215 m³/s, as vazões à jusante, possuem uma maior regularização, inseridas em um intervalo de 12 a 40 m³/s.

### 5.3.2.2 Magnitude e Duração de Vazões Anuais Extremas

As vazões mínima e máxima de 7 dias de cada ano são as médias dos menores/menores valores de 7 dias corridos anuais. Esse grupo aponta situações de estresse e

perturbações no ano, podendo, também, funcionar como gatilhos para a reprodução das espécies. As vazões mínimas e máximas de 7 dias das vazões afluentes e defluentes à barragem no período de 2006 a 2017 são demonstradas nas Figura 5.11. e 5.12., respectivamente.

Figura 5.11 - Vazões Mínimas de 7 dias nas vazões afluentes e defluentes à UHEPC entre 2006 e 2017

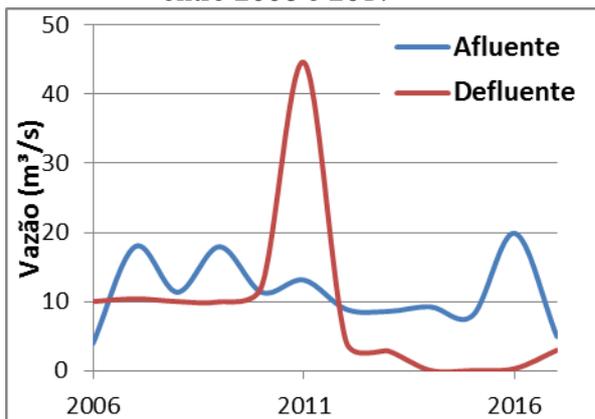
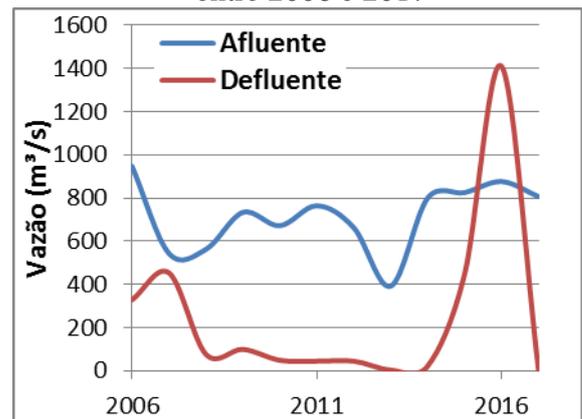


Figura 5.12 – Vazões máximas de 7 dias nas vazões afluentes e defluentes à UHEPC entre 2006 e 2017



Fonte: Dados da Votorantim

A figura 5.11 apresenta as vazões mínimas de 7 dias afluentes ao Complexo de Pedra do Cavalo, elas variam de  $4\text{m}^3/\text{s}$  a  $20\text{m}^3/\text{s}$ , enquanto que, as vazões defluentes permanecem em torno de  $10\text{m}^3/\text{s}$  até o ano de 2010, já em 2011, as vazões atingem aproximadamente  $45\text{m}^3/\text{s}$ , o maior valor da série histórica. A partir de 2011, há uma diminuição das vazões afluente e defluente, as quais permanecem inferiores a  $10\text{m}^3/\text{s}$  e  $5\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente, com exceção do ano de 2016 que apresenta uma vazão mínima afluente de 7 dias de  $19\text{m}^3/\text{s}$ .

Nas vazões máximas de 7 dias, Figura 5.12, observa-se uma redução no trecho à jusante, dado que, à montante do reservatório, há uma variação de  $400\text{m}^3/\text{s}$  a  $1000\text{m}^3/\text{s}$ , e após o barramento, com exceção de 2016, as vazões são inferiores a  $500\text{m}^3/\text{s}$ . Em ambos os gráficos, vazões mínimas e máximas de 7 dias, verifica-se a diminuição da magnitude das vazões no trecho à jusante assim como a intensa regularização.

### 5.3.2.3 Época das Vazões Anuais Extremas

No Quadro 5.3 observa-se a época de ocorrência de vazões extremas à montante e à jusante do barramento, entre 2006 e 2017.

Quadro 5.3 - Época das Vazões Anuais Extremas Afluente e Defluente à UHEPC

	<b>Vazão Mínima</b>		<b>Vazão Máxima</b>	
	<b>Afluente</b>	<b>Defluente</b>	<b>Afluente</b>	<b>Defluente</b>
<b>2006</b>	Junho	Março	Dezembro	Maio
<b>2007</b>	Fevereiro	Abril	Novembro	Março
<b>2008</b>	Novembro	Novembro	Dezembro	Abril
<b>2009</b>	Outubro	Maio	Junho	Maio
<b>2010</b>	Junho	Janeiro	Dezembro	Outubro
<b>2011</b>	Outubro	Outubro	Março	Julho
<b>2012</b>	Setembro	Outubro	Dezembro	Outubro
<b>2013</b>	Novembro	Outubro	Dezembro	Outubro
<b>2014</b>	Novembro	Fevereiro	Abril	Abril
<b>2015</b>	Novembro	Setembro	Julho	Janeiro
<b>2016</b>	Agosto	Outubro	Fevereiro	Janeiro
<b>2017</b>	Abril	Setembro	Novembro	Agosto

Fonte: Dados da Votorantim

A periodicidade de eventos extremos é obtido a partir do dia juliano de cada vazão máxima e mínima. No Quadro 5.3 tem-se que, no trecho à montante, as vazões mínimas, acontecem, principalmente, nos meses de outubro e novembro, já à jusante, esses eventos tendem a acontecer nos meses de setembro e outubro, não havendo, portanto, uma alteração significativa na periodicidade dos eventos de seca.

Em relação às vazões máximas, acontecem principalmente nos meses de novembro e dezembro na vazão afluente ao barramento, ao passo que, no trecho impactado pelo empreendimento, não há um padrão de ocorrência desses eventos extremos, sendo verificados principalmente nos meses de outubro, janeiro e maio.

A periodicidade de ocorrência dos eventos extremos, cheias e secas, é determinante na composição dos ecossistemas, sincronizando os processos hidrológicos e ecológicos.

### 5.3.2.4 Frequência e Duração dos Pulsos de Vazões Altas e Baixas

A frequência e a duração dos eventos extremos representam características de grande importância para a conectividade lateral e os processos reprodutivos. Nas Figuras 5.13 e 5.14 têm-se o número e a duração (dias) de eventos de seca e cheia anuais à montante e à jusante do barramento, entre 2006 e 2017.

Figura 5.13 – Número de pulsos baixos nas vazões afluentes e defluentes à UHEPC, entre 2006 e 2017

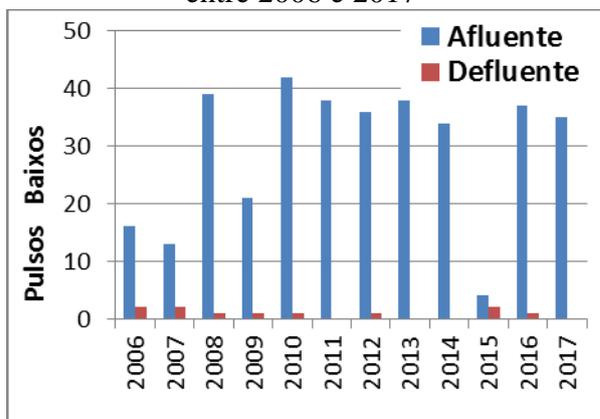
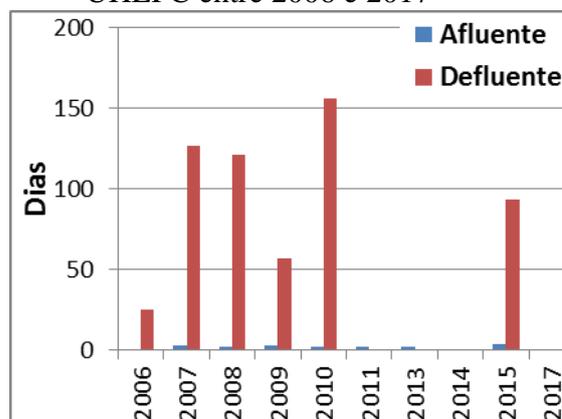


Figura 5.14 – Duração (em dias) dos pulsos baixos nas vazões afluentes e defluentes à UHEPC entre 2006 e 2017



Fonte: Dados da Votorantim

Figura 5.15 – Número de pulsos altos nas vazões afluente e defluente à UHEPC, entre 2006 e 2017

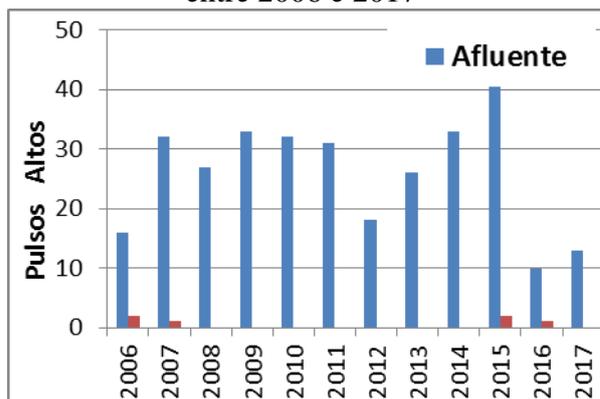
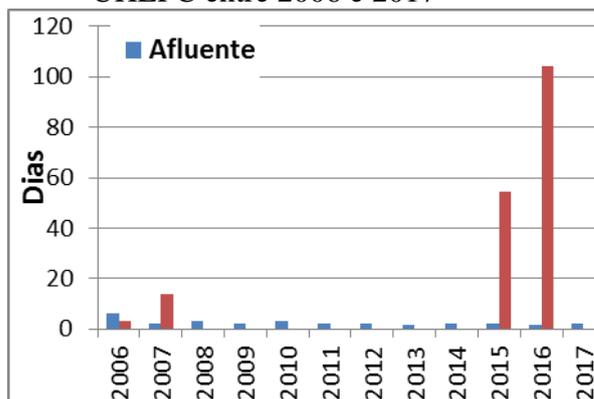


Figura 5.16 – Duração (em dias) dos pulsos altos nas vazões afluente e defluente à UHEPC entre 2006 e 2017



Fonte: Dados da Votorantim

O IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*) definiu que vazões inferiores a 29,22 m<sup>3</sup>/s são consideradas pulsos baixos. Na Figura 5.13 tem-se uma diminuição no número de eventos

de seca, na vazão afluente, a quantidade de pulsos baixos varia de 4 a 42 pulsos por ano. Já na vazão defluente, tem-se cerca de 1 pulso por ano, sendo que, nos anos de 2011, 2013, 2014 e 2017 não houveram a ocorrência desses eventos.

Através dos resultados expostos nas Figuras 5.13 e 5.14 tem-se que os pulsos baixos passaram a ocorrer com uma frequência menor, no entanto, houve o aumento da duração destes, passando de uma mediana de dois dias para uma faixa de 25 a 156 dias por ano.

Os anos de 2012 e 2016 foram desconsiderados na análise, uma vez que, o software calculou que a duração dos pulsos baixos foi superior a 365 dias, um resultado incoerente com o que foi observado nos outros parâmetros.

Os pulsos altos são definidos pelo software IHA como as vazões superiores a 265,2 m<sup>3</sup>/s. Assim, como observado em relação aos eventos de seca, há uma diminuição dos eventos de cheia. Nas vazão afluente, o número de pulsos variam de 10 a 46 pulsos por ano, já à jusante da Usina Hidrelétrica, apenas os anos de 2006, 2007, 2015 e 2016 registraram a ocorrência de pulsos altos, com no máximo 2 pulsos por ano.

Os eventos de cheia, como visto na Figura 5.16, passaram a possuir uma duração maior que no trecho à montante, onde ocorriam com cerca de 2 dias de duração. Com exceção de 2006, onde houve uma diminuição de 7 para 3 dias. A duração dos pulsos altos nos anos de 2007, 2015 e 2016 são 14, 55 e 104 dias, respectivamente, no trecho à jusante..

### 5.3.2.5 Taxa de Mudanças no Hidrograma

O Quadro 5.4 retrata a taxa de mudança dos regimes afluente e defluente à Barragem de Pedra do Cavalo, entre 2006 e 2017, esse componente do escoamento fluvial influencia nos processos reprodutivos, funcionando como gatilho para a desova em algumas espécies.

Quadro 5.4 - Taxa de Mudanças no Hidrograma

	<b>Afluente</b>	<b>Defluente</b>
<b>Taxa de Subida (m<sup>3</sup>/s/dia)</b>	95.01	0.1837
<b>Taxa de Descida (m<sup>3</sup>/s/dia)</b>	-13.36	-0.08024
<b>Número de Reversões</b>	145.5	2.5

Fonte: Dados da Votorantim

A taxa de subida e descida é dada pela mediana de todas as diferenças positivas/negativas de dias consecutivos. No Quadro 5.4 tem-se uma diminuição da taxa de subida, de 95 para 0.18, e da taxa de descida, evidenciando novamente, a diminuição da frequência de pulsos altos e baixos.

A queda no número de reversões, alterando de 145,5 reversões por ano para 2,5, indica a intensa regularização das vazões.

#### **5.4 Alterações Hidrológicas e Potenciais Respostas Ecológicas no Baixo trecho do rio Paraguaçu**

A caracterização das alterações hidrológicas no baixo curso do rio Paraguaçu, através do software IHA, juntamente com o Quadro 5.1, que apresenta as relações conceituais entre as alterações hidrológicas e as respostas ecológicas verificadas na literatura, permitiram mapear as potenciais respostas ecológicas da ictiofauna às alterações no regime de vazões da área de estudo.

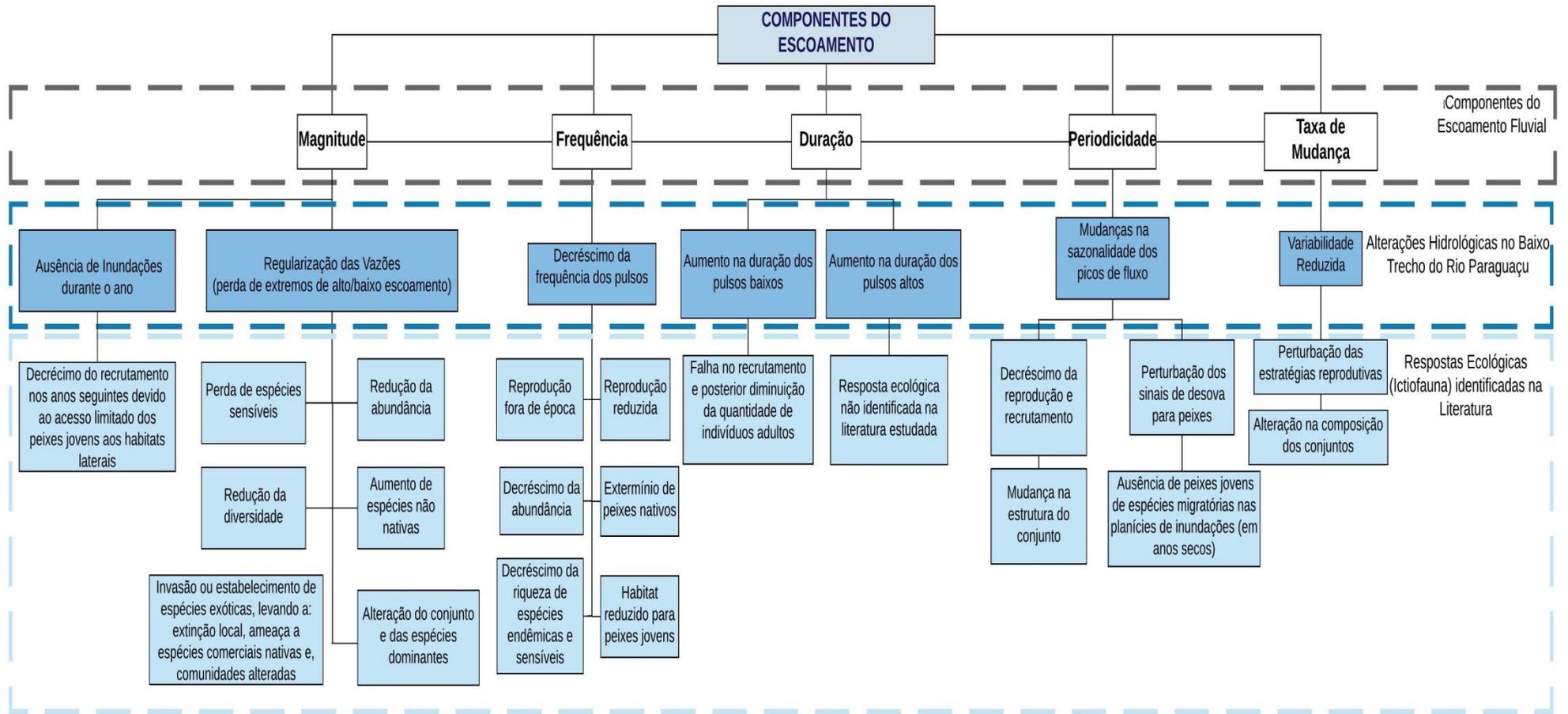
No Quadro 5.1, no que se refere ao grupo magnitude, são apresentadas três possíveis alterações hidrológicas, no baixo trecho é observada uma intensa regularização das vazões, verificada pela mediana das vazões mensais, pelas vazões máximas e mínimas de 7 dias e através das curvas de permanência, outra alteração na magnitude das vazões é a ausência das inundações, verificada nos componentes de escoamento ecológico. Em relação à frequência, tem-se a diminuição do número de eventos extremos anuais, tanto de pulsos baixos quanto de pulsos altos.

No grupo duração, há um aumento nos eventos de cheia e de seca, no entanto, no Quadro 5.1 apenas o aumento da duração dos pulsos baixos é contemplado. No que diz respeito à época de ocorrência das vazões anuais extremas, o software IHA apontou que para as vazões baixas não houve uma alteração, contudo, não é observada uma periodicidade em relação às vazões altas, que passam a ocorrer em diferentes meses do ano no trecho impactado pela Usina Hidrelétrica.

A redução da variabilidade das vazões é indicada pela taxa de mudança, sendo observada também nas vazões médias mensais e nos componentes do escoamento ecológico.

Na Figura 5.17 têm-se as alterações hidrológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu e as potenciais respostas ecológicas (ictiofauna).

Figura 5.17 - Alterações Hidrológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu e suas Potenciais Respostas Ecológicas (Ictiofauna)



Fonte: Próprio Autor (2018)

## **5.5 Características do Escoamento Fluviais mais Perceptíveis pela Ictiofauna Local, de acordo às Alterações no Regime de Vazões do baixo trecho do rio Paraguaçu**

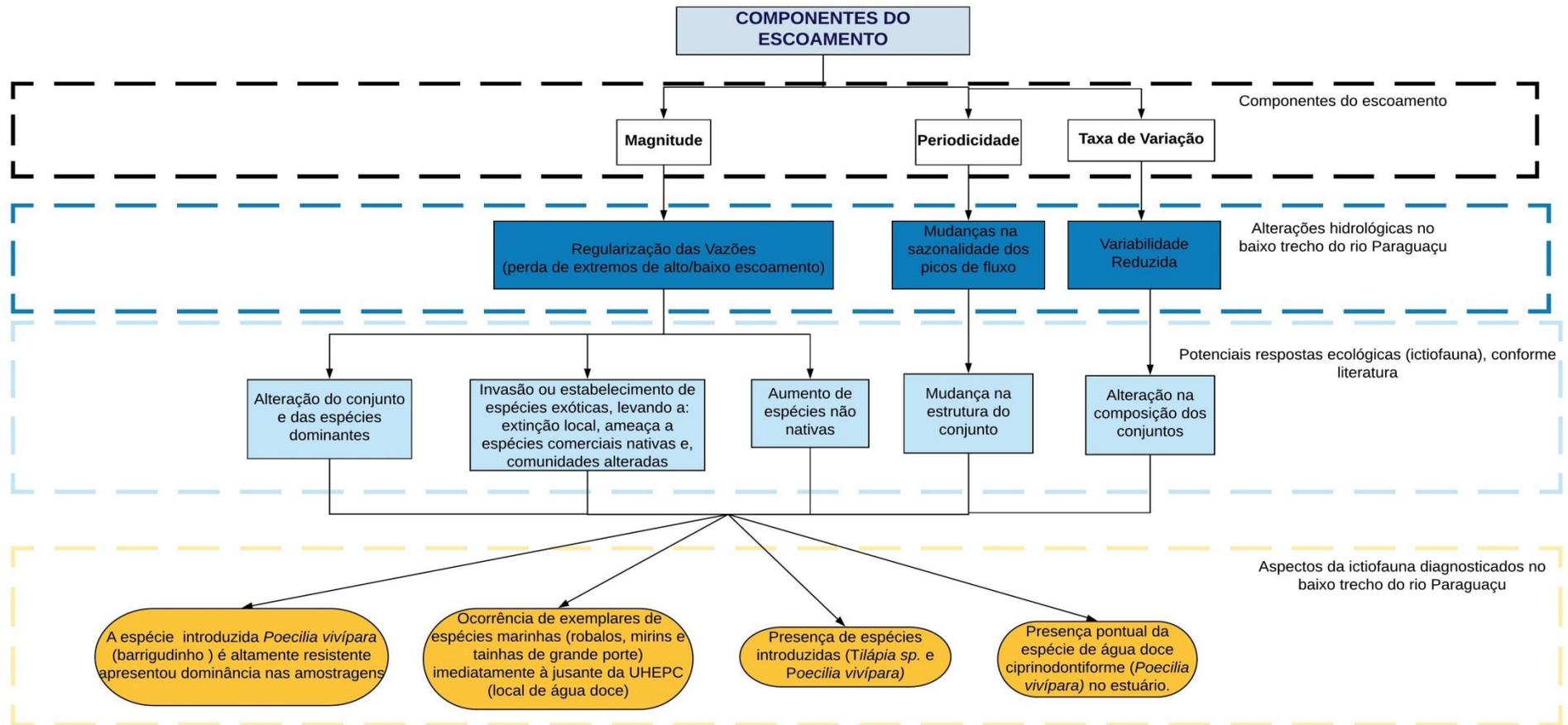
O diagrama da Figura 5.18 apresenta a relação entre as alterações hidrológicas verificadas pelo software IHA, as potenciais respostas da ictiofauna, de acordo com a literatura (Figura 5.17) e os aspectos ecológicos diagnosticados no estudo realizado pelo INEMA/UFBA (2013), conforme apresentado no Quadro 5.2.

Das condições da ictiofauna apresentadas no Quadro 5.2, destaca-se a presença de espécies introduzidas, entre elas, a *Tilapia sp.*, que configura-se como poluição biológica, se alimentando de ovos e larvas de outras espécies, e a pari viva (barrigudinho) que apresentou uma dominância na amostragem. Conforme a Figura 5.17, o estabelecimento de espécies exóticas e a dominância destas sob as nativas, são condições ligadas à regularização das vazões. Além dessas, a alteração dos conjuntos de espécies é vista como uma reposta ecológica tanto à magnitude (regularização), quanto às mudanças na sazonalidade dos eventos de cheia e seca (periodicidade) e na taxa de variação.

Tendo em vista que a parte baixa da bacia do Paraguaçu trata-se de uma área de grande influência das marés, são observadas presenças pontuais de espécies de água doce em locais próximos ao estuário e de espécies marinhas nas imediações da barragem Pedra do Cavalo, essas situações relacionam-se intimamente com a operação das vazões da UHEPC, sobretudo em relação à magnitude dessas.

A seguir, na Figura 5.18, tem-se os aspectos da ictiofauna local associados às alterações hidrológicas e potenciais respostas ecológicas no baixo trecho do rio Paraguaçu.

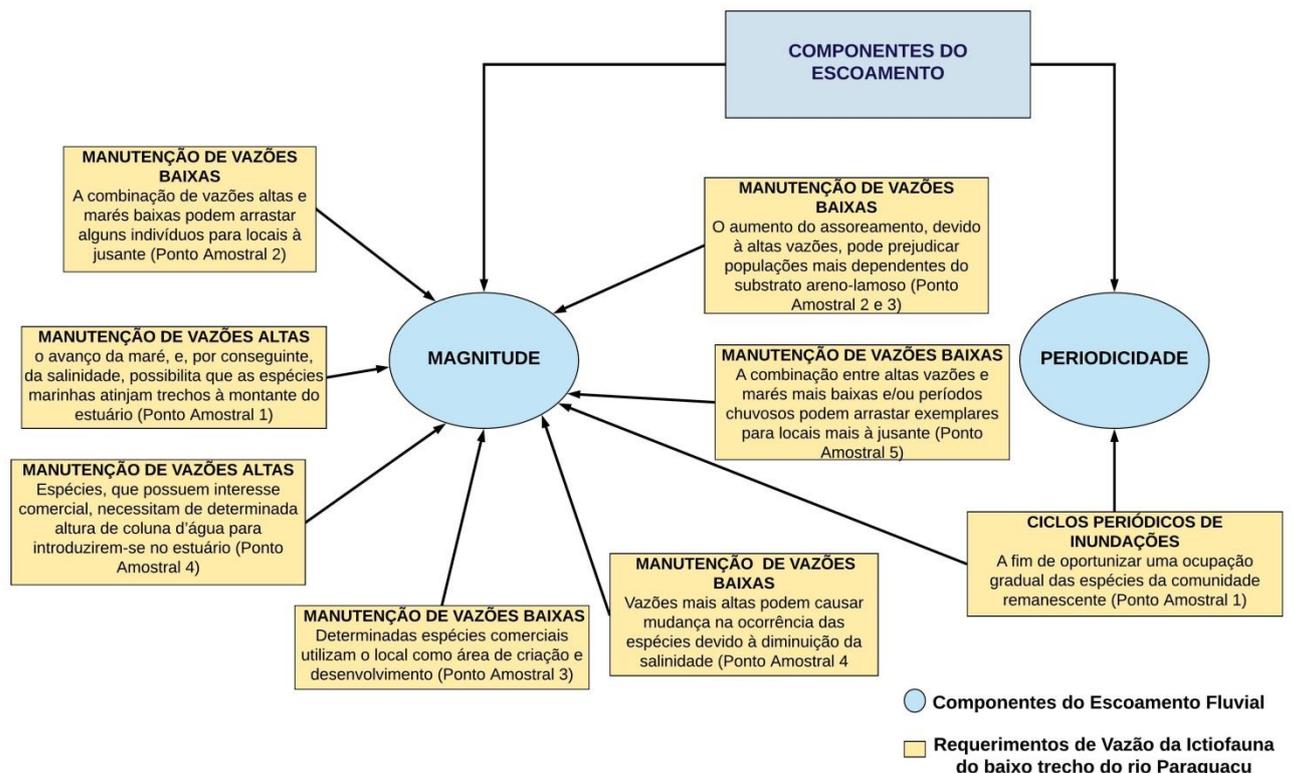
Figura 5.18 – Relação entre as Alterações Hidrológicas e os Aspectos da Ictiofauna no Baixo Trecho do Rio Paraguaçu



Fonte: Próprio Autor (2018)

O diagnóstico da Ictiofauna (Quadro 5.2) aponta ainda, os requerimentos de vazão exigidos pelo ecossistema. Por se tratar de um trecho influenciado por dois fluxos contrários, água doce do rio Paraguaçu e fluxo da maré vindo do oceano, a área de estudo possui características diferentes no decorrer do curso, e conseqüentemente, demandas distintas entre si. Na Figura 5.19 têm-se os requerimentos de vazão da ictiofauna da área de estudo e os componentes do escoamento.

Figura 5.19 – Requerimentos de Vazão e Componentes do Escoamento no Baixo trecho do rio Paraguaçu



Fonte: Próprio Autor (2018)

Na região imediatamente à montante do barramento, representado pelo Ponto Amostral 1, onde são verificados os impactos diretos do empreendimento, foi observada uma comunidade remanescente do período anterior à construção da barragem, essas espécies são dependentes dos períodos de cheia para que as lagoas marginais sejam inundadas e assim os indivíduos jovens permaneçam nas fases iniciais do ciclo de vida (INEMA/UFBA, 2013),

sendo portanto, evidenciado a relevância da periodicidade das inundações para a integridade do ecossistema local.

Além disso, apesar do sub-trecho possuir uma baixa salinidade, foram registradas presenças pontuais de espécies marinhas, havendo assim, a necessidade de manutenção da magnitude das vazões altas, tendo em vista que, vazões muito baixas proporcionam o avanço da maré, e assim, o aumento da salinidade do local, oportunizando o estabelecimento de espécies de água salgada em locais à montante do estuário.

Nos locais onde há presença de intrusão salina, pontos amostrais 2 e 3, e de forma mais forte, nos pontos 4 e 5, é requerido um controle da magnitude das vazões altas, ou seja, que na operação da Usina Hidrelétrica não sejam liberadas grandes vazões em períodos chuvosos ou de maré baixa, a fim de evitar que a força da água arraste indivíduos para locais à jusante, assim como, provocar o carreamento de substrato, que afetaria populações dependentes dos sedimentos, e a diminuição da salinidade, prejudicando as espécies sensíveis à essa condição.

À montante da Baía do Iguape (Ponto Amostral 4) foram encontrados uma grande quantidade de exemplares de grande porte e de importância comercial. Essas espécies demandam certa altura de coluna d'água para introduzirem-se no estuário.

Assim, de forma geral, a magnitude se mostra como o componente do escoamento fluvial mais evidente para atender às demandas da ictiofauna no baixo curso do rio Paraguaçu, seja para manter as condições do habitat (quanto à salinidade e o substrato), seja para evitar o arraste de indivíduos para locais à montante ou à jusante. Sendo evidenciada, a importância do atendimento ao hidrograma ambiental proposto, uma vez que, não se trata de redução ou aumento da magnitude das vazões como um todo, mas sim, da manutenção da variabilidade destas em épocas específicas para o atendimento às diferentes necessidades no decorrer do baixo trecho.

A periodicidade dos eventos extremos destaca-se tanto na relação entre as potenciais respostas ecológicas e os aspectos diagnosticados da ictiofauna na área de estudo, quanto no requerimento de vazão da localidade mais afetada pelo barramento.

Durante a visita técnica realizada no baixo trecho foi evidenciada a importância da periodicidade, uma vez que, segundo pescador da região, as cheias ocorriam entre dezembro e fevereiro no período que antecede à construção da barragem, proporcionando condições para as espécies de água doce e salgada.

Em relação ao componente magnitude, foi relatado a predominância de vazões baixas nos últimos anos, acarretado em uma maior salinidade nos pontos mais à montante do estuário, de forma que, espécies de água doce, como tucunaré e tabaqui, estão mais escassos. Em relação às vazões altas, foi destacado que na ocorrência desses eventos, são encontradas espécies de água doce próximo ao estuário e que a diminuição da salinidade afeta a pesca nos trechos mais à jusante.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo apresentou a caracterização do regime de vazões e chuvas para o baixo trecho do rio Paraguaçu. Em relação à precipitação, o período mais úmido é de novembro a abril e o período menos chuvoso entre julho e setembro, sendo verificado que a partir do ano de 2012 houve uma diminuição das médias anuais, de 980 mm para 580 mm. Em relação ao regime de vazões foram observados três períodos com diferentes características: de 1964 a 1978, anterior à implantação da Barragem de Pedra do Cavalo e portanto mais naturalizado, 1986 a 2004, após o barramento, e , 2006 a 2017, posterior a implantação da Usina Hidrelétrica.

Foi verificada a regularização das vazões no baixo trecho do rio Paraguaçu após a implantação da Barragem de Pedra do Cavalo em 1978, com uma intensificação a partir da operação da usina hidrelétrica em 2005, com a redução das vazões afluentes devido à escassez hídrica configurada nos últimos anos na região. Diversos atores apontaram como respostas da ictiofauna a essa alteração: a perda de espécies sensíveis, invasão de espécies exóticas, aumento de espécies não nativas e alteração do conjunto e das espécies dominantes. De fato, no diagnóstico da ictiofauna local foram verificados: a presença de espécies introduzidas (*Tilapia sp* e *Poecilia vivípara*), presença de espécies de água doce (*Poecilia vivípara*) no estuário e de espécies marinhas (robalos e mirins) nos locais mais próximos ao barramento e a dominância da espécie introduzida *Poecilia vivípara*.

A diminuição da variabilidade foi observada nos componentes do escoamento ecológico, em que, na vazão afluente têm-se numerosos pulsos altos, baixas vazões e pequenas enchentes, enquanto que, no trecho à jusante, há a predominância de vazões baixas, extremamente baixas e ausência de pequenas enchentes. A literatura aponta como resposta à

ausência de inundações, a limitação do acesso dos peixes jovens aos habitats laterais, acarretando numa diminuição do recrutamento.

Em relação a duração e frequência dos eventos extremos de seca e cheia, foi verificada uma diminuição na ocorrência anual e um aumento da duração desses pulsos. O número de pulsos altos no trecho à montante variam de 10 a 46 no ano com duração de cerca de 2 dias, já no trecho à jusante, foram observados a ocorrência desse eventos apenas em 2007, 2015 e 2016, com duração de 14, 55 e 104 dias, respectivamente. Em relação aos pulsos baixos, embora tenham ocorrido em menos frequência no trecho à jusante, passaram a ter uma duração muito maior, de 2 dias para uma faixa de 25 a 156 dias de duração. Segundo o levantamento bibliográfico realizado, o aumento na duração dos pulsos baixos está relacionado à conectividade lateral acarretando na falha do recrutamento e posterior diminuição da quantidade de indivíduos adultos.

Sobre a periodicidade dos eventos extremos, não houve uma alteração nas vazões baixas, uma vez que, estas continuaram acontecendo entre setembro e outubro, como no trecho à montante do barramento. Em relação aos eventos de cheia, estes não seguiram um padrão de ocorrência no trecho à jusante, dado que, costumavam ocorrer em novembro e dezembro.

A taxa de mudança apontou uma variabilidade reduzida das vazões, dado que, o número de reversões caiu de 145,5 para 2,5. A literatura aponta que alterações na periodicidade e taxa de mudança impactam a reprodução das espécies de peixes e mudança no conjunto de espécies, ambos os aspectos foram observados no diagnóstico da ictiofauna do baixo curso do rio Paraguaçu.

A área de estudo é influenciada por fluxos contrários, maré e água do rio, de forma que, os requerimentos de vazão das espécies de peixes variam conforme a localidade. Nos trechos mais à montante, há a demanda pela periodicidade das vazões mais altas para as o estabelecimento das espécies remanescentes do período pré-barramento. Nos trechos à jusante, a componente de escoamento magnitude é a característica mais requerida pelas espécies de peixes locais, uma vez que, mantém as condições de salinidade e evitam o arraste de indivíduos provocados pela interação vazões baixas/altas e a maré.

Dessa forma, a magnitude das vazões assim como a periodicidade dos eventos extremos representam as características mais perceptíveis pela ictiofauna local, evidenciando

a necessidade de estabelecimento do hidrograma ambiental para que as demandas das espécies sejam atendidas nas diferentes localidades do trecho.

Com a pesquisa realizada verificou-se a necessidade de uma maior integração entre os estudos hidrológicos, hidráulicos e ecológicos, assim como, do monitoramento regular das variáveis envolvidas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Matriz de Energia Elétrica**. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 04 ago. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno**. Brasília, 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Contrato De Concessão No 19/2002 - ANEEL AHE Pedra Do Cavalo**. De Uso de Bem Público para Geração de Energia Elétrica, que Celebram a União e a Votorantim Cimentos Ltda.

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

AGOSTINHO, A. A. et al. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. **Reviews in Fish biology and Fisheries**, v. 14, n. 1, p. 11-19, 2004.

ARAÚJO, A. P. **Dinâmica fluvial e regime hidrológico na bacia hidrográfica do rio Paranapanema**. 197p. 2011.

ARAÚJO, F. G. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, p. 547-558, 1998.

BARBOSA, D. I. et al. **Vazão ecológica na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, Goiás**. 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, 20 de setembro de 2010. Seção I.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da região hidrográfica Atlântico Leste – Secretaria de Recursos Hídricos**. Brasília: MMA, 2006. 156 p

BRASIL. **Resolução nº 129 de 29 de junho de 2011**. Estabelece diretrizes gerais para a definição de vazões mínimas remanescentes. 2011.

BRASIL. **Resolução nº 143 de 10 de julho de 2012**. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, 4 de setembro de 2012, Seção 1, Nº 172, ISSN 1677-7042.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. **Environmental Management**, v. 30, n. 4, p. 492-507, 2002.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Sao Paulo: Edgard Blucher, 2a edicao, 1980.

COLLIER, M.; WEBB, R. H.; SCHMIDT, J. C. Dams and rivers: a primer on the downstream effects of dams. **DIANE Publishing**, 1998.

COLLISCHONN, W. et al. Em busca do hidrograma ecológico. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (16.: 2005 nov. 20-24: João Pessoa, PB)**. Anais. [João Pessoa]: ABRH, 2005, 2005.

COLLISCHONN, W. ; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. 2008.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS (Brasil). **Apresentação das Barragens**. Disponível em: <[http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresentação das Barragens](http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresentação%20das%20Barragens)>. Acesso em: 09 jan. 2018.

DA LUZ, L. D. ; AMORIM, F. B.; DA LUZ-UFBA, Joana A. Guimarães. Aspectos ecológicos associados a alterações hidrológicas observadas no baixo trecho do rio São Francisco. In: **VII Congresso de Ecologia do Brasil**. 2005.

DOS REIS, A. A.; NAGHETTINI, M.; DE DEUS MELO, M. **Estudo comparativo, aplicação e definição de metodologias apropriadas para a determinação da vazão ecológica na bacia do rio Para, em Minas Gerais**. 2007.

GENZ, Fernando. **Avaliação dos efeitos da Barragem de Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape**. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. UFBA. 245p. 2006.

IBGE. Levantamento de Recursos Naturais-volume 24-suplemento-**Folha SD.24 Salvador**-Potencial dos Recursos Hídricos . V.24- Folha SD.24 Salvador, 1981.

INEMA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Barragens/Reservatórios. **Inventario das barragens do Estado da Bahia**. [20-?]). Disponível em:<<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/barragensreservatorios/>>. Acesso em 26 de Fevereiro de 2018.

INEMA/UFBA. Relatório Intermediário 1 (RI1), referente ao Projeto Estudo do Regime de Vazões Ambientais a Jusante da UHE de Pedra do Cavalo – Baía de Iguape. **Volume 1 - Diagnostico e Identificação do Problema**. Contrato n°012/09 entre INGÁ e UFBA. Salvador-BA, 2010.

INEMA/UFBA. Relatório Intermediário 3 (RI3), referente ao Projeto Estudo do Regime de Vazões Ambientais a Jusante da UHE de Pedra do Cavalo – Baía de Iguape. **Volume 3 - Aspectos Biológicos, Hidráulicos, Hidrológicos e Qualidade Das Águas**. Contrato nº012/09 entre INGÁ e UFBA. Salvador-BA, 2013

INTERNATIONAL RIVERS. **Dams: What They Are and What They Do**. Disponível em: <<https://www.internationalrivers.org/dams-what-they-are-and-what-they-do>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

IREFC, 10th International Riversymposium & Environmental Flows Conference. **The Brisbane Declaration on Environmental Flows**. 2007.

LANNA, A. E. **Gestão das águas**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 08, 1999.

LESSA, G.C., DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., BRICHTA, A. The Tides and Tidal Circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a general characterization. **In: Academia Brasileira de Ciências. Anais** Vol. 73(2): 2001. 245-261 p.

LIMA, C. H. P. **Avaliação das alterações hidrológicas a jusante de barragens por meio de análise de sensibilidade à variação de variáveis de projeto**. 2015.

LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. 2011.

LYTLE, D. A.; POFF, N. L. Adaptation to natural flow regimes. **Trends in ecology & evolution**, v. 19, n. 2, p. 94-100, 2004.

MEDEIROS, YDP et al. Projeto 3.1: participação social no processo de alocação de água, no baixo curso do Rio São Francisco. **Estudo do regime de vazão ecológica para o Baixo**

**curso do rio São Francisco: Uma abordagem multicriterial.** Universidade Federal da Bahia, 2010.

MEDEIROS, Y. D. P.; FONTES, A. S.; CASTRO, M. Q. Plano de Operação de Reservatórios para atendimento aos requerimentos da vazão ambiental. IN: **XXX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Comitê Brasileiro de Grandes Barragens. Anais... Foz do Iguaçu-PR, 2015.**

O'KEEFFE, J. & QUESNE, T.L. (2008) – A Primer On Environmental Flows and Their Assessment. **Keeping Rivers Alive.** 2009

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico (2016) – **Inventário das restrições operativas hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos do Operador Nacional do Sistema Elétrico.** Disponível em: <file:///D:/User/Downloads/InventariodasRestricoesHidraulicas-Revisao-12016%20(1).pdf>. Acesso em: 30 Jul 2018.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2017). Manual de Procedimentos da Operação Módulo 10. **Cadastro de Informações Operacionais Hidráulicas da Bacia Do Rio Paraguauçu.** Disponível em: <<http://www.ons.org.br/Paginas/busca.aspx?k=INEMA#k=PEDRA%20DO%20CAVALO%202012>>. Acesso em: 05 Ago. 2018.

PETESSE, M. L.; PETRERE JÚNIOR, M. As Barragens e os Peixes: O impacto das grandes hidrelétricas nas espécies dos rios represados. **Ciência hoje**, v. 49, p. 30-35, 2012.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental.** 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

POFF, N. L.; WARD, J. V. Implications of streamflow variability and predictability for lotic community structure: a regional analysis of streamflow patterns. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 46, n. 10, p. 1805-1818, 1989.

POFF, H.L., ALLAN, D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., & STROMBERG, J.C., 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, Washington DC, v. 47, n. 11. P. 769-784.

POFF, N. L.; ZIMMERMAN, J. KH. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 1, p. 194-205, 2010.

RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., POWELL, J. & BRAUN, D.P., A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. **Conservation Biology**, v. 10, n. 4, p. 1163-1174, 1996.

SCHWARZBOLD, Albano. O que é um rio. **Ciência & Ambiente**, v. 21, p. 57-68, 2000.

SOUZA, C. F. **Vazões ambientais em hidrelétricas: Belo Monte e Manso**. 2009.

SOUZA, C. et al. Desafios e oportunidades para a implementação do hidrograma ecológico. **REGA**, v. 5, p. 25-38, 2008.

THARME, R. E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. **River research and applications**, v. 19, n. 5-6, p. 397-441, 2003.

THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1** User's Manual, 2009.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS, 2001.

TUCCI, C. E. M. Impactos da Variabilidade Climática e do Uso do Solo nos Recursos Hídricos, 150 p. **Câmara Temática de Recursos Hídricos, Agência Nacional de Águas (ANA), Brasil, 2002.**

TUNDISI, J. G. et al. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, v. 3, p. 203-240, 2006.

WALKER, K. F.; SHELDON, F.; PUCKRIDGE, J. T. A perspective on dryland river ecosystems. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 11, n. 1, p. 85-104, 1995.

WARD, J. V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 8, n. 1, p. 2-8, 1989.

WELCOMME, Robin L. **Fisheries ecology of floodplain rivers [tropics]**. Longman, 1979.

ZALEWSKI, M.; JANAUER, G. A.; JOLANKAI, G.. Ecohydrology: a new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. **Ecohydrology. A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources**, 1997.

# ANEXOS

1 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 1

Espécies			Número	Peso(g)	Guildd Trófica					Substrato			Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio		Tolerância			Salinidade				
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Plancófago	Onívoro	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Characidae	<i>Astyanax gr. Bimaculatus</i>	Piaba	23	37,84		X				X		X		X					X		X		X		X		X									X	
Gobiidae	<i>Bathygobius soporator</i>	Mirim	1	3,18		X			X				X		X				X	X			X		X		X								X		
Centropomidae	<i>Centropomus parallelus</i>	Robalo corcunda	2	240,38				X		X			X	X			X			X			X			X			X							X	
Eleotridae	<i>Eleotris pisonis</i>	-	1	4,65				X		X			X	X				X	X				X		X		X									X	
Cichlidae	<i>Geophagus brasiliensis</i>	Corró	7	5,15		X				X			X	X				X	X				X		X		X									X	
Erythrinidae	<i>Hoplias malabaricus</i>	Traira	3	2704,73				X		X			X	X				X			X		X		X		X									X	
Poeciliidae	<i>Poecilia vivipara</i>	Pariviva	709	284,37			X			X		X			X			X	X		X		X			X	X									X	
Characidae	<i>Serrasalmus brandtii</i>	Piranha	1	0,31				X				X		X				X		X			X		X		X									X	
Cichlidae	<i>Tilapia sp.</i>	Tilápia	3	0,8		X				X			X		X				X	X			X			X		X								X	
Centropomidae	<i>Centropomus undecimalis</i>	Robalo flexa	2	231,18				X		X			X	X			X			X			X			X			X							X	
Gobiidae	<i>Ctenogobius boleosoma</i>	Mirim	1	0,33		X			X				X		X				X	X			X			X		X								X	
Erythrinidae	<i>Hoplias brasiliensis</i>	Traira	1	12,97																																	
Auchenipteridae	<i>Parauchenipterus galeatus</i>	Molé	1	185,65		X				X			X		X			X		X			X			X		X									X
<b>TOTAL</b>			<b>755</b>	<b>3711,54</b>																																	

Fonte: INEMA/UFBA(2013)

2 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 2

Espécies			Número	Peso (g)	Guilda Trófica					Substrato				Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio			Tolerância			Salinidade					
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Planctófago	Ovívoro	Invertívoro	Carívoro	Lamoso	Arenoso	Arenoso-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa			
Achiridae	Achirus lineatus	Linguado	135,0	99,46			X			X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			
Sciaenidae	Bairdiella ronchus	-	1,0	31,1				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			
Centropomidae	Centropomus undecimalis	Robalo flecha	8,0	2,8				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			
Achiridae	Citharichthys spilopterus	Linguado	6,0	13,6			X			X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			
Gobiidae	Ctenogobius boleosoma	Mirim	406,0	92,07		X		X					X		X			X		X		X			X			X		X			X			X			X	
Sciaenidae	Cynoscion leiarchus	Pescada	1,0	164,3				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Sciaenidae	Cynoscion microlepidotus	Pescada	4,0	498,2				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Gerreidae	Diapterus rhombeus	Carapeba	4,0	73,4		X				X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Gerreidae	Eucinostomus argenteus	Carapicu	20,0	120,4		X				X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Gerreidae	Eucinostomus gula	Carapicu	7,0	143,9		X				X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Clupeidae	Lile piquitinga	Manjuba	52,0	5,22	X			X				X				X			X			X			X			X			X			X			X			X
Engraulidae	Lycengraulis grossidens	Manjuba	2,0	121,8				X		X			X			X			X			X			X			X			X			X			X			X
Syngnathidae	Microphis brachyurus	Cachimbo	3,0	0,75				X		X			X		X			X		X		X			X			X			X			X			X			X
Carangidae	Oligoplites palometa	Solteira	1,0	1,0				X	X			X				X	X				X			X			X			X			X			X			X	
Carangidae	Oligoplites saurus	Solteira	1,0	26,3				X	X			X				X	X				X			X			X			X			X			X			X	
Syngnathidae	Pseudophallus mindi	Cachimbo	1,0	0,1				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Sciaenidae	Sciaenidae sp.	-	1,0	0,1				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Belonidae	Strongylura sp.	Agulha	3,0	0,2				X		X			X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Cichlidae	Tilapia sp.	Tilápia	0,0			X			X			X			X				X			X			X			X		X			X			X			X	
Carangidae	Trachinotus carolinus	Pampo	14,0	1,17				X	X			X			X	X			X			X			X			X			X			X			X			X
Achiridae	Trinectes paulistanus	Tapa	84,0	18,8			X		X				X		X				X			X			X			X			X			X			X			X
Engraulidae	Anchovia clupeoides	Anchova	5	145,72	X			X				X			X				X			X			X			X			X			X			X			X
Engraulidae	Anchoviella sp.	Pititinga	48	4,28	X			X				X			X				X			X			X			X			X			X			X			X

Fonte: INEMA/UFBA(2013)

3 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 2 (continuação)

Famílias	Nome científico	Nome vernacular	Número	Peso (g)	Guildd Trófica					Substrato				Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio			Tolerância			Salinidade		
					Detritívoro	Planctófago	Olvoro	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Centropomidae	Centropomus parallelus	Robalo corcunda	20	586,77				X		X			X	X			X		X		X		X		X		X		X		X		X				
Eleotridae	Eleotris pisonis	-	1	43,72		X			X				X				X	X			X		X		X		X					X					
Paralichthyidae	Etropus crossotus	Linguado	9	0,95			X			X			X				X		X		X		X		X		X					X					
Gerreidae	Eugerres brasillianus	Carapeba	1	154,1		X			X				X				X		X		X		X		X		X					X					
Gobiidae	Evorthodus lyricus	Mirim	2	1,82		X			X				X				X	X			X		X		X		X					X					
Gobiidae	Gobioides braussonnetii	Mirim	1	800		X			X				X				X	X			X		X		X		X					X					
Gobiidae	Gobionellus oceanicus	Mirim	2	1,62		X			X				X				X	X			X		X		X		X					X					
Erythrinidae	Hoplias malabaricus	Traira	1	98,82				X		X			X				X		X		X		X		X		X					X					
Albulidae	Leptocephalus albulidae	Ubarana	3	0,12																																	
Mugilidae	Mugil liza	Tainha	1	3700	X					X			X			X	X			X		X		X		X		X				X					
Poeciliidae	Poecilia vivipara	Pariviva	1	0,27			X			X			X			X		X		X		X		X		X		X				X					
<b>TOTAL</b>			<b>849</b>	<b>6952,86</b>																																	

Fonte: INEMA/UFBA(2013)

4 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 3

Espécies			Número	Peso (g)	Guilda Trófica					Substrato				Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio			Tolerância			Salinidade		
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Plancófago	Ontóvoro	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Achiridae	Achirus lineatus	Linguado	8,0	2,66			X			X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Engraulidae	Anchoiella sp.	Pititinga	18,0	0,7	X					X		X				X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Centropomidae	Centropomus undecimalis	Robalo flecha	1,0	810,2				X		X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Achiridae	Citharichthys macrops	Linguado	3,0	1,5			X			X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Gobiidae	Ctenogobius shufeldti	Mirim	2,0	0,5		X			X			X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Anidae	Genidens genidens	Bagre	5,0	410,3				X	X				X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Pomadasyidae	Pomadasyus ramosus	Cocoroça	1,0	183,6				X		X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Achiridae	Trinectes paulistanus	Tapa	37,0	20,05			X			X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Engraulidae	Anchoa januaria	Pititinga	18	12,02	X					X		X				X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Centropomidae	Centropomus parallelus	Robalo corcunda	4	469,35				X		X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Achiridae	Citharichthys arenaceus	Linguado	2	1,87			X			X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Engraulidae	Engraulidae (pós-larva)	Pititinga	8	0,611	X				X			X				X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Gerreidae	Eucinostomus melanopterus	Carapicu	1	11,25		X				X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Gerreidae	Eugerres brasiliensis	Carapeba	1	101,36		X				X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Gobiidae	Ctenogobius boleosoma	Mirim	1	0,12		X			X			X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Gobiidae	Gobionellus oceanicus	Mirim	2	21,75		X			X			X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Mugilidae	Mugil liza	Tainha	1	0,09	X					X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Pomadasyidae	Pomadasyus croco	Cocoroça	1	155,71				X		X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Tetraodontidae	Sphoeroides testudineus	Baiacu	1	0,65			X			X		X			X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
<b>TOTAL</b>			<b>115</b>	<b>2204,30</b>																																	

Fonte: INEMA/UFBA(2013)



6 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 4(continuação)

Espécies			Número	Peso(g)	Guilda Trófica					Substrato				Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio			Tolerância			Salinidade			
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Plancívoros	Ouvido	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	
Engraulidae	Engraulidae (pós-larva)	Pititinga	279	7,329	X					X		X				X		X			X			X			X			X			X			X		
Gerreidae	Eugerres brasiliianus	Carapeba	1	72,62		X				X		X				X		X			X			X			X			X			X			X		
Gobiidae	Ctenogobius boleosoma	Mirim	14	5,5		X		X				X				X		X	X				X			X			X			X			X			
Gobiidae	Ctenogobius oceanicus	Mirim	4	3,26		X		X				X				X		X	X				X			X			X			X			X			
Gobiidae	Ctenogobius smaragdus	Mirim	5	11,21		X		X				X				X		X	X				X			X			X			X			X			
Gobiidae	Ctenogobius stomatus	Mirim	4	0,53		X		X				X				X		X	X				X			X			X			X			X			
Albulidae	Leptocephalus albulidae	Ubarana	3	0,07			X			X		X				X			X				X			X		X	X			X			X			
Gobiidae	Microgobius meeki	Mirim	2	0,14		X		X				X				X		X	X				X			X			X			X			X			
Sciaenidae	Stellifer stellifer	-	1	19,23			X			X		X				X		X			X			X			X			X			X			X		
Strongylidae	Strongylura sp.	Peixe-agulha	1	0,09			X			X	X			X				X			X			X			X			X			X			X		
Gerreidae	Ulaema lefroyi	Carapicu	1	0,04		X			X			X				X		X			X			X			X			X			X			X		
<b>TOTAL</b>			<b>691</b>	<b>1519,57</b>																																		

Fonte: INEMA/UFBA (2013)

7 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 5

Espécies			Número	Peso(g)	Guildd Trófica					Substrato				Posição na coluna d'água	Presença de Vegetação Marginal	Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Oxigênio			Tolerância			Salinidade				
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Plânctofago	Ouivoro	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Demersal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	
Atherinidae	Atherinella brasiliensis	Peixe-rei	514	1.993,14		X				X				X				X	X			X			X			X	X			X			X
Sciaenidae	Bairdiella ronchus	-	21,0	1.406,42				X		X				X			X		X			X			X			X	X			X			X
Centropomidae	Centropomus parallelus	Robalo corcunda	1,0	730,2				X		X				X	X		X		X			X			X			X			X			X	
Engraulidae	Cetengraulis edentulus	Xangó	6,0	104,8	X					X				X			X		X			X			X			X			X			X	
Achiridae	Citharichthys spilopterus	Linguado	0,0	0,0			X			X				X	X		X		X			X			X			X			X			X	
Gerreidae	Diapterus auratus	Carapeba	1,0	67,9		X				X				X			X		X			X			X			X			X			X	
Engraulidae	Lycengraulis grossidens	Manjuba	1,0	29,3			X			X			X				X		X			X			X			X			X			X	
Sciaenidae	Micropogonias furnieri	Corvina	1,0	665,2				X		X				X			X		X			X			X			X			X			X	
Poeciliidae	Poecilia vivipara	Parati barbudo	5,0	2,1			X			X			X				X		X			X		X			X	X						X	
Engraulidae	Anchoa januaria	Pititinga	5	0,46		X				X			X				X		X			X			X			X			X			X	
Gobiidae	Bathygobius soporator	Mirim	2	2,15		X		X					X				X		X	X				X			X			X			X		
Achiridae	Citharichthys arenaceus	Linguado	1	1,24			X			X				X	X		X		X			X			X			X			X			X	
Engraulidae	Engraulidae (pós-larva)	Pititinga	21	0,62	X					X			X				X		X			X			X			X			X			X	
Gerreidae	Eucinostomus gula	Carapicu	4	64,33		X				X				X			X		X			X			X			X			X			X	
Gobiidae	Ctenogobius boleosoma	Mirim	54	15,61		X		X					X				X		X	X				X			X			X			X		
Gobiidae	Ctenogobius shufeldti	Mirim	2	0,13		X		X					X				X		X	X				X			X			X			X		

Fonte: INEMA/UFBA (2013)

8 - Requerimentos ecológicos das espécies registradas no Ponto Amostral 5 (continuação)

Espécies			Número	Peso(g)	Guildd Trófica					Substrato			Posição na coluna d'água			Presença de Vegetação Marginal			Velocidade da corrente			Turbidez			Temperatura			Origênio			Tolerância			Salinidade				
Famílias	Nome científico	Nome vernacular			Detritívoro	Plancctófago	Onívoro	Invertívoro	Carnívoro	Lamoso	Arenoso	Areno-lamoso	Pedras	Pelágico	Densal	Bentônico	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	
Gobiidae	Ctenogobius smaragdus	Mirim	1	1,65		X		X				X		X				X	X			X		X		X		X		X		X		X				
Gobiidae	Ctenogobius stigmaticus	Mirim	1	0,11		X		X				X		X				X	X			X		X		X		X		X		X		X				
Gobiidae	Ctenogobius stomatus	Mirim	2	0,25		X		X				X		X				X	X			X		X		X		X		X		X		X				
Lutjanidae	Lutjanus sp.	Vermelho	1	0,32				X			X	X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
Mugilidae	Mugil liza	Tainha	8	1,01	X					X		X		X			X	X			X		X		X		X		X		X		X		X			
Carangidae	Oligoplites saurus	Solteira	4	1,42				X	X			X				X	X				X		X		X		X		X		X		X		X			
Tetraodontidae	Sphoeroides testudineus	Baiacu	97	645,8			X		X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
Sciaenidae	Stellifer brasiliensis	-	10	284,31			X		X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
Sciaenidae	Stellifer stellifer	-	1	32,78			X		X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
Cynoglossidae	Symphurus tessellatus	Língua	1	3,93			X		X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
Gerreidae	Ulaema lefroyi	Carapicu	11	0,349		X			X			X		X			X		X		X		X		X		X		X		X		X		X			
<b>TOTAL</b>			<b>776</b>	<b>6055,53</b>																																		

Fonte: INEMA/UFBA(2013)

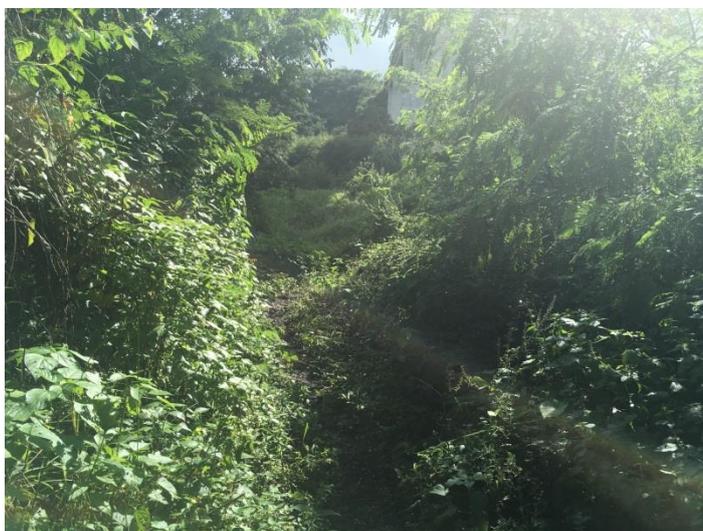
## APÊNDICE: VISITA AO BAIXO TRECHO DO RIO PARAGUAÇU

1 – Local próximo ao ponto amostral 1



Fonte: Próprio Autor (2018)

2 – Crescimento da vegetação nas áreas de várzea no local do ponto amostral 1



Fonte: Próprio Autor (2018)

3 – Ocupação humana na margem direita (Ponto Amostral 1)



Fonte: Próprio Autor (2018)

4 - À montante do Rio Sinunga, próximo do engenho da Vitória (Ponto Amostral 3)



Fonte: Próprio Autor (2018)

5 – À jusante de Coqueiros e Nagé (Ponto Amostral 4)



Fonte: Próprio Autor (2018)

6 – Próximo à ilha (Ponto Amostral 2)



Fonte: Próprio Autor (2018)