



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

VAZÃO AMBIENTAL EM BELO MONTE: ANÁLISE DO ESTUDO DE IMPACTOS  
AMBIENTAIS E APLICAÇÃO DO MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO PARA  
COMPARAÇÃO CRÍTICA

Daniel Villela Runkel de Sousa

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Heloisa Teixeira Firmo

Rio de Janeiro  
Setembro de 2010

VAZÃO AMBIENTAL EM BELO MONTE: ANÁLISE DO ESTUDO DE IMPACTOS  
AMBIENTAIS E APLICAÇÃO DO MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO PARA  
COMPARAÇÃO CRÍTICA

Daniel Villela Runkel de Sousa

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

---

Prof<sup>a</sup>. Heloisa Teixeira Firmo.

---

D. Sc. Maximiliano Andrés Strasser.

---

Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO de 2010

Sousa, Daniel Villela Runkel de

Vazão Ambiental em Belo Monte: Análise do Estudo de Impactos Ambientais e Aplicação do Método do Perímetro Molhado para Comparação Crítica/ Daniel Villela Runkel de Sousa. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2010.

XX, 99 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador(es): Heloisa Teixeira Firmo

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. XX-YY.

1. AHE Belo Monte 2. Vazão Ambiental. 3. Método do Perímetro Molhado. 4. Curva de Permanência. 5. Método IFIM-PHABSIM. I. Teixeira Firmo, Heloisa. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

Aos meus avós.

# Agradecimentos

---

Aos meus pais, que não sabiam a ementa quando se inscreveram na maternidade. Espero ter feito desta a sua Magna Lauda.

À minha irmã, que sempre me ajuda no fino equilíbrio entre fazer sentido e ser relevante.

Ao amor que me suporta, Raquel, e às amigas que a faculdade me trouxe: Bernardo, Lucas, Renan, Felipe, Lívia, Lana, José, Rodrigo, Ricardo, Thiago, Licia, Adriano, Tomás, Daniel, Mário, Marcelo e Gustavo. Pontuações sem as quais o período não faria sentido.

Aos meus eternos orientadores, Professora Heloisa e Professor Rosman, que em momentos diferentes souberam moldar a minha trajetória. Será pra sempre um privilégio mencionar os seus nomes.

Ao Professor Tarcísio, que me forneceu dados, conselhos e material de consulta de primeira qualidade, sempre de braços abertos. Pouco seria possível sem a sua ajuda e presteza.

Em especial, ao Felipe Ferreira, a melhor mistura de aluno e mestre que o acaso me trouxe. Não existiria nenhum modelo nesse trabalho se não fosse por você.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Vazão Ambiental em Belo Monte: Análise do Estudo de Impactos Ambientais e Aplicação do Método do Perímetro Molhado para Comparação Crítica

Daniel Villela Runkel de Sousa

Setembro/2010

Orientador: Heloisa Teixeira Firmo

Curso: Engenharia Ambiental

Projetos de grande porte, como o AHE Belo Monte, podem provocar impactos ambientais severos e demandam estudos minuciosos sobre sua interferência nos ecossistemas. O EIA – Estudo de Impacto Ambiental deve contemplar todos os aspectos de um empreendimento, entre eles o hidrograma de vazões a ser liberado para o trecho à jusante de barramentos para aproveitamento hidrelétrico. Apesar de muitas metodologias estarem disponíveis para análises de tal hidrograma, sob diversas óticas, o EIA do AHE Belo Monte aplicou metodologia própria, sem referência a outros estudos que a tenham avaliado. Neste trabalho, pesquisou-se o passado histórico de algumas metodologias e do projeto de Belo Monte, descrevendo-se em maiores detalhes o método utilizado para a determinação do Hidrograma Ecológico para o Trecho de Vazão Reduzida, no rio Xingu, e os métodos de Curva de Permanência de Vazões, Método do Perímetro Molhado e Método IFIM-PHABSIM. Através da coleta de dados, foi modelado o escoamento entre três seções do rio Xingu, à montante da cidade de Altamira, e estabeleceu-se a relação entre as vazões afluentes e os perímetros molhados decorrentes em cada seção. Em seguida, foram tiradas conclusões pelo Método do Perímetro Molhado, em comparação aos resultados da metodologia aplicada no Estudo de Impacto Ambiental.

*Palavras-chave:* Vazão Ambiental, AHE Belo Monte, Hidrograma Ecológico, Método do perímetro Molhado.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

Environmental Flow in Belo Monte: Analysis of Environmental Impact Study and Application of Wetted Perimeter Method for Critical Comparison

Daniel Villela Runkel de Sousa

September/2010

Advisor: Heloisa Teixeira Firmo

Course: Environmental Engineering

High profile projects, such as the HER Belo Monte, usually lead to severe environmental impacts and demand minucious studies on its interference over ecosystems. The EIS – Environmental Impacts Study should contemplate all aspects of any enterprise, among which the hydrograph of flows to be released downstream to the dams. Although many methodologies are available for compilation of such hydrograph, under many perspectives, the EIS of Belo Monte applied its own methodology, without reference to others studies that might have tested it. In this Project, two historic pasts were analyzed, regarding some methodologies and the Belo Monte Project itself, detailing on the method used to determine its Ecological Hydrograph for the Reduced Flow Section, in the Xingu river, and the methods of Flow Permanence Rate, the Wetted Perimeter Method and the IFIM-PHABSIM Method. Through the gathering of data, a 1D model was made for the flow between three sections of the Xingu river, upstream from Altamira city, and relations between flows and its consequent wetted perimeter for every station. Next, conclusions were drawn through the Wetted Perimeter Method, in comparison to results from the procedures applied on the EIS.

*Keywords:* Environmental Flow, HER Belo Monte, Ecological Hydrograph, Wetted Perimeter Method.

## Sumário

Capítulo I – Introdução.....	1
Engenharia Ambiental.....	1
AHE Belo Monte .....	1
Vazão Ambiental .....	2
Objetivos .....	2
Metodologia.....	2
Capítulo II – Contextualização Temática .....	4
Belo monte.....	4
Definição .....	4
Histórico & Caracterização.....	4
Vazões Ambientais, Ecológicas, Mínimas e Residuais.....	10
Definições.....	10
Cenário nacional.....	11
Classificação .....	12
Limitações .....	13
Capítulo III – Análise Metodológica .....	14
Análise Metodológica – Hidrograma Ecológico do EIA Belo Monte .....	14
Definição das Áreas Afetadas.....	14
Definição de Limites para o Hidrograma Ecológico .....	17
Cenários observados .....	19
Metodologia de Simulação.....	22
Modelagem Matemática e Ecológica do AHE Belo Monte .....	23
Análise Metodológica – Curva de Permanência, MPM e IFIM-PHABSIM .....	24
Método da Curva de Permanência .....	25
Método do Perímetro Molhado - MPM.....	28
Metodologia IFIM-PHABSIM .....	31
Tela Estratégica das Metodologias Analisadas .....	36
Capítulo IV – Resultados.....	40
Método de Comparação de Cenários – Hidrogramas A e B.....	40
Método do Perímetro Molhado – Vazão Ambiental de Estiagem .....	44
Aplicação no rio Xingu.....	44
Qualidade dos Dados e Escolha de Seções .....	44
Resultados .....	48



Capítulo V - Conclusões.....	55
Referências Bibliográficas .....	58
ANEXO I – Dados Utilizados.....	60
Anexo II – Modelagem 1D no HEC-RAS.....	67

## Capítulo I – Introdução

### Engenharia Ambiental

Ao chegar ao final do curso de graduação em Engenharia, uma clara expectativa que se apresenta sobre todo estudante é a de que a sua formação seja traduzida em capacidade crítica e produtiva. No caso da Engenharia Ambiental espera-se que os formandos possam executar um trabalho de análise de um documento tal como um EIA/RIMA, no que toca as áreas de atuação, nomeadamente as interações humanas com o meio ambiente.

Apesar de ser um profissional recém-chegado ao mercado, se comparado à presença centenária de Engenheiros Cívicos e Militares no Brasil, a alcunha o torna alvo de muita especulação sobre quais seriam as suas devidas atribuições, principalmente em função do fortalecimento do tema ambiental na mídia e no meio de Engenharia. Como novo profissional este ainda caminha para descobrir quais são seus nichos e áreas de intervenção.

Portanto, é interessante para a profissão que se busque analisar questões e projetos sob a luz da Engenharia Ambiental, tanto para afirmar as bases de sua formação quanto para testar a solidez e profundidades das mesmas. Nesse contexto, o Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Belo Monte é um ótimo exemplo de projetos ambientais a serem estudados por essa nova área de conhecimento.

### AHE Belo Monte

O AHE Belo Monte é um projeto complexo, que envolve diversas discussões de áreas pouco correlatas, tais como planejamento estratégico, modelagem ambiental e antropologia. Encontrar um só profissional que compreenda todas essas áreas é, até o presente momento e futuro próximo, improvável. Por isso, é válido assumir que o EIA/RIMA deva ser, para uma avaliação criteriosa, "repartido" em um primeiro momento e posteriormente analisado de forma integrada, para poder ser corretamente criticado.

Como se trata de um projeto de Engenharia e de um estudo para avaliar os impactos deste no meio ambiente, muitos acabam por interpretar que o Engenheiro Ambiental seria capaz de versar e criticar sobre todos os assuntos do estudo. Apesar de ser habilitado para comandar e conduzir o estudo, tal profissional não pode executar todas as tarefas e por isso compõe equipes técnicas multidisciplinares para elaborarem as diferentes seções de levantamento e análise de dados.

Porém, o mesmo profissional também está encarregado de tarefas específicas, ao qual somente ele está habilitado a discutir. Uma delas é direcionar o estudo para uma discussão eficiente das principais fontes de impactos ambientais em um projeto como o AHE Belo Monte: as obras de instalação, o enchimento do reservatório e a operação a longo prazo. Esse é um resumo um tanto simplificado, mas que facilita a divisão inicial dos trabalhos.

## Vazão Ambiental

Nesse contexto, a vazão ambiental torna-se um fator relevante na operação a longo prazo do AHE. No caso específico de Belo Monte, a configuração do projeto, que se assemelha a hidrelétricas de menor porte, como Simplício e Capim Branco, devido à construção e instalação de máquinas em leito seco e à criação de um Trecho de Vazão Reduzida<sup>1</sup>, torna tal fator crucial para a mensuração dos impactos do empreendimento, pois o rio Xingu, onde o AHE será construído, já tem em seu Hidrograma épocas de seca bem marcadas, o que dificulta a procura por um ponto ótimo de aproveitamento hidrelétrico e sustentabilidade ambiental.

Em diversos países, metodologias diferentes são aplicadas para encontrar os valores de vazão que proporcionariam um bom estado ecológico e ambiental ao corpo hídrico enquanto viabilizam as atividades humanas como geração de energia, abastecimento, irrigação, arrefecimento industrial, recreação e outras. Infelizmente, o recente avanço da gestão de recursos hídricos no país ainda não instalou uma sistemática de avaliação e aplicação destas metodologias, seja para uso direto ou para confecção de métodos próprios.

## Objetivos

No sentido de contribuir para uma maior compreensão do que representa a determinação de vazões remanescentes em rios associados a empreendimentos de engenharia que aduzem parte do caudal para suas atividades, assim como para instigar a avaliação crítica das metodologias utilizadas no país, mais especificamente no AHE Belo Monte, o presente trabalho apresenta análises bibliográficas, principalmente em torno do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do projeto e discute métodos de cálculo de vazões ecológicas e ambientais.

Os objetivos do trabalho podem ser listados como:

1. Esclarecer e expor o histórico e as características do projeto Belo Monte, bem como analisar o estudo do Hidrograma Ecológico do Trecho de Vazão Reduzida no rio Xingu, previsto pelo projeto do AHE Belo Monte;
2. Buscar definições claras de vazões ecológicas e ambientais e de seus métodos de determinação mais utilizados, detalhando os mais comumente usados e aceitos;
3. Aplicar um dos métodos detalhados ao projeto do AHE Belo Monte, visando à comparação de resultados com o método do EIA e a observação de fragilidades em ambos os procedimentos;

## Metodologia

O trabalho será composto por cinco capítulos, que acompanham a seqüência lógica de investigação sobre vazões ecológicas e ambientais e o AHE Belo Monte. O primeiro este, será introdutório e muitos dos termos e expressões nele utilizados serão detalhados nos seguintes.

O segundo capítulo, intitulado “Contextualização Temática”, relata o histórico e as características do projeto AHE Belo Monte, assim como define os termos “vazões ecológicas”,

---

<sup>1</sup> *Trecho de Vazão Reduzida*: seção do rio que, após um barramento, passa a receber menos água, até um ponto em que a vazão aduzida anteriormente é reconduzida ao leito original.

“vazões ambientais” e seus sinônimos, tanto por explicações de outros autores quanto pelo relato dos diversos métodos que buscam definir tais vazões.

O terceiro capítulo, “Análise Metodológica”, descreve o estudo feito por contribuintes do EIA de Belo Monte para definir o Hidrograma Ecológico do Trecho de Vazão Reduzida e detalha três outros métodos, mais conhecidos, de determinação de vazões ambientais e ecológicas.

O quarto capítulo apresenta os resultados encontrados pelo Estudo de Impactos Ambientais e também aqueles obtidos pela aplicação do Método do Perímetro Molhado a dados de batimetria e níveis d’água obtidos com a Leme Engenharia empresa encarregada de colher as informações de campo para o EIA de Belo Monte.

O quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, tanto em relação ao Hidrograma Ecológico do TVR de Belo Monte quanto às metodologias avaliadas para a determinação de vazões ecológicas e ambientais.

## Capítulo II – Contextualização Temática

### Belo monte

#### Definição

O empreendimento em última versão de seu projeto, chamado de AHE Belo Monte (Aproveitamento Hidroelétrico Belo Monte) é, antes de tudo, polêmico, visto que muitos atores sociais participam do debate e das frentes de apoio e rejeição ao projeto. Especificamente, neste trabalho, trata-se do empreendimento sob o foco da Engenharia Ambiental: portanto, é válido utilizar a definição que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, o IBAMA, tomou para emitir a Licença Prévia nº 342/2010:

"Relativa ao empreendimento denominado Aproveitamento Hidroelétrico Belo Monte, usina hidrelétrica com capacidade instalada de 11.233,1 MW, com dois reservatórios que somam área total de 516 km<sup>2</sup>, com seu eixo no rio Xingu, a cerca de 40 km a jusante da cidade de Altamira-PA, localizado na área denominada Volta Grande do Xingu entre os paralelos 3°40'S e os meridianos 51°30' e 52°30'W, abrangendo os municípios de Vitória do Xingu, Altamira e Brasil Novo, no estado do Pará. Compreende um barramento principal no rio Xingu (denominado Sítio Pimental), de onde as vazões são derivadas por canais até a Casa de Força Principal (3°07'35"S, 51°46'30"W), no Sítio Belo Monte, formando um trecho de cerca de 100 km de extensão no rio Xingu a ser submetido a uma vazão residual e Casa de Força Complementar (3°26'15"S, 51°56'50"W), localizada junto à barragem principal."

Fonte: Licença Prévia Nº 342/2010, IBAMA, Ministério do Meio Ambiente.

De forma análoga, o Estudo de Impacto Ambiental referido nos capítulos seguintes será aquele elaborado e entregue em 2006, pela Centras Elétricas Brasileira S.A. – Eletrobrás, citado como ELETROBRÁS (2006).

#### Histórico & Caracterização

O ano oficial de início do projeto é 1975, quando começaram a ser feitos os Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu, pela Eletronorte, sendo o Relatório Final emitido em janeiro de 1980 e aprovado pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE somente em 1988, por meio da Portaria nº 43 de 2 de março (CEDOC, ANEEL, <http://www.aneel.gov.br/cedoc/prt1988043dcae.pdf>, acesso em 17/08/2010).

Ainda em julho 1980, baseados no relatório, começaram os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica do Complexo Hidrelétrico de Altamira, contemplando duas usinas: Kararaô e Babaquara. Inicialmente focados na última, os trabalhos de campo só foram redirecionados para o sítio de Kararaô em 1986, por indicação do plano 2010 da Eletrobrás, que apontava tal usina como a melhor opção para iniciar a integração das usinas do Xingú ao Sistema Interligado Brasileiro (FARIA, 2004).

O DNAEE recebeu em janeiro de 1990, o Relatório Final dos Estudos de Viabilidade do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte (antiga UHE Kararaô), como requerimento

para sua aprovação e para a solicitação da outorga de concessão. Na época, calculava-se como necessária a inundação de 1225 km<sup>2</sup>, para a potência de 11 GW. Babaquara já não era mais contemplada formalmente, devido ao nível de reservação demandado (FARIA, 2004).

Antes deste requerimento, porém, ocorreu o I Encontro dos Povos Indígenas do Xingu, de 20 a 25 de fevereiro de 1989, na cidade de Altamira. Nesse encontro, junto com atores locais e regionais – como representantes da Igreja Católica, movimentos sociais, lideranças indígenas e imprensa, dentre outros – militavam representantes de organizações nacionais e internacionais, inclusive com a presença de personalidades do meio artístico de grande visibilidade na mídia (FARIA, 2004). Deste evento forma-se a primeira imagem da oposição à construção da Usina: protagonizada pela índia kaiapó Tuíra, que toca o rosto do então diretor da Eletronorte, José Antônio Muniz Lopes, com a lâmina de seu facão, debruçada sobre a mesa dos palestrantes, a fotografia anunciou o eterno calcanhar de Aquiles do projeto: a articulação e a comunicação com o público.

A alteração de Kararaô para Belo Monte foi, de fato, por forte manifestação dos indígenas da região durante o encontro, que utilizavam o nome em situações de guerra e enxergaram a denominação do projeto como, de certa forma, sacrílega.

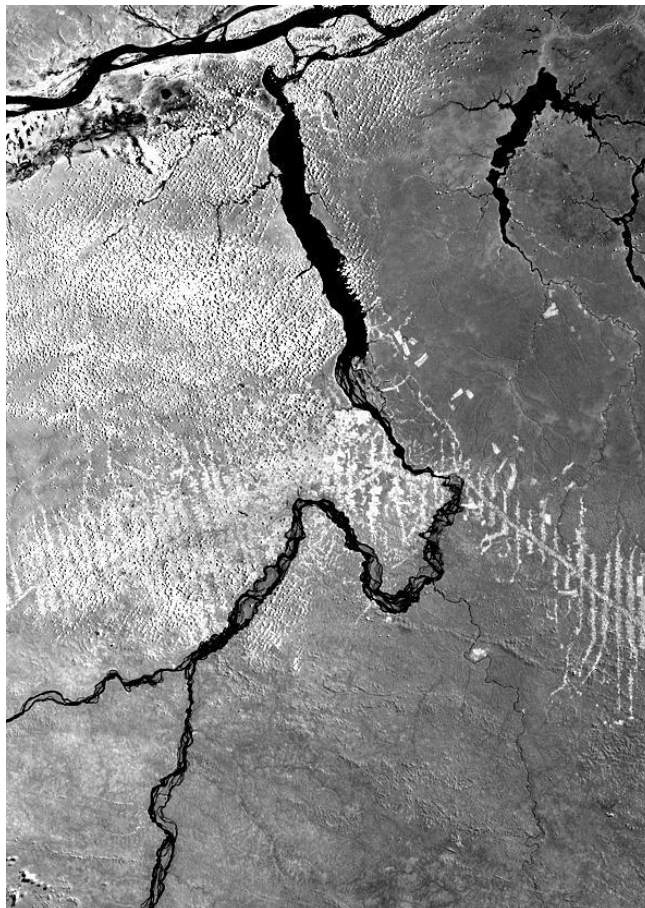


Figura 1 - Imagem de Satélite da Volta Grande do Rio Xingú. Fonte: Eletronorte (apud FARIA, 2004)

Como comentário, é válido ressaltar que a oposição não foi o fator principal na derrota do projeto Kararaô, sendo mais atribuída à crise financeira do setor elétrico no fim da década

de 80, que forçou o encerramento do contrato da Eletronorte com a empresa consultora de engenharia que realizava os estudos (FARIA, 2004).

Já em 1994, o DNAEE e a ELETROBRÁS receberam da Eletronorte um estudo com uma alteração estratégica no arranjo projetado nos Estudos de Viabilidade, que deslocava para montante o barramento e o vertedouro da usina e trazia significativos benefícios: reduzia a quase um terço (440 km<sup>2</sup>) a área de reservação; mantinha as características energéticas do projeto original; e evitava a inundação da única terra indígena ameaçada pela barragem, Paquiçamba. O novo arranjo, para reduzir a área inundada, sugeria a construção de dois canais de adutoras, trazendo o complicador do volume de terra a ser removido.

Criada pela Lei 9427, de 26 de dezembro de 1996, a ANEEL passa a ser responsável por "conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia" e, portanto, por Belo Monte. Em fevereiro de 1999 ELETROBRÁS e ELETRONORTE registram a solicitação para elaborarem um novo estudo de Viabilidade Técnica econômica e Ambiental, agora para o novo arranjo, celebrando Acordo de Cooperação Técnica em dezembro do ano seguinte.

Dois anos mais tarde, o Conselho Nacional de Política Energética emitiu relatório sobre o projeto, que ainda era referido como Complexo Hidroelétrico Belo Monte, por questão de licitação, com os seguintes dados:

Tabela 01: Dados Principais do UHE Belo Monte (2010)

Potência Instalada	11.233,1 MW
Área (espelho d' água) do reservatório	516 km <sup>2</sup>
Energia firme global	4.571 MW médios
Potência da Casa de Força Principal (Sítio Belo monte)	11.000 MW
Potência da Casa de Força Secundária (Sítio Pimental)	233,1 MW
Preço do MWh leilado	R\$ 78,00 / Mwh
Vazão mínima na Volta Grande do Xingu	680 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Hotsite<sup>2</sup> do Leilão de Energia de Belo Monte ([http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/hotsite\\_beloMonte/index.cfm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/hotsite_beloMonte/index.cfm), 10/08/2010).

<sup>2</sup> *Hotsite*: pequeno sítio eletrônico desenvolvido para apresentar e destacar uma ação de comunicação ou marketing pontual; também conhecido como Microsite ou Minisite. (Fonte: Wikipedia, 05/09/2010)

Oficialmente, os estudos só foram concluídos em 2005, por ordem judicial. Finalmente, os Estudos de Impacto Ambiental começaram a ser executados em março de 2007, com o processo de licenciamento junto ao IBAMA tendo iniciado no mês de julho do ano anterior. Abaixo, uma lista dos trâmites entre 2007 e 2009 envolvendo o EIA de Belo Monte (MAGALHÃES & HERNANDEZ *et al.*, 2009):

- 05 de dezembro de 2007 - IBAMA emite o Termo de Referência (TR) para a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
- 22 de dezembro de 2008 – ELETROBRÁS envia ao IBAMA o EIA incompleto (documento CTA-DE-013702/2008, protocolo nº 15.835).
- 26 de dezembro de 2008 - a Funai informou ao IBAMA a inclusão da Terra Indígena Trincheira Bacajá.
- 08 de janeiro de 2009 - a ELETROBRÁS enviou ao IBAMA a versão final do TR, aprovado pela Funai, para a população indígena urbana da cidade de Altamira e famílias indígenas moradoras da região da Volta Grande do rio Xingu.
- 27 de fevereiro de 2009 – ELETROBRÁS reenvia o EIA/RIMA (documento CTA-DE-1765/2009, protocolo nº 2.253).
- 23 e 25 de março de 2009 – ELETROBRÁS e IBAMA se reúnem para avaliar o atendimento ao TR do AHE Belo Monte. Foram acertados os itens do TR necessários ao aceite do EIA/RIMA e aqueles que foram considerados necessários à análise de mérito, a serem entregues antes das audiências públicas.
- 28 de abril de 2009 – IBAMA emite parecer elencando "Documentos necessários ao aceite do Estudo Ambiental" e "Documentos necessários à análise de mérito dos estudos, a serem entregues antes das Audiências Públicas".
- 25 de maio de 2009 – IBAMA torna público que recebeu o Estudo de Impacto Ambiental – EIA e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, informa o endereço na página web [www.ibama.gov.br/licenciamentoU](http://www.ibama.gov.br/licenciamentoU), mas não disponibiliza os arquivos.
- 27 de maio de 2009 – O IBAMA disponibiliza o EIA na página web [http://siscom.ibama.gov.br/licenciamento\\_ambiental/Belo%20Monte/](http://siscom.ibama.gov.br/licenciamento_ambiental/Belo%20Monte/), diferente daquela anunciada no dia 25 de maio de 2009. São disponibilizados apenas os volumes 1 a 33 e o volume 36.
- 28 de maio de 2009 – O IBAMA disponibiliza o volume 34. Falta o volume 35. Este começa a ser disponibilizado a partir de 10 de julho de 2009, sendo o último tomo disponibilizado incompleto em 08 de setembro de 2009.
- 27 de maio de 2009 – O Ministério Público Federal propõe Ação Civil Pública (ACP nº 2008.39.03.000071-9) com pedido de liminar para, dentre outros, “declarar a nulidade do ato administrativo do aceite do EIA/RIMA proferido pelo IBAMA: por apresentar vício no que tange a não exigir que todas as condicionantes apresentadas no termo de checagem do EIA/RIMA com o Termo de Referência, sejam apresentadas antes da decisão do aceite,



violando a Instrução Normativa 184/2008 IBAMA, bem como os princípios constitucionais da publicidade e da participação democrática previsto no art. 1º, 3º, 37e 225 da CRFB, (...); por omitir dolosamente parte do Estudo do Componente indígena do EIA/RIMA (denominado Estudo Etnoecológico), consistente no Estudo dos índios citadinos constantes no Termo de Referência da FUNAI, integrado ao do IBAMA; pela ausência do estudo da sinergia do impacto dos empreendimentos hidrelétricos na bacia hidrográfica quanto a população indígena, bem como a análise integrada do componente indígena ao EIA/RIMA (...); e, por fim, pelo vício formal do ato administrativo consistente na ausência de motivação do ato de aceite do EIA/RIMA pelo IBAMA (...)"

- 03 de junho de 2009 – O Juiz Federal de Altamira defere parcialmente o pedido do MPF e decide suspender o prazo do edital publicado pelo IBAMA em 25 de maio de 2009.
- 11 de agosto - IBAMA reabriu o prazo para solicitação de audiência pública para discussão do projeto da hidrelétrica de Belo Monte.
- 25 de agosto de 2009 - IBAMA publica edital de Audiências Públicas para a UHE Belo Monte. (MAGALHÃES & HERNANDEZ *et al.*, 2009)

O Ministério de Minas e Energia em outubro, publicou portaria com diretrizes para o leilão de energia da UHE Belo Monte. O mesmo Ministério emite, mais tarde, a Portaria MME nº.14, de 6 de janeiro de 2010, que define prazo para Declarações de Necessidade para os Leilões de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração e da Usina Hidrelétrica denominada UHE Belo Monte e em 1º de Fevereiro o IBAMA emite a Licença Prévia para o projeto. Tal licença contém 40 condicionantes para o projeto, dentre eles:

"2.1 O Hidrograma de Consenso<sup>3</sup> deverá ser testado após a conclusão da instalação da plena capacidade de geração da casa de força principal. Os testes deverão ocorrer durante seis anos associados a um robusto plano de monitoramento, sendo que a identificação de importantes impactos na qualidade de água, ictiofauna, vegetação aluvial, quelônios, pesca, navegação e modos de vida da população da Volta Grande, poderão suscitar alterações nas vazões estabelecidas e conseqüente retificação na licença de operação. Entre o início da operação e a geração com plena capacidade deverá ser mantido no TVR<sup>4</sup>, minimamente, o Hidrograma B<sup>5</sup> proposto no EIA. Para o período de testes devem ser propostos programas de mitigação e compensação."

"2.5 Garantir a manutenção da qualidade da água de acordo com os níveis preconizados na Resolução CONAMA nº 357/2005, para classe 1 e 2 de acordo com sua localização, o que garantirá o uso múltiplo dos recursos hídricos e a sobrevivência da fauna aquática, adotando para tanto, as medidas que forem necessárias, (...)" e

---

<sup>3</sup> *Hidrograma de Consenso*: o termo aparenta se referir ao hidrograma apontado no EIA como um consenso atingido entre a ELETROBRÁS, que busca a geração de energia e os interesses ambientais, defendidos pelo IBAMA e demais atores de avaliação crítica ao projeto.

<sup>4</sup> *TVR*: Trecho de Vazão Reduzida, referente à seção da Volta Grande do Xingu que ficará entre o barramento de Sítio Pimental e o barramento de Belo Monte, previsto a ter um Hidrograma restrito para a geração de energia do AHE Belo Monte.

<sup>5</sup> *Hidrograma B*: parte do Hidrograma de Consenso que prevê maiores vazões no período de cheia para o TVR, ou seja, o ano com mais disponibilidade hídrica previsto pelo Hidrograma sugerido no EIA.

"2.40 Elaborar estudo sobre Hidrossedimentologia conforme Termo de Referência a ser emitido pelo IBAMA.", dentre outros.

Até 20 de abril, data do leilão de energia do AHE Belo Monte, muitas liminares foram utilizadas para suspendê-lo, por ser visto como uma consumação sem volta dos planos de construção da usina, da mesma forma que anteriormente tratou-se assim a emissão Licença Prévia. Na verdade, muitas concessões precisaram ser feitas pelo Governo Federal, principalmente na forma de isenções fiscais e financiamento garantido pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para reduzir os altos riscos do investimento no projeto, previsto pelo setor privado de mais de R\$ 30 bilhões para a implantação do AHE.

Das empreiteiras originais, que contavam com Odebrecht, Camargo Corrêa e outras, nenhuma integrou o consórcio Norte-Energia, vencedor do leilão. As nove empresas participantes foram Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), a construtora Queiroz Galvão, Galvão Engenharia, Mendes Júnior Trading Engenharia, Serveng-Civilsan, J Malucelli Construtora de Obras, Contern Construções e Comércio, Cetenco Engenharia e Gaia Energia e Participações (Fonte: o Estadão Online, 20/04/2010).

## Vazões Ambientais, Ecológicas, Mínimas e Residuais

### Definições

Apesar de ser um tema altamente discutido e publicado no cenário acadêmico nacional de gestão dos recursos hídricos, não há legislação federal brasileira que defina o que é uma vazão ecológica (fica a cargo das legislações estaduais e municipais estabelecer parâmetros e termos) e tampouco que diferencie esta de outros sinônimos utilizados. A fim de esclarecer o uso do termo neste trabalho, listam-se abaixo as melhores definições encontradas em diversas bibliografias para cada denominação, agregada por SARMENTO, no Produto 2 do Estado da Arte da Vazão Ecológica no Brasil e no Mundo estudo feito para a Unesco (SARMENTO, 2007):

**Vazão ecológica:** é a demanda necessária de água a manter num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem de outros (*sic*) de interesse científico ou cultural (J.M. Bernardo, 1996 em J. Gondim, 2006);

**Vazão ambiental:** é a vazão necessária para manter as funções dos ecossistemas que compõem o rio, nos seus leitos menores e maiores. Em outras palavras, é um valor (ou valores) que preserva as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade com o ciclo da vida das espécies silvestres, da fauna, da flora e a taxa de perturbações necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao curso de água (Jussara Cruz em J. Gondim, 2006);

**Vazão mínima residual:** é um valor de referência<sup>6</sup> que deve ser mantido no trecho de um rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água (Collischonn & Gusmão Agra, 2004 em J. Gondim, 2006);

É da opinião do autor deste trabalho que, atualmente, compreende-se que o termo "ambiental" trata de um espectro mais abrangente de assuntos e necessidades do que somente a interação entre os seres vivos e o meio ambiente a sua volta (ecologia). Incluem-se também nesse espectro a hidrologia, a geologia, a sedimentologia, a climatologia e outras ciências que lidam de forma indireta com a vida dos ecossistemas.

Infelizmente, a percepção usual do termo "ecológica" é de conservacionismo. Provavelmente, isso se deve, no setor elétrico, aos impactos negativos que projetos pretéritos de engenharia tiveram na opinião pública, como Tucurí, Balbina e Sobradinho. O resultado é a resistência geral em se aceitar o fato de que a melhor opção para o meio ambiente pode, também, ser a melhor opção para o desenvolvimento humano. Portanto, a distinção entre *ambiental* e *ecológica* é necessária para que se motive a agregação de conhecimento científico de áreas correlatas à gestão de recursos naturais, dentre eles os recursos hídricos e que se evite a postura de "interferência zero" como ponto de partida para o manejo de ecossistemas afetados por empreendimentos.

Uma das boas respostas a tal carência foi a evolução do conceito estático de "vazões" para o conceito mais dinâmico de "Hidrograma Ecológico". Ainda que o termo recorra ao adjetivo

---

<sup>6</sup> *Valor de referência:* termo usado para indicar um parâmetro numérico estabelecido por órgãos ou instituições de controle e regulação ambiental, tanto podendo ser um piso, um teto ou um valor fixo para quantidades como vazões de adução ou descarga, concentrações de poluentes, ou número mínimo de inspeções anuais. No caso em questão, ele estabelece uma média a ser mantida durante um período de estiagem ou durante todo o ano hidrológico.

previamente descrito como impopular ele representa uma maior consciência ambiental da parte do prescritor, que entende que a determinação de vazões para trechos à jusante de empreendimentos deve ser sazonalmente variável emulando elementos como pulsos de cheia estiagens e possivelmente variabilidade anual. Nesse espírito, referir-se-á aos caudais prescritos para o trecho à jusante do barramento do AHE Belo Monte como vazões ambientais (nas descrições mencionadas acima e descritos por Jussara Cruz em J. Gondim, 2006) e aos conjuntos anuais de tais caudais como Hidrogramas Ecológicos.

## Cenário nacional

Indiscutivelmente, os últimos 20 anos trouxeram uma onda expressiva de ativismo e consciência ambiental para a população brasileira, cada vez mais engajada em perseguir a já saturada idéia de sustentabilidade. Sua tolerância a abusos com o meio ambiente, lançamento de cargas poluidoras em rios e degradação de ecossistemas virgens reduziu a olhos vistos, assim como quanto à gestão mal-conduzida de recursos hídricos, que por vezes conduz à redução da biodiversidade e à extinção de populações endêmicas.

Por outro lado, a idéia quanto à gestão de tais recursos, por muito tempo, foi de atribuir valores residuais ou mínimos, mantidos em períodos críticos dos rios e apelidados de "ecológicos".

Estas idéias dão suporte à legislação relacionada ao uso dos recursos hídricos nos Estados brasileiros e são importantes porque evitam em muitos casos, que rios inteiros sejam completamente utilizados pela atividade de irrigação, chegando a secar seu leito (Collischonn, 2005). Ainda assim, apenas recentemente reconhecemos a carência de conhecimento que o país passa na gestão de seus rios e bacias hidrográficas.

Tal necessidade de estudos detalhados sobre os recursos hídricos teve um impulso recente no Brasil com a aprovação da lei das águas (9.433/97) e a criação da Agência Nacional de Águas. Através da lei 9.433/97, o governo federal brasileiro criou instrumentos de gestão das águas (planos de recursos hídricos enquadramento dos corpos de água em classes, outorga de direitos de uso de recursos hídricos, cobrança do uso de recursos hídricos, compensação a municípios e sistema de informações sobre recursos hídricos) visando minimizar os conflitos que surgiram no século passado. A outorga de direitos de uso da água exige que os órgãos gestores tenham conhecimentos das disponibilidades hídricas que serão utilizadas para fins antrópicos (FARIAS JÚNIOR, 2006).

Convencionou-se então, que a soma das demandas do meio aquático, ribeirinho e das comunidades servidas pelo corpo hídrico seriam compatibilizadas com o desenvolvimento econômico através de uma vazão, chamada na maioria dos casos de ecológica.

No Brasil, vários métodos vêm sendo utilizados para o cálculo das vazões necessárias para harmonizar os usuários da água com o ecossistema aquático. Muitos deles foram concebidos para regiões neárticas (região zoogeográfica que engloba a Groenlândia, Canadá e EUA), com características diferentes das encontradas em regiões neotropicais (região zoogeográfica que engloba a América Latina e ilhas do Caribe, como é o caso do Brasil, limitando a sua aplicação direta e gerando incertezas quanto aos resultados (FARIAS JÚNIOR, 2006).

O tema da vazão ecológica vem recebendo atenção crescente no Brasil, como demonstram os muitos trabalhos publicados recentemente (MARQUES *et al.*, 2003; GARCIA & ANDREAZZA, 2004; PELISSARI *et al.*, 1999; PELISSARI *et al.*, 2000; PELISSARI & SARMENTO, 2001; SARMENTO

& PELISSARI, 1999; SANTOS *et al.*, 2003; BENETTI *et al.*, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2003; MORTARI, 1997) muito embora poucos trabalhos têm abordado outros aspectos do regime hidrológico, além das vazões mínimas (COLLISCHON, 2005).

## Classificação

Aceita-se, geralmente, que os métodos de determinação de vazões ambientais sejam classificados da seguinte forma (LANNA & BENETTI, 2002 apud COLLISCHONN, 2006):

- Métodos Hidrológicos:
  - Vazão  $Q_{7,10}$ ;
  - Curva de Permanência de Vazões;
  - Vazão mínima anual de 7 dias;
  - Método Tennant//Montana;
  - Método da Vazão Aquática de Base;
  - Método da Mediana das Vazões Mensais e;
  - Método da Área de Drenagem.
- Métodos Hidráulicos:
  - Método do Perímetro Molhado e;
  - Método das Regressões Múltiplas.
- Métodos de Classificação de Habitats:
  - Método Idaho;
  - Método do Dep. de Pesca de Washington e;
  - Método IFIM.
- Métodos Holísticos:
  - Método de construção de blocos (BBM).
- Outros Métodos:
  - Vazão de Pulso e de enchentes.

Os métodos hidrológicos são, em suma, métodos estatísticos, que apenas lidam com as séries históricas de vazões dos rios analisados (desprezando as características físicas do rio e os ecossistemas do qual este participa). Ainda que possam revelar muito sobre o hidrograma dos corpos hídricos, são aceitos como única fonte de dados para a prescrição de vazões ecológicas em diversos estados brasileiros, como é o caso da  $Q_{7,10}$  e dos métodos da Mediana das Vazões Mensais e da Curva de Permanência de Vazões (detalhado no próximo capítulo). Outro método hidrológico popular é o de Tennant/Montana, baseado em pesquisas americanas da metade do Século XX que resultaram na prescrição de porcentagens de vazões (diferentes para estiagens e cheias) a partir do estudo de rios do estado de Montana e do meio-oeste estadunidense.

Os métodos hidráulicos, por sua vez, já incorporam uma análise mais concreta da morfologia do rio para traçar perfis de escoamento e possivelmente relacioná-los à preservação de espécies importantes ou ameaçadas. O Método do Perímetro Molhado relaciona esta característica hidráulica à sobrevivência de populações de peixes e será abordado também no próximo capítulo, de forma mais extensa, além de aplicado a dados de Belo Monte obtidos da Leme Engenharia empresa contratada para o Estudo de Impactos Ambientais (ELETROBRÁS, 2006).

Métodos de Classificação de Habitat são aplicados pela análise de características dos corpos hídricos e categorização destes, comparando-os com estudos pretéritos e então prescrevendo vazões sazonais referenciadas como percentuais das vazões naturais de tais corpos. São bem regionalizados, mas, assim como os métodos holísticos, são os mais completos em termos de

consideração de aspectos ambientais (Benneti et al., 2003). Estes métodos podem considerar aspectos econômicos, valorando a disposição de pagar pela preservação ambiental e os benefícios gerados pelo uso da água, buscando o ponto ótimo da quantificação da vazão ecológica (Pante et al., 2004 apud Collischonn, 2005). Os Métodos Idaho e do Dep. de Pesca de Washington estão mais relacionados a rios específicos, porém a metodologia IFIM é reconhecida nos EUA como válida para 38 agências reguladoras estaduais (Tabela 3, pg 29).

## Limitações

Como as metodologias, das mais simples às mais complexas, dependem de bases de dados mais ou menos amplas (no espaço, tempo e na multidisciplinaridade), a primeira limitação destas é a confiabilidade dos dados. As séries históricas de vazões, pluviosidade e nível d'água são as mais básicas, sendo aferidas em campo com instrumentos variados: o primeiro acúmulo de erro, portanto, se dá pelo uso de séries históricas registradas por aparelhos com níveis de precisão diferentes, operados por pessoas com capacitações técnicas e metodologias diversas e em frequências raramente coincidentes.

Sites eletrônicos como o Hidroweb, da ANA ([hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)) fornecem séries de bacias, sub-bacias, municípios estados e estações de medição, assim como informações complementares, como altitude, umidade relativa média e outras; infelizmente não há uniformidade entre as medições, já que várias entidades diferentes contribuem com séries próprias e muitos períodos, bem como corpos hídricos deixam de ser representados.

Esta, portanto, é a segunda limitação para a determinação de vazões ambientais no Brasil: a falta de capacitação técnica, uniformidade metodológica e representatividade espacial e temporal dos dados. Essa carência é notória em diversas áreas de pesquisa e desenvolvimento, não apenas na Hidrologia e vem até mesmo fazendo parte dos discursos de campanha de diversos candidatos a cargos políticos.

Em terceiro lugar, muitas metodologias mais completas, tipicamente aquelas de classificação de habitats e holísticas, tendem a representar bem uma região específica de um ecossistema, com rios razoavelmente próximos em morfologia ou mesmo biodiversidade; por conseguinte, é em nações com investimentos em ciência e pesquisa mais vultosos que tais métodos são desenvolvidos. Por exemplo, apesar de o Brasil ser notadamente um grande detentor de recursos hídricos a nível mundial, não há metodologia reconhecida baseada em quaisquer grupos de rios nacionais. Isso afeta a aplicabilidade e, por consequência, a popularização de métodos mais completos.

## Capítulo III – Análise Metodológica

Neste capítulo, serão feitas, ao mesmo tempo, uma descrição do método escolhido pelo pesquisador e encarregado da Avaliação dos Impactos Ambientais dos Reservatórios e do hidrograma sugerido para o Trecho de Vazão Reduzida, J.G. Tundisi e uma análise crítica das considerações e escolhas feitas pelo mesmo. Para tal, tomou-se por referência a terceira parte do Capítulo 10 do EIA de Belo Monte, intitulado "Avaliação de Impactos", bem como os apêndices deste capítulo e a Nota Técnica emitida pelo IVIG sobre o relatório de modelagem matemática e de qualidade da água apresentado no EIA.

Em seguida, será feita uma breve descrição dos métodos de: Curva de Permanência, um dos mais utilizados para determinação da "vazão ecológica" para trechos de vazão reduzida no mundo todo; IFIM-PHABSIM, método de Classificação de Habitats bem trabalhado por muitos autores; e MPM, ou Método do Perímetro Molhado, método hidráulico com baixa demanda de dados, a ser aplicado no próximo capítulo em seções transversais do TVR do Rio Xingu.

### Análise Metodológica – Hidrograma Ecológico do EIA Belo Monte

#### Definição das Áreas Afetadas

Na primeira fase de qualquer licenciamento ambiental, a proposta é avaliar o empreendimento dentro da área desejada pelos seus projetistas, dando destaque aos seus impactos e às formas de acompanhamento e atenuação dos mesmos. Desta forma, fica evidente que a Licença Prévia só faz sentido na lógica da localidade observada e por isso é tão importante mencionar, mesmo que brevemente, as Áreas de Influência do empreendimento.

No total, quatro regiões são descritas: ADA (Área Diretamente Afetada), AID (Área de Influência Direta), AII (Área de Influência Indireta) e AAR (Área de Abrangência Regional).

De acordo com o Capítulo 6 - Áreas de Influência, do EIA - AHE Belo Monte, o foco da metodologia de definição das áreas foi a bacia hidrográfica onde está inserido o empreendimento, sendo a referência legal o grupo de critérios técnicos estabelecidos nas resoluções CONAMA nº 01/86 e nº 302/02.

Basicamente, a ADA engloba áreas destinadas à instalação da infra-estrutura necessária à implantação

e operação do empreendimento, áreas inundadas e respectivas áreas de preservação permanente – APP; trechos afetados por redução de vazão, barramentos, diques, canais; pontos de localização de obras civis decorrentes ou associadas ao empreendimento como vilas residenciais, alojamentos, canteiros de obras, vias de acesso aproveitadas ou novas, área de empréstimo, bota-foras, linhas de transmissão e áreas de segurança, impostas pela tipologia do empreendimento (Termo de Referência do EIA/RIMA do AHE Belo Monte, IBAMA, 2007, *apud* ELETROBRÁS 2006).

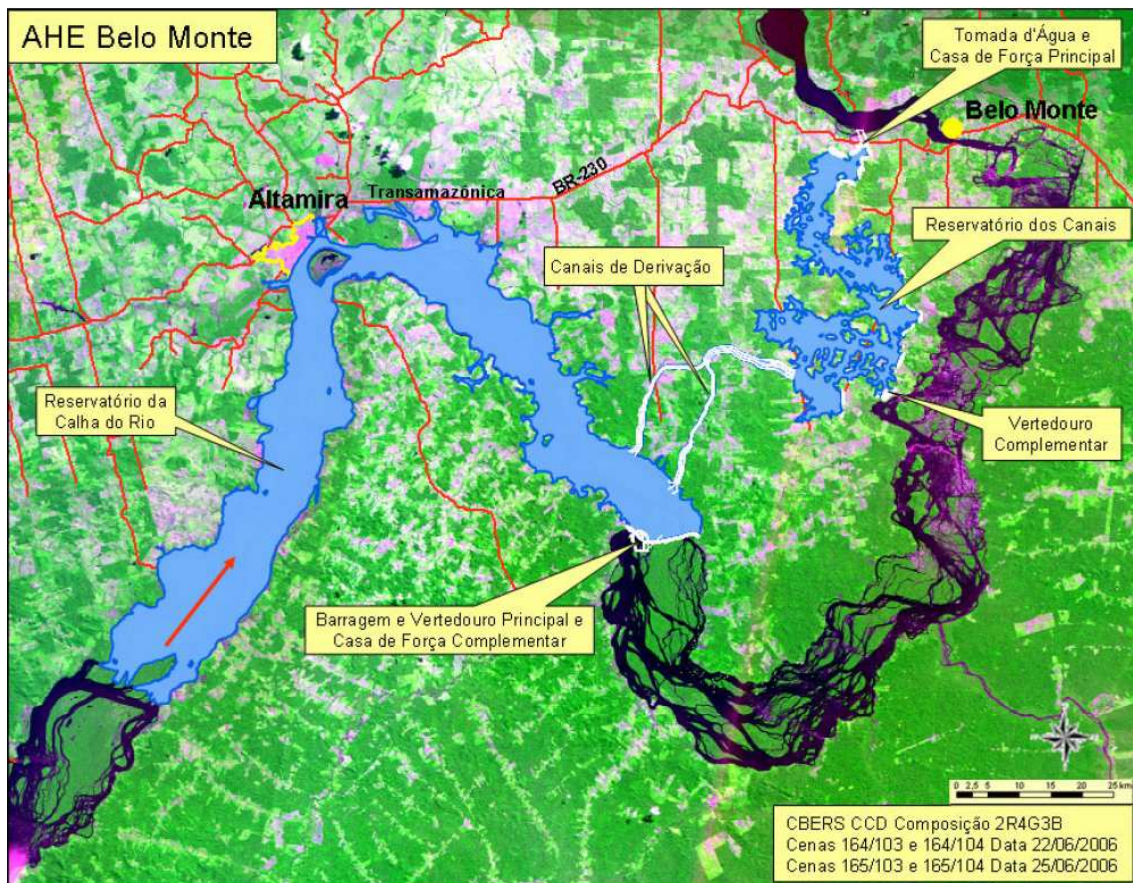


Figura 2 - ADA: Área Diretamente Afetada. Fonte: III Fórum Técnico "Plano de Atendimento à População Atingida: Principais Diretrizes" ELETROBRÁS /UFPA, outubro de 2008.

A AID abrange a ADA e as áreas diretamente impactadas pelo empreendimento, sendo a soma do polígono de utilidade pública, dos reservatórios, Trecho de Vazão Reduzida, Áreas de Proteção Permanente e da Área de Entorno de Reservatório Artificial.



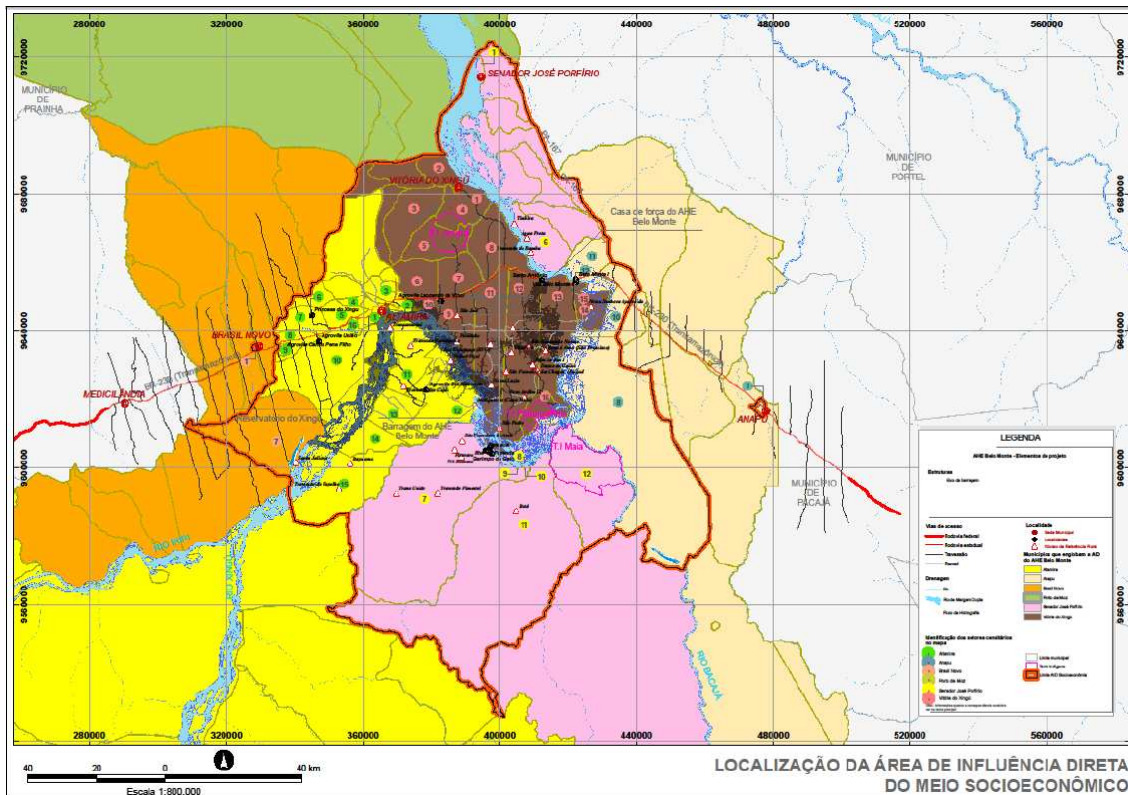


Figura 3 - AID: Área de Influência Direta. Fonte: III Fórum Técnico "Plano de Atendimento à População Atingida: Principais Diretrizes" ELETROBRÁS/UFPA, outubro de 2008.

A AII circunscreve a AID, sendo aquela que pode ser potencialmente atingida pelos impactos diretos da implantação e operação do empreendimento. Por sua vez, a AAR é a área objeto da caracterização macrorregional dos estudos, com o objetivo de situar, no seu contexto espacial,

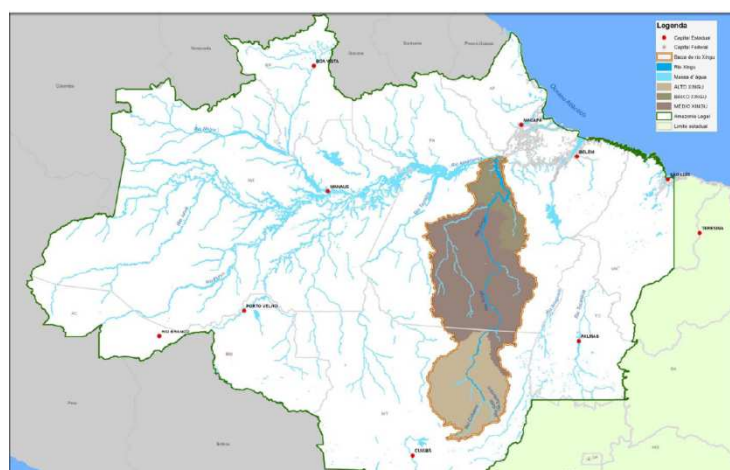


Figura 4 e 5 - AII (Área de Influência Indireta) e AAR (Área de Abrangência Regional). Fonte: III Fórum Técnico "Plano de Atendimento à População Atingida: Principais Diretrizes" ELETROBRÁS /UFPA, outubro de 2008.

os eventuais impactos cumulativos decorrentes de outros empreendimentos propostos para essa região. Geograficamente, é a bacia hidrográfica do Xingu, como se pode ver na figura 5.

### **Definição de Limites para o Hidrograma Ecológico**

As seções que tratam da análise de hidrogramas e vazões a serem liberadas para o trecho da Volta Grande do Xingu, a jusante da barragem do Sítio Belo Monte, são o Capítulo 10 - Avaliação de Impactos, parte 3 e os apêndices do mesmo, sendo o segundo, intitulado "Apêndice 10.2 - Modelagem Matemática e Ecológica do AHE Belo Monte", mais direcionado para a análise hidráulica e de qualidade de água dos reservatórios e das vazões afluídas ao TVR.

Entre as diversas ações ambientais propostas para mitigar os diversos impactos do empreendimento está o Hidrograma Ecológico, proposto no item a.7 da terceira parte do capítulo 10. Este hidrograma é proposto em alternativa àquele descrito no Estudo de Viabilidade de Belo Monte, que, de acordo com as informações no EIA, "varia de 200 m<sup>3</sup>/s na estiagem e 2000m<sup>3</sup>/s na cheia".

A primeira definição feita sobre o estudo do Hidrograma Ecológico é de que a vazão mínima do rio Xingu a ser usada como referência seria de 1017 m<sup>3</sup>/s e que, conforme "análises comparativas do escoamento entre vazões dessa ordem e vazões de 700 m<sup>3</sup>/s e análises das imagens de satélite para essas condições mostraram que não existem diferenças significativas de escoamento entre esses dois valores" e portanto, aliado ao fato da curva de permanência de vazões mínimas mensais anuais indicar que em 43% do tempo essa vazão é ultrapassada, o autor conclui que o TVR deveria receber 700 m<sup>3</sup>/s e o restante deveria ser mantido no reservatório de canais para oxigenação e renovação da água. Importante notar a ausência de qualquer detalhamento sobre tais análises de escoamento e de imagens.

Como será comentada mais adiante, a apresentação do Apêndice 10.2, que trata da modelagem da qualidade de água dos reservatórios é omissa em diversas explicações de metodologia e base de equações, deixando dúvidas sobre o quanto seria válido derivar qualquer vazão para o reservatório dos canais, sem se conhecer mais detalhadamente as características de tal reservação, que hão de mudar sazonalmente e, talvez permanentemente, devido ao número ainda desconhecido de imigrantes para a região de Altamira. Tal população poderá gerar esgoto e poluição difusa em quantidades excessivas para o tratamento previsto a para a cidade, lançando efluentes que alterarão a qualidade da água do reservatório e conseqüentemente do TVR.

A escolha do valor de 700 m<sup>3</sup>/s, de acordo com o autor do estudo, também se justificaria por ser a vazão mínima necessária para a navegabilidade do trecho da Volta Grande. Novamente, a informação não é referenciada.

Dois conjuntos de premissas indicam as maiores preocupações do autor sobre as demandas atendidas pelo Hidrograma Ecológico. O primeiro conjunto trata da manutenção de parte dos habitats necessários para garantir o equilíbrio hidrossocial do TVR:

"que as coletas de ictioplânctons identificaram uma grande quantidade de peixes desovando ao longo da área de estudo, no mês de fevereiro de 2008, na enchente, quando o rio tinha uma vazão de aproximadamente 8000 m<sup>3</sup>/s e as formas larvais encontradas dentro das lagoas indicavam que a desova vinha ocorrendo desde alguns dias, nesses ambientes;

informações de campo indicando algumas poucas áreas de planícies nas ilhas inundadas para vazões de 7000 m<sup>3</sup>/s e pedrais completamente submersos para essa vazão e áreas secas com canais em ilhas sem conexão com o rio em condições de vazão de 3500 m<sup>3</sup>/s com parte dos pedrais emersos;

análises de sobreposições de imagens de satélite que indicaram principalmente o limite de vazão a partir do qual os pedrais ficam emersos."

O segundo conjunto trata de patamares de vazões capazes de provocar interferências bastante distintas no ecossistema para a análise das vazões de cheia, que indica uma preocupação em manter pulsos de cheias e inundações sazonais:

"Vazões máximas de 4000 m<sup>3</sup>/s, onde não se formam ambientes de inundações das planícies aluviais e somente os pedrais ficam parcialmente cobertos de água;

Vazões máximas de 8000 m<sup>3</sup>/s, onde o ambiente de pedrais fica totalmente submerso e inicia-se a formação de ambientes de inundação em algumas partes mais baixas das ilhas, criando ambientes de reprodução, alimentação e refúgio da fauna."

De forma lógica, já que foi considerada verdadeira a premissa de que a vazão mínima para navegação no TVR é de 700 m<sup>3</sup>/s, não haveria como manter a população ribeirinha local nos períodos de estiagem se fosse seguido o hidrograma do Estudo de Viabilidade.

Portanto, sem muitos dados referenciados, o autor inicia sua análise limitando em 700 m<sup>3</sup>/s as vazões de estiagem e em 8000 m<sup>3</sup>/s as vazões de cheia, ressaltando também a importância do pulso hidrológico ser respeitado pela forma de tal hidrograma, como ferramenta para viabilizar desovas, recrutamentos, inibição de invasões e conectividade longitudinal e transversal de fluxos e nutrientes.

## Cenários observados

Tendo encontrado limites para o Hidrograma Ecológico, o autor procede para analisar cenários por ele escolhidos para representar as opções de gerenciamento do TVR. Inicialmente, a justificativa apresentada é de que, "no caso do desvio do curso d'água para os canais de derivação em detrimento ao suprimento hídrico da Volta Grande do rio Xingu, processos ecológicos econômicos e sociais dependentes deste trecho tendem a sofrer impactos negativos em suas atividades usuais em favor da geração de eletricidade". Assim, dividem-se os cenários em quatro categorias:

*I - Cenários críticos ambientais:* vazões maiores que 700 m<sup>3</sup>/s, durante a época de estiagem e que 4000 m<sup>3</sup>/s, durante as cheias;

*II - Cenários de sustentabilidade do ecossistema da Volta Grande:* vazões de cheia iguais a 8000 m<sup>3</sup>/s (supostamente garantindo transversalidade e conectividade do rio com as planícies, tal como a manutenção de diversidade e estoque de nutriente) e vazões de estiagem maiores que 700 m<sup>3</sup>/s;

*III - Cenários críticos de energia:* vazões de cheia em valores semelhantes aos naturais, mantendo inundação de ilhas e da planície aluvial.

*IV - Cenários de combinação dos cenários anteriores:* alternância entre cenários de tipo I e II, de ano para ano.

Os cenários produzidos somam onze e são detalhados no quadro abaixo:

Tabela 2: Cenários para o Hidrograma Ecológico do TVR de Belo Monte

Tipo	Cenário	Nome	Descrição	Vazão máxima(m <sup>3</sup> /s)	Vazão mínima(m <sup>3</sup> /s)
I/III	1	Menor cheia observada (1998)	Cenário de segurança ambiental, baseado na repetição do hidrograma com menor volume e vazão de pico no período de observação. Situação ambiental mais crítica da série histórica 1971-2007.	12627	680
III	2	Cheia TR = 1,5 anos (1992-93)	Cenário de segurança ambiental baseado na cheia de 1,5 anos de tempo de retorno, para a qual os rios normalmente iniciam, o extravasamento da calha. Situação ambiental pouco crítica já ocorrida no local.	20846	1244

Tabela 2: Cenários para o Hidrograma Ecológico do TVR de Belo Monte (CONTINUAÇÃO).

III	3	Cheia TR = 2 anos (1983-84)	Cenário de segurança ambiental baseado na cheia de 2 anos de tempo de retorno, para a qual os rios inundam as margens. Situação ambiental confortável ocorrida no local.	22422	1017
I	4	Frações das vazões médias mensais	Cenários de manutenção de vazões mínimas com variação mensal, com limite inferior de 700 m <sup>3</sup> /s	7557	700
II	5	Hidrograma colado	Cenário de manutenção de processos ecológicos associado à cheia de 8000 m <sup>3</sup> /s durante um mês, com antecipação da recessão.	8000	Natural
II	6	Pulso de 8000	Cenário de manutenção de processos ecológicos associado à cheia de 8000 m <sup>3</sup> /s durante um mês.	8000	680
I	7	Pulso de 4000	Cenário de manutenção de processos ecológicos associado à cheia de 4000 m <sup>3</sup> /s durante um mês.	4000	680
-	8	DNAEE	Cenário de vazão constante extremamente baixa, baseado no critério antigo de DNAEE, de 1984.	511	511
-	9	Q90	Cenário de vazão constante baseada na Q90 da curva de permanência.	1193	1193
IV	10	Pulsos alternados 4000 e 8000	Cenário de alternância de picos de vazão com maior ou menor potencial de manutenção de processos ecológicos.	8000 ou 4000	680
-	11	Viabilidade	Hidrograma utilizado no estudo de viabilidade	2000	200

Fonte: ELETROBRÁS (2006).

Vale ressaltar que, apesar de ter definido os quatro grupos de cenários e os 11 cenários simulados, não foi feita qualquer correlação clara entre qual cenário pertenceria a qualquer grupo, sendo de responsabilidade do autor deste presente trabalho a atribuição encontrada na tabela acima.

Os cenários 1, 2 e 3 são a reprodução de hidrogramas anuais, sendo que o primeiro corresponde à menor cheia observada, no ano de 1998, o que o coloca em alinhamento com os grupos III, de cenários críticos de energia e I, cenários críticos ambientais, já que é a situação ambiental mais crítica da série histórica local, de acordo com o estudo.

Para os cenários 2 e 3, a escolha se deu pela justificativa do tempo de retorno das cheias: citando Leopold et al. (1964) e Trush et al. (2000), o autor afirma que a capacidade de vazão do leito menor de um rio varia entre vazões com 1,5 e 2 anos de TR, a partir das quais ocorre o extravasamento da calha e a inundação das margens e planícies adjacentes ao rio. A intenção, portanto, é de se analisar cenários no limite inferior da faixa de vazões capazes de inundar margens.

Os cenários 4 e 7, possivelmente atribuídos ao grupo I (já que respeitam o patamar de 4000 m<sup>3</sup>/s para cheias), prescrevem vazões para um mês ou mais, sendo o quarto baseado em frações das médias mensais e o sétimo limitado entre março e abril, a 4000 m<sup>3</sup>/s e no período de "estiagem" (junho a fevereiro), a 680 m<sup>3</sup>/s, com um pequeno pulso no meio de maio, como pode se ver da Figura 6.

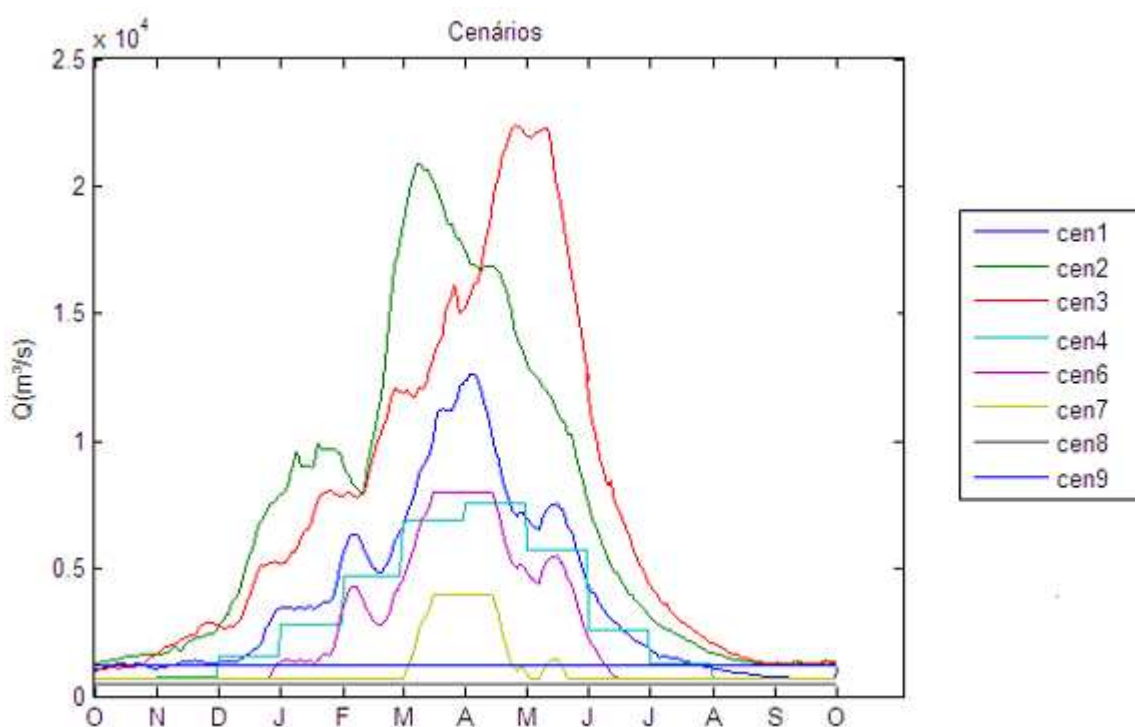


Figura 6 - Hidrograma dos cenários observados e simulados para o TVR do AHE Belo Monte (EIA AHE Belo Monte ELETROBRÁS, 2006).

O cenário 5, não representado na figura, é chamado de Hidrograma "colado" por manter, no TVR, a mesma vazão afluente ao local da barragem até que esta atinja o valor de 8000 m<sup>3</sup>/s, que deve ser mantido por 30 dias e então reduzido seguindo um "comportamento de recessão semi-natural, já que foi observado anteriormente, porém adiantado no tempo". Exatamente em que se baseia tal comportamento (frações de vazões médias semanais, regressão linear etc.) não é explicitado. Nota-se que só é prevista geração de energia a partir do momento em que a vazão afluente ultrapasse os 8000 m<sup>3</sup>/s, o que não deixa de acontecer em Março e Abril desde o início da série histórica de 1936 a 2003 (CARDINOT, 2007).

O cenário 6 tem sua forma baseada no hidrograma de 1998, do cenário 1, com uma cheia máxima de 8000 m<sup>3</sup>/s para o TVR. Como foi observado mais adiante no estudo, os cenários 6 e 7 são os menos razoáveis para contemplação, pois o *case* de Belo Monte, desde o início, tem sido vendido dentro da lógica da complementação do SIN, onde o Aproveitamento geraria energia durante a cheia do rio Xingu, de março a junho, permitindo que outros sistemas hidrelétricos incrementem seu reservatório para o resto do ano. No cenário 6 e 7, porém, Belo Monte produz menos exatamente na época de cheia.

Os cenários 8 e 9 utilizam, respectivamente, a metodologia do DNAEE, de 1984 (80% da vazão média mínima mensal, igual a 511 m<sup>3</sup>/s) e a vazão com permanência de 90%, a Q90, igual a 1193 m<sup>3</sup>/s. Nota-se que o primeiro cenário não respeita o limite inferior de estiagem previamente determinado pelo autor, de 680 m<sup>3</sup>/s para navegação no TVR e o segundo não respeita o limite de 4000 m<sup>3</sup>/s para cheias.

O cenário 10 alterna os hidrogramas anuais dos cenários 6 e 7, pela regra de operação de, caso o hidrograma do cenário 6 seja satisfeito em um determinado ano, o seguinte há liberdade para satisfazer apenas o hidrograma do cenário 7, sendo repetido o cenário 6 caso este não seja satisfeito no ano anterior. Com isso, pretende-se possibilitar maior geração de energia elétrica do que o cenário 6, partindo do pressuposto que o ecossistema da região do TVR terá tolerância à alternância de anos mais e menos críticos (EIA do AHE Belo Monte eLETROBRÁS, 2006), fato não referenciado a qualquer item do estudo ou justificado bibliograficamente.

O cenário 11 apenas reproduz o hidrograma prescrito e já descartado anteriormente pelo autor, pelo Estudo de Viabilidade, onde é prevista a liberação de uma cheia com vazão máxima de 2000 m<sup>3</sup>/s e mínima de 200 m<sup>3</sup>/s na Volta Grande do rio Xingu. A simulação do cenário é justificada por servir para comparação.

## **Metodologia de Simulação**

Todo o processo aplicado no estudo consiste em determinar as vazões liberadas para o TVR e turbinadas para gerar energia, através da simulação de cada cenário para as vazões da série histórica de 1971 a 2007, registradas no posto de Altamira. Os dados específicos do posto não foram informados.

Os cenários ditam a regra para as derivações do TVR enquanto o limite para o direcionamento de vazões aos Canais de Derivação para geração de energia é de 14000 m<sup>3</sup>/s. A figura abaixo apresenta o fluxograma da rotina para cada dia de simulação:

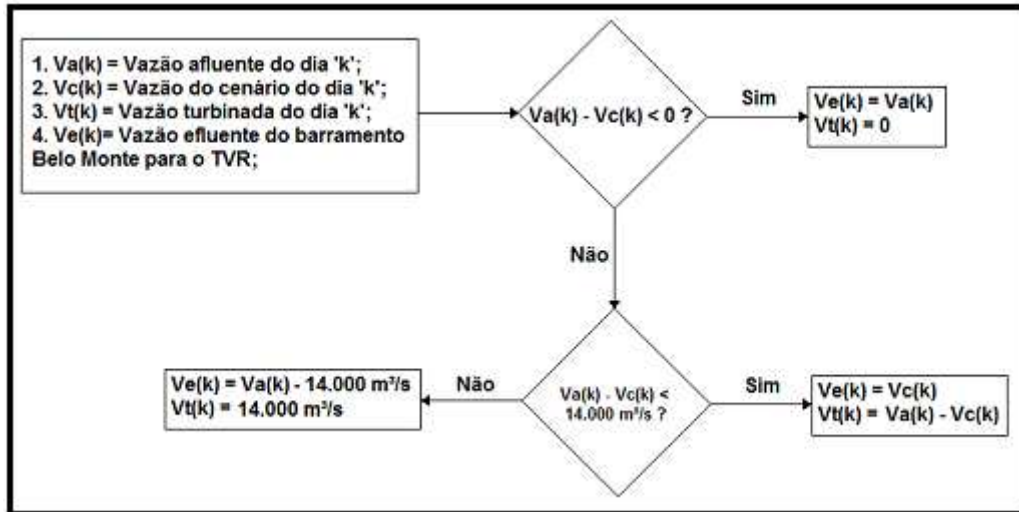


Figura 7 - Fluxograma da rotina de simulação de cenários para o Trecho de Vazão Reduzida do rio Xingu. Elaboração própria.

Sendo assim, os resultados são plotados para comparar a vazão turbinada no cenário, bem como a liberação de vazões para o TVR. Para cada cenário o autor compôs dois hidrogramas, de outubro de 1983 a outubro de 1984 e no mesmo período de 1998 a 1999. Ele ainda caracteriza o regime hidrológico direcionado ao TVR e as vazões direcionadas à geração hidrelétrica por dois respectivos quadros, com quatro gráficos cada: estatísticas anuais de vazões máximas, mínimas e médias; estatísticas diárias de vazões máximas, mínimas e médias; curva de permanência de vazões e a sobreposição de três hidrogramas típicos.

### Modelagem Matemática e Ecológica do AHE Belo Monte

No apêndice 10.2, com o referido título encontra-se o relatório de um estudo, feito pelo mesmo autor da análise e proposição do Hidrograma Ecológico do TVR, que o descreveu como tendo o objetivo de “analisar os possíveis futuros impactos dos usos da bacia hidrográfica, da descarga de poluentes de fontes pontuais e não pontuais, no reservatório principal especialmente na qualidade da sua água e no reservatório dos canais e a jusante dos dois reservatórios; produzir cenários referentes às variáveis físico-químicas, relacionadas à diferentes vazões ao reservatório principal, (sic) ao reservatório dos canais com a finalidade de avaliar as respostas da qualidade da água nos vários compartimentos em relação às regras de operação; promover através do processo de modelagem matemática e ecológica as melhores alternativas e soluções e possibilitar previsões de condições futuras que demandem ações preventivas” (EIA Belo Monte, 2006).

Como a modelagem matemática e ecológica não é o tema deste trabalho evitar-se-á a descrição do capítulo, pois se torna mais relevante apontar as críticas feitas a este pelo consultor do IBAMA Marcelo Cabral em nota técnica escrita para o IVIG, da COPPE-UFRJ (CABRAL, 2009). Nesta nota, o consultor avaliou o relatório e fez recomendações contundentes para sua reestruturação.



Entre as principais críticas é colocada a falta de qualquer justificativa para a seleção dos modelos e procedimentos utilizados, ainda mais agravada pelo fato de serem bastante simplificados e muito aquém da tecnologia atualmente disponível para estudos de modelagem.

Outra falha criticada, que em muito interessa ao presente trabalho, é a omissão do relatório em contemplar o TVR do rio Xingu no estudo de modelagem de qualidade de água. Os gráficos apresentados no tem 4.5 do relatório, "Simulação para o Trecho de Vazão Reduzida", aparentam terem sido compostos de resultados apresentados como "simulações", mas não passando de parametrizações relacionando as vazões e as variáveis de qualidade de água medidas nas campanhas.

Por último, a principal omissão do relatório parece ser em relação à estimativa das cargas difusas da bacia hidrográfica que drena para o reservatório principal, que não leva em consideração os possíveis incrementos nas taxas de desmatamento nem qualquer outra variabilidade temporal que possa ocorrer devido a causas naturais ou antrópicas.

Isto se configura em um problema para a determinação da vazão ecológica, pois sem saber dos possíveis cenários futuros de incremento nas taxas de fósforo e nitrogênio das cargas difusas o autor afirma, no Apêndice 10.4: "Toda a avaliação feita baseou-se no pressuposto de que a qualidade de água no reservatório do rio Xingu é boa para manutenção da vida aquática."

Frente a tal afirmativa e às críticas feitas pelo consultor do IBAMA, é questionável a capacidade dos estudos de preverem as vazões necessárias para manter o TVR do rio Xingu em condições razoáveis de conservação. Possivelmente, outros impactos hão de ser avaliados, como o potencial de eutrofização em épocas de estiagem.

## **Análise Metodológica – Curva de Permanência, MPM e IFIM-PHABSIM**

Se fossem pesquisadas, no dia 7 de agosto de 2010, as referências da ferramenta Google para o verbete "environmental+flows" (vazões ambientais), o número ultrapassaria os 40 milhões de resultados. Por sua vez, o verbete "instream+flow" (vazão ecológica) resultaria em quase 1 milhão de achados. Muitos seriam apenas citações, mas se 1% se relacionasse com estudos de metodologia estaríamos lidando com mais de 10 mil artigos. Através do site "Environmental Flow Methodologies" (<http://dw.iwmi.org/ehdb/efm/Visitors/viewallreference.asp?Alpha=R>) pode-se encontrar uma lista em ordem alfabética com mais de 500 documentos relacionados ao tema.

Isso só reforça a idéia de que as possibilidades metodológicas para a análise de vazões ambientais são imensas. Métodos com diversos graus de complexidade estão disponíveis para estudos com mais ou menos demanda de dados estatísticos, físicos e ecológicos. Ao se tratar de um empreendimento como Belo Monte espera-se que o rigor científico e o investimento na pesquisa sejam marcas do estudo ambiental, já que ele pode representar a etapa mais importante no orçamento e prevenção de gastos ambientais imprevistos e indesejados.

Infelizmente, as muitas metodologias disponíveis foram postas de lado em detrimento de um método "contemplativo", pouco justificado e bem determinístico de análise de cenários pré-estabelecidos. Torna-se interessante, do ponto de vista acadêmico, revisar metodologias mais usadas e consagradas, para entender as possíveis alternativas a tal tipo de procedimento.

Apresentar-se-ão três métodos: o Método do Perímetro Molhado, a Curva de Permanência e o método IFIM - PHABSIM. O primeiro faz uma análise hidráulica de seções transversais; o segundo trabalha com a série histórica de mínimas médias do corpo hídrico e o terceiro procede para buscar a manutenção dos habitats locais.

Ao final, será feita a Tela Estratégica dos métodos, um tipo de gráfico desenvolvido e detalhado no livro Blue Ocean Strategy (KIM & MAUBORGNE, 2005). A proposta é comparar diferentes estratégias, métodos ou modelos entre si, tomando como parâmetros características em comum com a atividade relacionada a estes e às expectativas de seus usuários em relação à sua performance. Um parâmetro será sempre plotado no eixo horizontal e o eixo vertical referencia em baixa, média ou alta a correlação deste com as estratégias em questão.

### **Método da Curva de Permanência**

O Método da Curva de Permanência é um dos que se enquadram na categoria de Métodos Hidrológicos. Relaciona a vazão com a sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Este método utiliza valores da curva de permanência para estabelecer vazões ecológicas em uma base diária, mensal ou anual. A curva de permanência é calculada através de dados históricos de vazões, os quais são ordenados de forma crescente.

O procedimento consta das etapas:

- Para a série de vazões  $Q(t)$ , determinar o maior e o menor valor da série;
- Determinar intervalos de classe entre o maior e menor valor;
- Determinar quantas vazões estão contidas em cada intervalo;
- Obter a distribuição de frequência

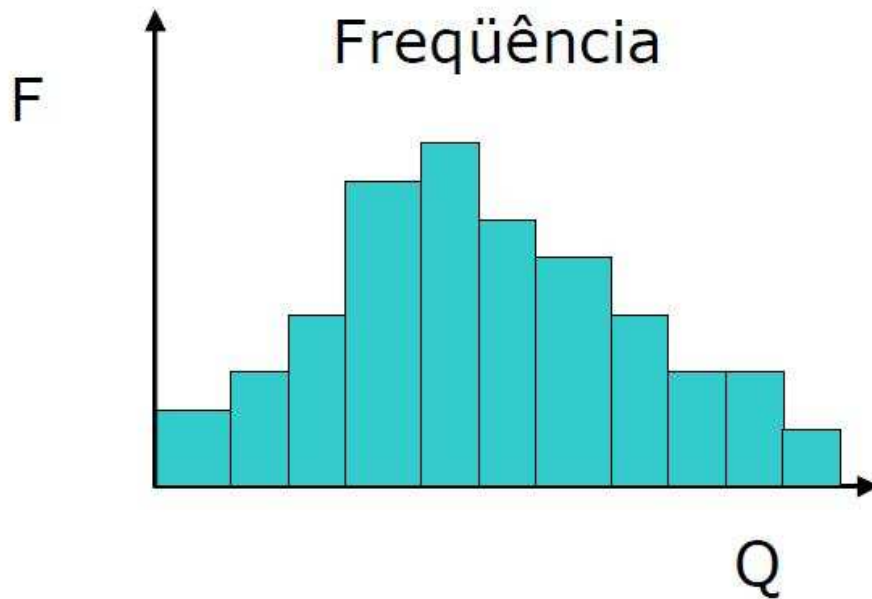


Figura 8 - Frequência relativa de vazões. Fonte: IPH, 2006, apud PAULO, 2007.

- Acumular os valores do intervalo maior para o menor,
- Plotar os valores num gráfico com o valor do limite inferior do intervalo obtendo-se a curva de permanência

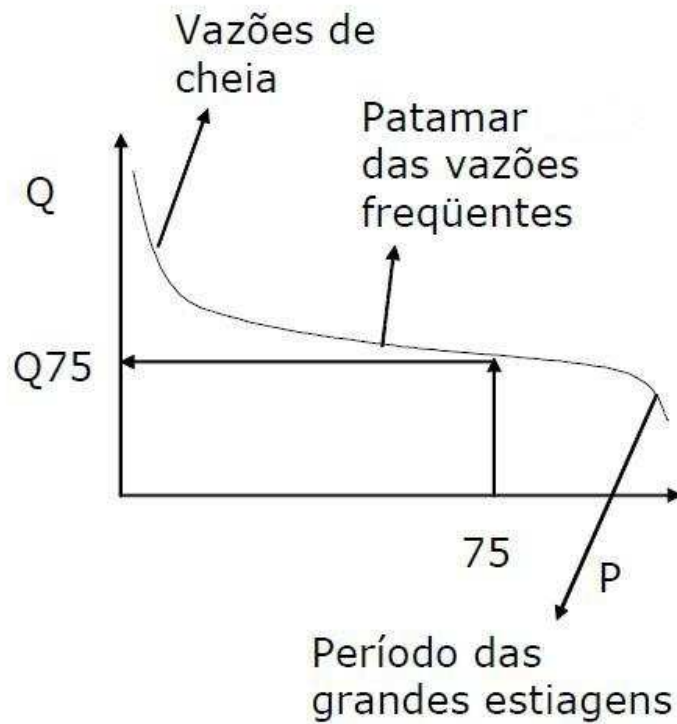


Figura 9 - Curva de Permanência. Adaptado de: IPH 2006, apud PAULO 2007.

A vazão de 75% da curva de permanência significa que em 75% do tempo as vazões são maiores ou iguais ao valor de Q75. O período das grandes estiagens geralmente ocorre para probabilidades superiores a 95% (IPH, 2006, apud PAULO, 2007).

A curva de permanência é utilizada para avaliar a distribuição do comportamento da vazão ao longo do tempo e não para valores extremos (PAULO, 2007). Em alguns estados do Brasil, a vazão ecológica tem sido baseada na vazão com 90% de permanência (Q90) multiplicada por um fator que varia entre 0,05 e 0,20. Cabe notar que essa metodologia também é destituída de significado ecológico, sendo estipulada a partir de critérios de outorga definidos pelos estados. Nenhum desses parâmetros tem uma clara associação com as alterações causadas nas características hidráulicas do trecho fluvial e, muito menos, com os efeitos sobre a biota do local. De fato, sob a ótica ambiental, tais metodologias estão sendo consideradas cada vez menos recomendáveis (REIS, 2007).

De acordo com PAULO (2007), que estuda o efeito de algumas metodologias sobre o trecho de vazão reduzida da Usina de Capim Branco, MG, "os resultados obtidos mostram que o Método do Perímetro Molhado define um valor de vazão ecológica maior do que os métodos usualmente utilizados, como o Método de Tennant e o de Curva de Permanência". A grande restrição ao método, no entanto, é que ele requer muita pesquisa para estabelecer e verificar as relações da biologia com os parâmetros hidrológicos em proposição para uso (SARMENTO, 2007).

Para o rio Xingu, o gráfico a seguir cruza as suas vazões médias diárias, de 1971 a 2008, com a sua frequência relativa.

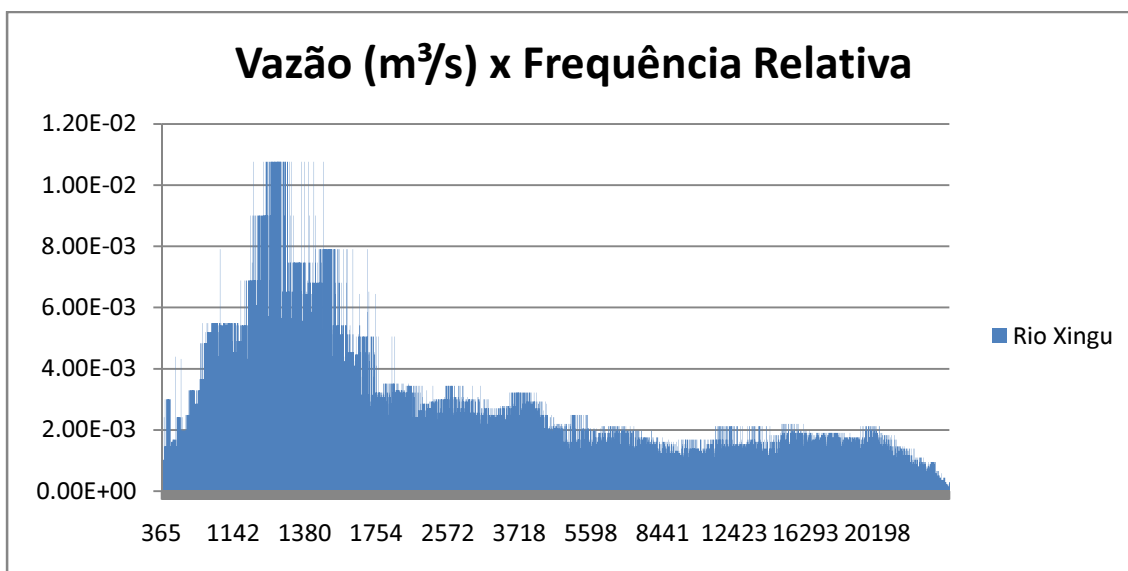


Figura 10 - Gráfico de Frequências Relativas das vazões médias diárias do rio Xingu, entre 1971 e 2008, como informado pelo posto da ANA em Altamira, através do Hidroweb. Elaboração própria.

De posse de tais informações, pode-se compor a Curva de Permanência, que está plotada no gráfico da Figura 11:

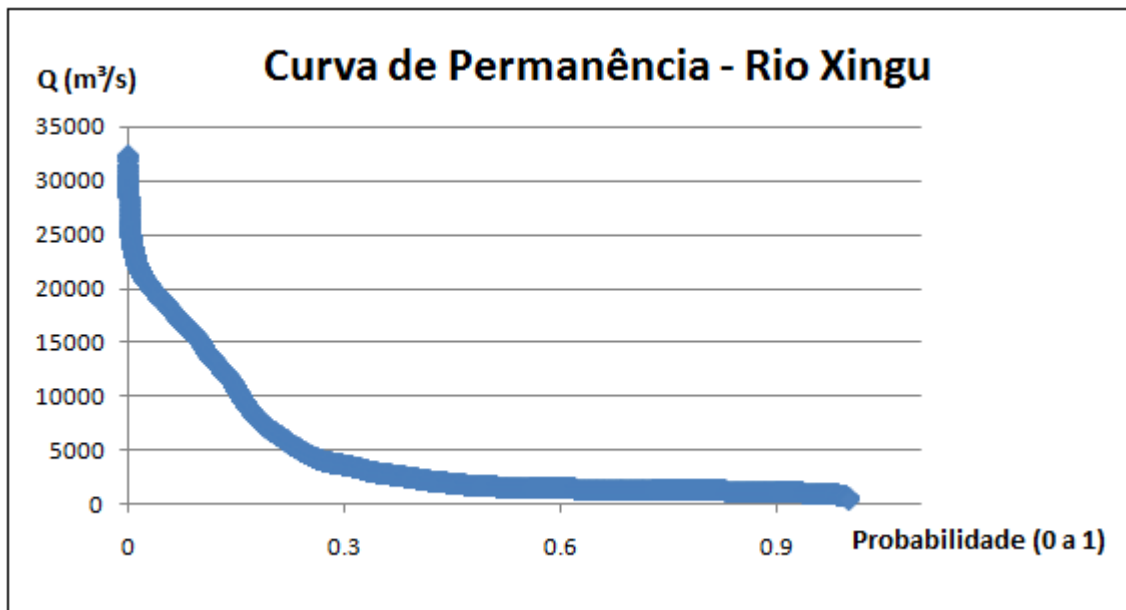


Figura 11 - Gráfico da Curva de Permanência do rio Xingu, entre 1971 e 2008, como informado pelo posto da ANA em Altamira, através do Hidroweb. Elaboração própria.

### Método do Perímetro Molhado - MPM

Esta é uma metodologia que se encaixa no grupo dos Métodos Hidráulicos. Algumas discordâncias sobre o ano de criação de tal método levam autores a creditar o primeiro uso deste a White, 1976, que desenvolveu um procedimento baseado na análise comparativa entre os caudais que escoam num curso de água e os correspondentes perímetros molhados, no pressuposto de que existe uma relação diretamente proporcional entre tais perímetros e a capacidade biogênica do rio (PORTELA, 2004).

Outros autores simplesmente referenciam o ano de 1983 como seu ano de elaboração, apontando que tal metodologia admite a existência de uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de habitat para a ictiofauna (Annear e Conder, 1984, *apud* SARMENTO, 2007).

O Método do Perímetro Molhado supõe que as necessidades de desova e passagem de peixes em um rio são garantidas quando é mantida uma descarga mínima que é determinada em uma curva relacionando perímetros molhados com vazões. Tipicamente, o analista escolhe um trecho considerado crítico para a manutenção das funções dos organismos aquáticos. Em uma ou mais seções no trecho escolhido, medem-se descargas e os correspondentes perímetros molhados (BENNETI, LANNA & COBALCHINI, 2003), com o intuito de caracterizar a variação do perímetro molhado com o aumento de vazão. O principal ponto de inflexão desta curva (Figura 10) representa o momento no qual o aumento da vazão significa uma variação pouco representativa do perímetro molhado. A vazão correspondente ao ponto de inflexão é a vazão recomendada (FARIAS JÚNIOR, 2006).

Perímetro molhado, P

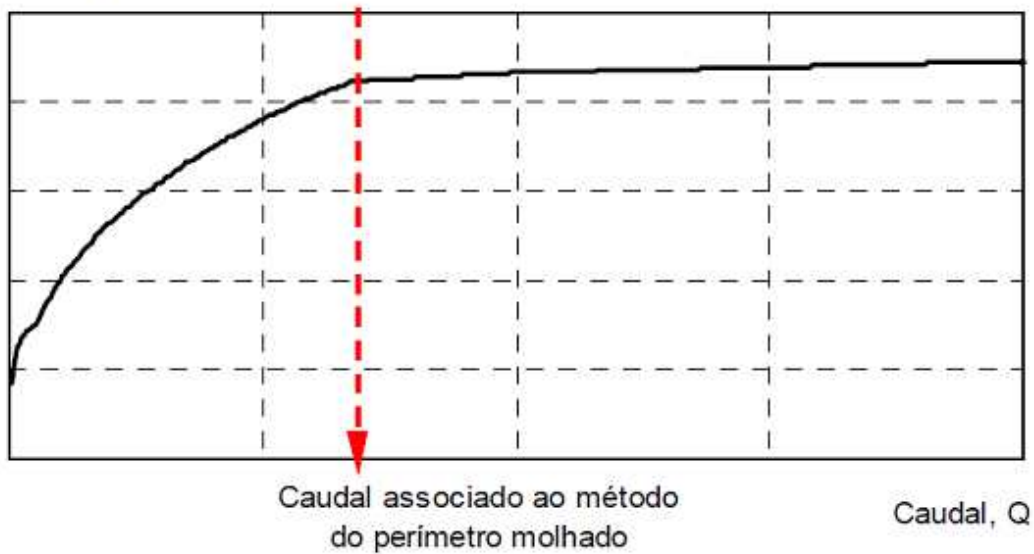


Figura 12 - Curva de relação entre vazão do rio e perímetro molhado. Fonte: PORTELA, 2007.

Esse ponto de inflexão indica que, para vazões acima desse valor, o perímetro molhado aumenta de forma lenta. Uma vez que esse nível de vazão é estimado, considera-se que outras áreas do habitat também estarão protegidas, pois, para valores inferiores, tem-se uma grande diminuição da área disponível para a fauna aquática para pequenos decréscimos de vazão (REIS, 2007).

É importante notar que o termo “inflexão” está sendo usado de maneira desconectada de seu significado matemático. Na realidade, enquanto a expressão se refere, tradicionalmente, ao ponto de derivada segunda nula, na literatura sobre o Método do Perímetro Molhado ela faz referência ao ponto de *máxima* derivada segunda. A característica que acaba sendo transferida é de um ponto onde há mudança repentina de tendência, e por isso seguir-se-á usando a expressão neste sentido leigo, para não fugir à regra de outras publicações sobre o assunto.

A escolha do trecho crítico para definir a vazão ecológica é justificada em termos de habitat dos invertebrados bentônicos. Estes constituem a fonte de alimento de diversas espécies piscícolas, nomeadamente de salmonídeos. Por outro lado, as zonas de rápidos, que constituem locais de passagem e, para algumas espécies, zonas de postura e crescimento dos alevins, são as zonas do curso de água mais afetadas pela diminuição da vazão (Lopes e Carmo, 2002).

Alguns autores, como NELSON (1980, *apud* ALVES & HENRIQUES, 1994) e REDD & MEAD (1990, *apud* ALVES & HENRIQUES, 1994), consideram seções transversais representativas dos vários tipos de habitat presentes no curso de água e não apenas as zonas de rápidos. Segundo LEATHE e NELSON (1986, *apud* ALVES & HENRIQUES, 1994) esse método é o mais eficaz dos métodos baseados na determinação da relação entre as características hidráulicas do curso hídrico e a vazão, sendo aplicável a cursos de água salmonídeos e não salmonídeos embora a experiência com esses últimos seja menor (FARIAS JÚNIOR, 2006). Este constitui o terceiro

método mais utilizado nos Estados Unidos da América (REISER et al., 1989, *apud* PBH do rio Sado, 1999, *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006).

A sua aplicação deve privilegiar cursos de água com seções largas e pouco profundas, relativamente retangulares, dado que a forma da seção do leito selecionada pode influenciar os resultados (STALNAKER et al., 1995, *apud* PBH do rio Sado, 1999, *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006), o que infelizmente não é o caso do Rio Xingu. A escolha do método para o presente trabalho está, principalmente, na pequena disponibilidade de dados de campo e por tal método oferecer resultados mais imediatos, sem necessidade de extensa modelagem.

A referência a “seções (...) retangulares” não é literal, valendo-se apenas do fato de o método ser mais bem aplicado em regiões onde o rio possui profundidade pequena em relação à distância das margens. Outras características também são preferenciais, como a existência de uma calha central bem marcada, planaltos de formação de rios e planícies de inundação, em uma forma muito tradicional e pouco usual nos rios amazônicos, descrita na figura a seguir.

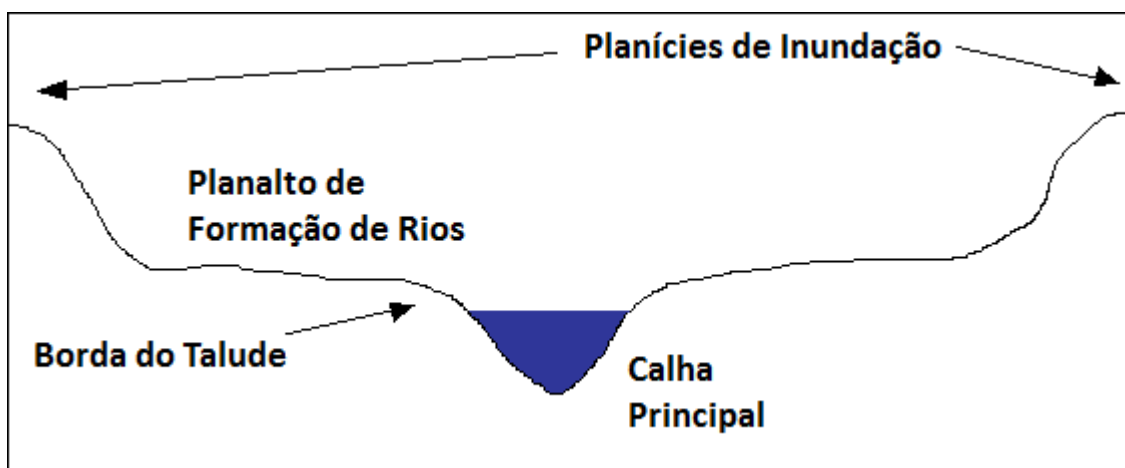


Figura 12 - Formato de rio preferencial para a aplicação do Método do Perímetro Molhado. Elaboração própria.

A preferência do uso do método em rios de tal forma se explica pelo fato de que, tendo uma variação do talude acentuada da calha principal para o planalto de formação de rios, a plotagem do perímetro molhado em função da vazão revelará uma mudança na direção da curva, no ponto em que a vazão crescente faz o rio tomar o planalto. Essa mudança o ponto de inflexão referido anteriormente, e coincide precisamente com a borda do talude. Como é possível concluir, outro ponto de inflexão aparece mais adiante, do planalto de formação de rios para a planície, porém não é este o ponto desejado pelo Método do Perímetro Molhado, já que o período de estiagem dos rios não leva a tais níveis de vazão.

No próximo capítulo serão feitos os cálculos e demonstrados os resultados da aplicação de tal método para seções do TVR de Belo Monte, feitos de forma adaptada aos dados de campo disponíveis.

## Metodologia IFIM-PHABSIM

O IFIM (Instream Flow Incremental Method - Metodologia Incremental de Vazões Ecológicas) foi desenvolvido em 1982, pelo U.S. Fish and Wildlife Service em conjunto com uma equipe multidisciplinar de profissionais. A base de sua confecção foi o reconhecimento e a descrição das relações existentes entre as vazões de um rio e a quantidade de habitats por elas criados. Muitas instituições relacionadas ao gerenciamento de recursos hídricos foram consultadas em seu desenvolvimento, como o US Soil Protection Service, o US Army Engineering Corps, a EPA e outros. Como pode ser constatado na tabela abaixo, é amplamente utilizado entre as unidades confederativas estadunidenses:

Tabela 03: Metodologias para determinação da vazão ecológica nos Estados Unidos e a quantidade de estados que utilizam cada metodologia.

Metodologias	Números de Estados
Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)	38
Tennant method	16
Wetted perimeter	6
Aquatic Base Flow	5
Q7,10	5
Professional judgement	4
Single Cross-Section (R-2 CROSS)	3
USGS Toe-Width	2
Flow records/duration	2
Water quality	2
Average Depth Predictor (AVDEPTH)	1
Arkansas	1
Habitat quality index	1



Tabela 03: Metodologias para determinação da vazão ecológica nos Estados Unidos e a quantidade de estados que utilizam cada metodologia (CONTINUAÇÃO).

Oregon fish-flow	1
US Army Corps of Engineer	1
Hidraulic Modelling (HEC-2)	1

Fonte: LAMB & DOERSKEN, 1987, *apud* PELISSARI, 2000, *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006.

Seu objetivo é quantificar os impactos ambientais das interferências possíveis no hidrograma do corpo hídrico, referenciado pelos impactos aos habitats. Não se trata de um modelo biológico nem ecológico em que se avalie o impacto sobre populações, muito menos um modelo que trate de estimar ou prever sua sobrevivência. Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento do IFIM se deu pela noção de proporcionar uma ferramenta para a gestão dos sistemas fluviais através do estabelecimento de um padrão de avaliação. De tal forma, chega-se a uma negociação no planejamento dos usos múltiplos da água em épocas de estiagem entre usuários consumidores e demandas ambientais, permitindo a recuperação de populações aquáticas durante as épocas mais favoráveis (Stalnaker et al., 1994, *apud* RUSTARAZO, 2000).

Sua fundamentação teórica é de que a escolha das espécies para fixar habitats, nas diferentes fases de vida, depende de características hidráulicas estruturais e morfológicas do corpo hídrico (FARIAS JÚNIOR, 2006). A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de habitat disponível para as espécies, determinada em função da vazão. A vazão ecológica recomendada corresponde ao valor mais alto de um conjunto de vazões calculadas para várias espécies e que, por isso, será suficiente para a manutenção das populações existentes. O IFIM pode ser aplicado não só a estudos de vazões ecológicas, mas também a estudos de impacto ambiental nos ecossistemas decorrente de qualquer tipo de perturbação que ocorra no curso d'água (SARMENTO, 2007).

Através de uma sequência bem intuitiva de fases, o estudo passa por:

1. Análise e Diagnóstico
2. Planejamento
3. Implementação
4. Análise de Alternativas
5. Resolução de Problemas /Mitigação de Impactos

A primeira etapa se dá por uma análise legal, de todos os padrões ambientais e jurídicos a serem atendidos, bem como institucional, dos atores, *stakeholders* e interesses do processo de impactação do corpo hídrico. Paralelamente, uma análise física é conduzida, semelhante à determinação de Áreas de Influência de um EIA, buscando também avaliar os objetivos do manejo sustentável daquele corpo.

Na segunda fase, de planejamento do estudo, confronta-se a demanda e a oferta real de informações e uma equipe multidisciplinar deve entrar em acordo sobre os seguintes pontos: objetivos e prazos do estudo, modelos apropriados e informações requeridas, níveis de detalhes espacial e temporal para análise, deveres e responsabilidades dos distintos atores e proposta para o projeto. O planejamento do estudo deverá incorporar, principalmente, a análise do enfoque que será utilizado para avaliar as distintas alternativas. Nesta fase deve ocorrer a seleção da área, local e época da amostragem; escolha das espécies da ictiofauna para estudo; determinação das variáveis ambientais e escolha dos modelos a serem utilizados [BOVEE et al., 1998, *apud* FARIAS JÚNIOR].

A terceira fase, de implementação do estudo, é composta pela coleta de dados, uso e calibração dos modelos e verificação dos resultados obtidos com as informações coletadas. O escopo dos dados abrange tanto características físicas, da hidrologia e hidráulica do corpo hídrico, quanto bioquímicas, como o pH, a temperatura, o oxigênio dissolvido e marcadores biológicos importantes para determinar a saúde e presença das espécies pesquisadas.

Na quarta fase, são definidos os cenários para a análise das alternativas, de preferência contemplando as demandas de cada ator envolvido; lembrando que, como o método acompanha a evolução temporal dos macro e microhabitats de espécies aquáticas, todos os cenários devem ter vazões variadas, numa forma de hidrograma e não simplesmente um valor constante e artificial.

Após esse procedimento, analisam-se, de forma coletiva, as diversas alternativas de manejo de recursos hídricos em termos de sua efetividade, viabilidade física, riscos e economia [Bovee et al., 1998 *apud* Faria Jr, 2006]. A efetividade avalia a sustentabilidade das alternativas e os custos e benefícios em termos de manutenção do habitat de cada alternativa; a viabilidade física julga se reservatórios secarão, se direitos de uso de água são respeitados e se haverá água suficiente para todos os usos; os riscos examinam a frequência com que os sistemas biológicos poderão entrar em colapso e se os efeitos são reversíveis. O aspecto econômico avalia os custos e benefícios de cada alternativa [Benetti et al., 2003, *apud* Faria Jr, 2006].

A fase de resolução de problemas envolve o diálogo entre as partes para chegarem a um acordo sobre o melhor esquema de gestão do recurso hídrico, avaliando pontos a favor e contra cada demanda e levando em consideração a sustentabilidade do manejo, tanto ambiental quanto socioeconômica (por exemplo considerando uso para pesca, navegação, recreação etc.).

O modelo computacional de simulação mais comumente associado ao IFIM é o sistema PHABSIM. - Physical Habitat Simulation, programa de computador utilizado para quantificar os atributos hidráulicos adequados contra atributos hidráulicos não adequados de habitat de espécies selecionadas e estágios de vida em função da vazão (SARMENTO, 2007). Ele processa primeiro a simulação hidráulica e em seguida a simulação de microhabitat para cada trecho e espécie observados.

A simulação hidráulica é utilizada para descrever a distribuição de várias combinações de profundidade e velocidade do escoamento em função da vazão. Essas informações, combinadas com a informação acerca do substrato e cobertura, são utilizadas para calcular a "área ponderada utilizável" do trecho do curso de água em estudo (PELISSARI, 2000, *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006). Tal valor de área ponderada utilizável é o resultado dos procedimentos de cálculo do IFIM fornecido para cada espécie e estágio de vida de interesse, feitos mais adiante. Essa área expressa em m<sup>2</sup> por metro linear de rio como a disponibilidade do habitat dos peixes, é afetada pelas alterações nos níveis de água do rio (SARMENTO, 2007).

A modelagem de habitat então, é executada após o procedimento de simulação hidráulica determinar as vazões de interesse. Nesse modelo o microhabitat físico é simulado nas variáveis físicas de velocidade, profundidade, substrato e cobertura do trecho representativo para tais vazões (PELISSARI, 2000 *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006), através de três conjuntos de variáveis: os dados hidráulicos, a forma do canal e os índices de aptidão de habitat (IAH).

Primeiro, atribui índices, de 0 a 1, para as variáveis físicas, sendo 0 a condição menos favorável para o habitat e 1 a mais favorável. Sua determinação se dá através de observação direta de atributos de julgamento da etapa de vida da espécie considerada, opiniões de especialistas sobre tais atributos e sua combinação. A variação dos índices em função dos atributos gera os índices de aptidão de habitat (IAH) para a espécie estudada (FARIAS JÚNIOR, 2006). Um IAH geral é calculado para cada vazão e seu produto pela área ou comprimento da seção transversal estudada determina a área ponderada utilizável, por vezes também referida como valor de microhabitat (BENETTI et al., 2003, *apud* FARIAS JÚNIOR, 2006).

Escolhe-se, portanto, a vazão ótima como sendo aquela que gera o maior valor de microhabitat, ou área ponderada utilizável, para cada espécie. Esses valores podem ser relacionados com épocas específicas, como períodos de estiagem, ou somados às necessidades humanas para determinar a vazão ecológica para múltiplos usos.

Apesar da ampla aceitação do método nos EUA, O PHABSIM tem sido criticado pela falta de rigor biológico, já que se limita a relacionar a espécie estudada à vazão, sem levar em conta a interação com outras espécies, com o clima, com fatores físico-químicos e com a disponibilidade de alimento (FARIAS JÚNIOR, 2006).

## Tela Estratégica das Metodologias Analisadas

Esta ferramenta, apresentada por KIM & MAUBORGNE, no livro *Blue Ocean Strategy*, de 2005, é mais comumente relacionada a administração e desenvolvimento de novos negócios, por ter a praticidade de facilitar a compreensão intuitiva das diferentes estratégias e métodos expostos.

Primeiramente elegem-se os parâmetros do eixo das ordenadas, que devem ser características onde cada método possa ser avaliado e que, de preferência, destaque as diferenças e aptidões de cada um. Para comparar os métodos descritos nesse capítulo, foram utilizados os seguintes parâmetros:

a. Demanda por Séries Hidrológicas

Traduz-se como a carência do modelo por séries históricas de valores como cotas, vazões, descargas e precipitação, que irão ser utilizados como valores de entrada para cálculos estatísticos ou simulações.

b. Consideração de Variáveis Hidráulicas Aferidas

Traduz-se na utilização de dados de campo relacionados ao rio ou bacia hidrográfica, como velocidades, batimetria, geologia, rugosidade, talude, tirante hidráulico e talvegue, que auxiliem na representação matemática ou computacional do corpo hídrico.

c. Consideração de Variáveis Bióticas Aferidas

Traduz-se na utilização de informações sobre as comunidades e populações aquáticas e dependentes do corpo hídrico, sejam elas planctônicas, bentônicas, pertencentes à ictiofauna ou à flora local. Tais informações podem abranger períodos de reprodução/floração, contagem populacional, zoneamento estabelecimento de relações interespecíficas ou apenas levantamento de espécies ameaçadas.

d. Nível de Completude Metodológica

Traduz-se na cobertura dos aspectos necessários para a boa gestão do recurso hídrico, ou seja, se o método é apenas uma ferramenta comparativa de valores estatísticos, se considera a climatologia e sazonalidade do sistema, se estuda a parte física, biótica, físico-química ou até mesmo socioeconômica, ou se abrange todo o estudo ambiental necessário para a compreensão do corpo d'água.

e. Nível de Popularização

Traduz-se, como diz o nome, na popularidade do método, seja pelo uso deste como referência para agências ambientais e de outorga, seja pela aplicação em projetos nacionais e estrangeiros.

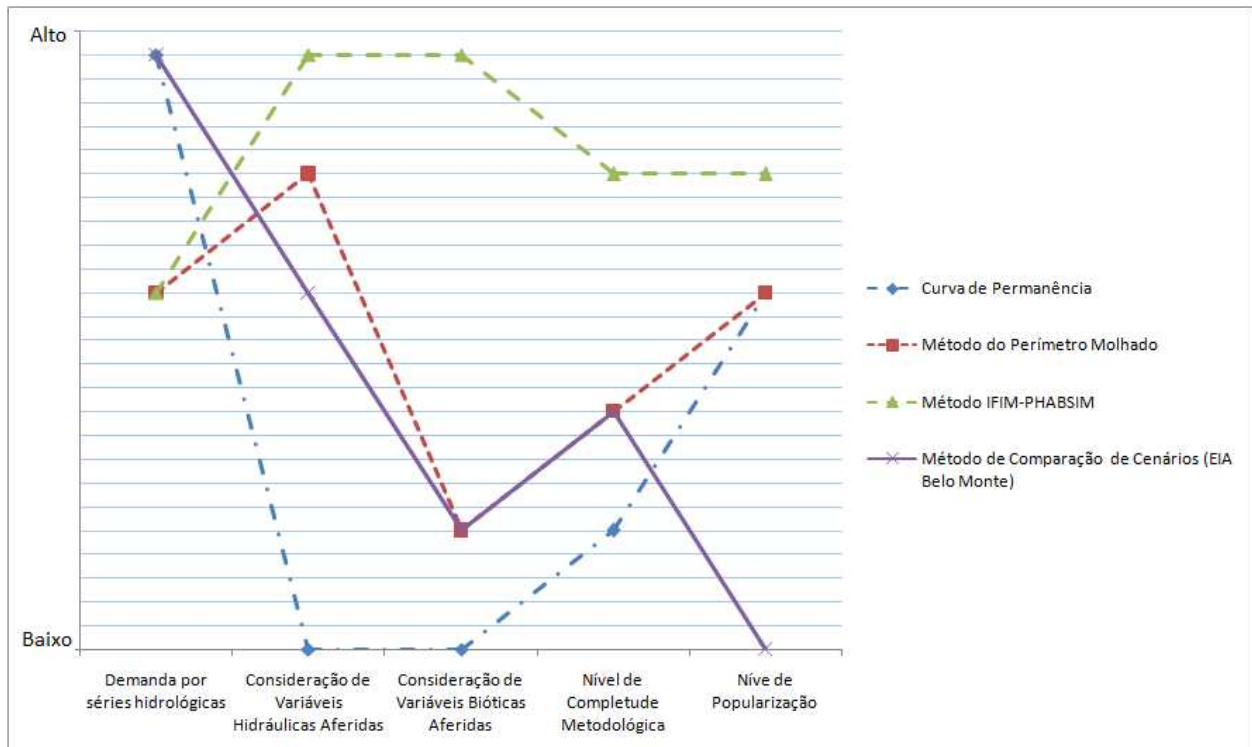


Figura 14 - Tela Estratégica de Metodologias para Determinação de Vazão Ambiental. (Elaboração própria).

### Curva de Permanência

Baseada exclusivamente na série histórica de vazões, a metodologia não observa características de morfologia escoamento ou qualquer dado físico do corpo hídrico, assim como também ignora as particularidades da biota associada ao mesmo. Tem baixo nível de completude, pois se limita a uma ferramenta estatística a ser utilizada no estudo das vazões, não participando no manejo do recurso nem na compreensão sistêmica do problema analisado. Ainda assim, é o mais utilizado no Brasil para recomendações de vazões ecológicas, principalmente na região norte e nordeste (FARIAS JÚNIOR, 2006).

### Método do Perímetro Molhado

Possui uma demanda menor por séries históricas, sendo mais dependente de dados de batimetria de seções transversais e cotas relacionadas a vazões. Parte de uma premissa básica sobre os limites para habitats de peixes, os quais seriam aceitáveis se fosse minimamente garantido o alagamento da calha menor dos rios; não envolve dados bióticos específicos de cada corpo hídrico. Tem um nível de completude ligeiramente maior, pois contempla dados históricos, de campo e considera a conservação da população piscícola. O nível de popularização é mediano, sendo utilizado em diversos estudos como valor comparativo, porém pouco conhecido no Brasil.

### Método IFIM-PHABSIM

Mais relacionado com o gerenciamento do corpo hídrico do que com a simples prescrição de uma vazão, o método analisa, porém não se baseia em séries hidrológicas. As fases de implementação dos estudos conduzem a levantamentos de dados em campo, tanto hidrológicos quanto ecológicos. Por ser uma metodologia holística na análise dos problemas de restrição de vazões, tem alto nível de completude e é reconhecido e utilizado em 38 unidades confederativas estadunidenses.

### **Método de Comparação de Cenários (EIA Belo Monte)**

Como foi exposto na parte inicial deste capítulo, o método utilizado para prescrever o hidrograma ecológico no TVR de Belo Monte contou essencialmente, com a simulação de diversos cenários de operação ao longo dos 30 anos de dados de vazões disponíveis. Logo, o embasamento do estudo está diretamente ligado ao uso de séries históricas; entretanto, as referências confusas a como a vazão de 700 m<sup>3</sup>/s foi relacionada ao limite da navegabilidade ou como as cheias de 4000 m<sup>3</sup>/s e 8000 m<sup>3</sup>/s foram atribuídas a condições de alagamento de pedrais e canais em ilhas isoladas deixam o modelo pouco acessível, tirando a credibilidade do uso das informações de campo. O nível de completude é médio, mesmo porque tal estudo esteve inserido dentro de um documento maior, o EIA, ainda que a consideração de demandas humanas e, como aponta o IBAMA na Licença Prévia, da hidrossedimentologia e preservação da comunidade de tartarugas-da-amazônia, não tenha sido contemplada em nenhuma parte deste. O método é inédito e não se referencia por nenhum outro estudo que justifique a aplicação da metodologia, logo seu Nível de Popularização é nulo.

### **Leitura Comparativa**

Pelo que é exposto no gráfico, pode-se compreender que nenhuma das metodologias tem uma correlação alta com todos os parâmetros. Algumas até mesmo se mostram complementares, como o Método IFIM-PHABSIM, que pode trazer a consideração de variáveis hidráulicas e bióticas para análises hidrológicas e com baixo nível de completude, como a Curva de Permanência e o Método de Comparação de Cenários.

Este último, pelo mesmo raciocínio, compete com o Método do Perímetro Molhado, tendo um formato relativamente próximo em relação à sua expressão gráfica. As diferenças, porém, são claras: enquanto a metodologia aplicada no EIA de Belo Monte apenas calcula a distribuição de vazões por diversos cenários, sem observar o Trecho de Vazão Reduzida em si, o Método do Perímetro Molhado prevê a determinação de seções críticas, onde o escoamento e a morfologia do rio gerem colunas d'água estreitas durante a estiagem, sendo limitantes à ictiofauna local.

Considerando a complexidade dos impactos ambientais e socioeconômicos acarretados por obras de engenharia como barramentos e aproveitamentos hidrelétricos, é razoável observar que não haverá um método perfeito em todos os parâmetros pelos quais estes podem ser analisados. Portanto, gráficos como a Tela Estratégica podem auxiliar na seleção de métodos

de análises complementares, para enriquecer estudos de determinação sobre a vazão ambiental.



## Capítulo IV – Resultados

### Método de Comparação de Cenários – Hidrogramas A e B

Para a avaliação dos cenários e posterior determinação do Hidrograma Ecológico, o EIA referenciou-se por dois grupos conflitantes de indicadores:

Indicadores sobre a alteração da produção de energia;

Indicadores de alteração ambiental.

A produção energética é de mais fácil identificação, pois na medida em que existe menor disponibilidade hídrica, menor será a geração energética. Os indicadores ambientais são em grande número e possuem maior complexidade (ELETROBRÁS, 2006).

O primeiro parâmetro de diferenciação dos resultados de cada cenário foi a magnitude da vazão máxima a ser garantida anualmente, caso o empreendimento seja implementado. De acordo com o rebaixamento ou elevação do nível na vazão máxima do cenário em relação à cota limite do leito menor, que de acordo com Hynes (2001) se relaciona à formação de habitats (ELETROBRÁS, 2006), apesar do autor não ter especificado de quais espécies.

Em relação à inundação do leito menor, os grupos de cenários responderam da seguinte forma (a classificação a seguir não se relaciona com aquela feita no Capítulo III):

- I) *Cenários críticos ambientais*: os cenários 7, 8 e 9 apresentaram vazões máximas abaixo de 50% da cota do leito menor, sendo muito limitantes;
- II) *Cenários de sustentabilidade do ecossistema da Volta Grande*: os cenários 1 e 2 tenderam a manter em média, um rebaixamento de 30% do limite do leito menor;
- III) *Cenários críticos de energia*: apenas o cenário 3, que atingiu com regularidade o leito maior, por representar o hidrograma da cheia de tempo de retorno de 2 anos;
- IV) *Combinação de cenários*: o rebaixamento oscilou entre 55% e 35% nos cenários 5, 6 e 10. Fica difícil de compreender pelo texto do estudo, pois parece haver confusão em momentos em que o autor se refere ao “leito maior” e posteriormente menciona o mesmo trecho como sendo referente ao “leito menor”, como no quadro 10.4.5-25, reproduzido na Tabela 4.

Em seguida, o autor examina os efeitos de cada alternativa sobre as inundações do leito maior e sobre a não ocorrência anual de vazões iguais ou maiores que 8000 m<sup>3</sup>/s, previamente sugerida como necessária em períodos de cheia para preservar as condições de transversalidade do rio (ELETROBRÁS, 2006).

Para acessar os efeitos sobre as inundações do leito maior, o autor cita Leopold et al (1964) para afirmar que cheias com Tempo de Retorno maior que 1,5 anos causam tais inundações e assim ele estabelece as relações entre as cheias de TR igual a 2, 5, 10 e 25 anos em cada cenário e aqueles que ocorrem no hidrograma natural do rio Xingu. O autor apresenta os resultados de tais relações no quadro 10.4.5-26, sem explicitar o cálculo que levou a tais valores ou como estes se traduzem em termos de cotas.

Tabela 4 - Qmax: vazão máxima do hidrograma no TVR; Qlm: vazão limite do leito menor; 1: relação entre cota máxima e cota limite do leito menor. Fonte: ELETROBRÁS, 2006.

Cenários	Qmáx m <sup>3</sup> /s	Qmax/Qlm <sup>7</sup>	<a href="#">Hmx/Hlm[1]</a>
1	12.627	0,61	0,8
2	20.846	1,00	1
3	22.422	1,08	1,1
4	7.557	0,36	0,64
5	8	0,38	0,65
6	8	0,38	0,65
7	4	0,19	0,45
8	511	0,03	0,2
9	1.193	0,06	0,22
10	8	0,38	0,65
	4	0,19	0,45
11	2	0,10	0,28

Na avaliação da não ocorrência de vazões iguais ou maiores que 8000 m<sup>3</sup>/s a cada ano, três medidas foram calculadas para cada cenário:

1. Total de anos consecutivos com menos de 30 dias de vazão ao menos igual a 8000 m<sup>3</sup>/s: os cenários 4, 7, 8 e 9 apresentaram, cada um, 18 anos em tal condição.
2. Total de anos com menos de 30 dias de vazão ao menos igual a 8000 m<sup>3</sup>/s: os cenários 4, 7, 8 e 9 apresentaram, cada um, 24 anos em tal condição; o cenário 10 rompeu a condicionante 6 vezes enquanto o cenário 5 apresentou apenas 1 ano nessa descrição.
3. Total de anos com vazão máxima maior ou igual a 4000 m<sup>3</sup>/s, que não sejam precedidos ou seguidos de anos com menos de 30 dias de vazão ao menos igual a 8000 m<sup>3</sup>/s: os cenários 8 e 9 apresentaram, cada um, 4 anos com esse perfil.

Como o cenário 6 prevê pulsos de 8000 m<sup>3</sup>/s todo ano, satisfaz todos os condicionantes acima. O cenário 5 apresentou um evento de inconformidade e o cenário 10 deixou de ter anos com pulsos alternados 6 vezes. Com tais informações, o autor declara que os cenários 6 e 10 são mais atrativos, por produzirem menores perdas de energia e atenderem praticamente todos os condicionantes ambientais (ELETROBRÁS, 2006), que seriam representadas pelos condicionantes acima e pelos indicadores estatísticos utilizados na metodologia IHA para avaliação da alteração de regimes hidrológicos.

Sobre esses últimos indicadores, o resultado de cada cenário está expresso nas tabelas do Apêndice 10.3 do EIA, mas não há qualquer avaliação de como estes indicadores classificam os

cenários. Em se tratando de um documento oficial para tomada de decisão, a transparência do uso de tal método ficou a desejar.

Em relação à última classificação dos cenários, o autor apresenta os seguintes resultados:

- O primeiro grupo (cenários 7, 8, 9 e 11) priorizou a produção de energia, muito abaixo das cheias esperadas de 8000 m<sup>3</sup>/s;
- O segundo e o terceiro grupo (cenários 1, 2 e 3) maximizaram os interesses ambientais, mas sua produção energética foi baixa, com o melhor índice de energia firme igual a 3.477 MW, no cenário 1;
- O quarto grupo (cenários 5, 6 e 10), focado no equilíbrio da produção energética e sustentabilidade ambiental, se mostrou mais adequado ao atendimento de ambas as demandas.

Por fim, o autor aponta que o cenário 6 não demonstrou restrição quanto ao valor mínimo de 8000 m<sup>3</sup>/s em qualquer ano, porém o cenário 10 não manteve tal valor em 16% do tempo. Sem explicitar as razões que levaram a sua conclusão, o autor considera que o cenário 10 (que alterna anos com cheias de 4000 m<sup>3</sup>/s e 8000 m<sup>3</sup>/s) é o mais indicado, mesmo sem dar qualquer referência que justifique a consideração de “que o ‘bioma’ possa ser submetido a um regime de maior restrição, por no máximo um ano, desde que no ano seguinte as vazões de, pelo menos, 8000 m<sup>3</sup>/s fossem liberadas, o que possibilitaria manter a produtividade mínima, garantindo sua sustentabilidade”(ELETROBRÁS, 2006).

Como resultado da conclusão, o Hidrograma Ambiental (assim chamado já no fim do estudo, tendo sido por diversas vezes nomeado de Hidrograma Ecológico) tem as seguintes vazões médias mensais propostas para o TVR:

Tabela 5 – Hidrograma Ambiental do TVR de Belo Monte

Hidrograma	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
I	1.100	1.600	2.500	4.000	1.800	1.200	1.000	900	750	700	800	900
II	1.100	1.600	4.000	8.000	4.000	2.000	1.200	900	750	700	800	900

Fonte: Quadro 10.4.5-27 (ELETROBRÁS, 2006)

Apesar dos valores acima, o autor reitera que as vazões liberadas à jusante do barramento de Sítio Pimental não serão constantes mês a mês e sim subordinadas à vazão natural do rio Xingu ao reservatório principal. A regra de escolha do Hidrograma para cada ano será: liberar sempre, no mínimo, o Hidrograma I, sendo obrigatória a liberação do Hidrograma II no ano seguinte, ou de um hidrograma com ao menos um mês de vazão igual ou maior que 8000 m<sup>3</sup>/s, ou de volume anual igual ao Hidrograma II. Na Figura 12, a sobreposição dos dois Hidrogramas e da proposta do Estudo de Viabilidade Econômica é mostrada.

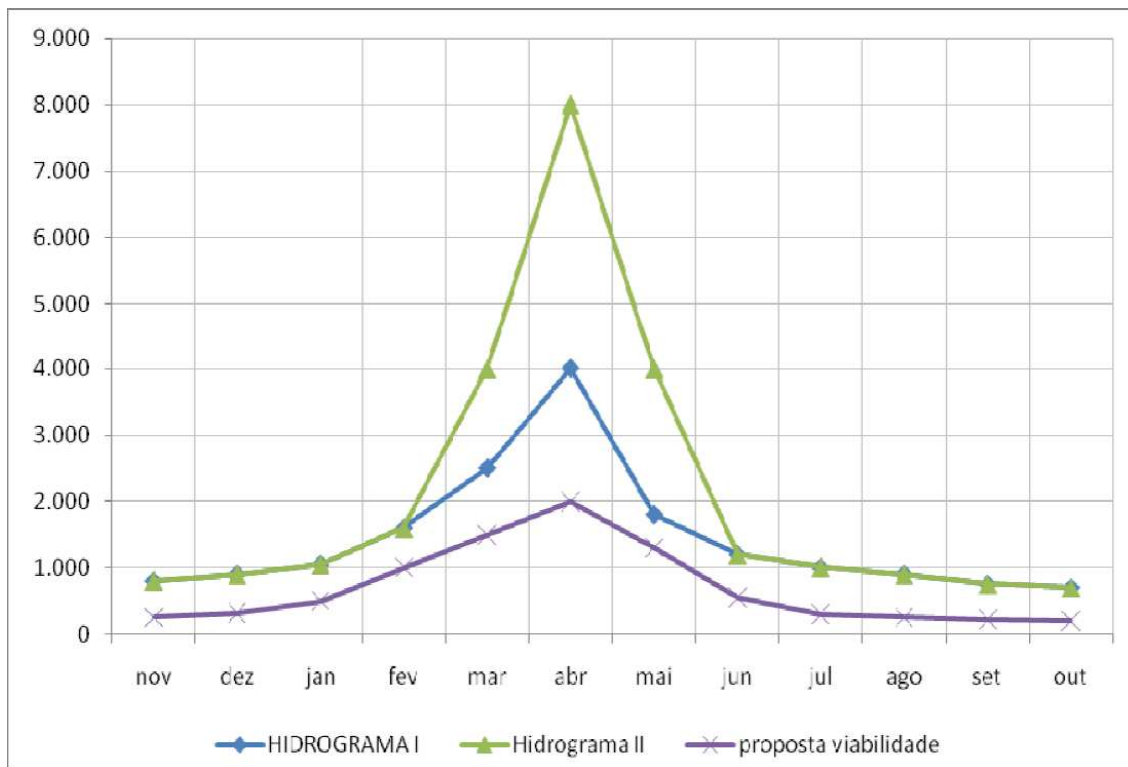


Figura 15 - Hidrograma I, II e Hidrograma considerado nos Estudos de Viabilidade. Fonte: EIA de Belo Monte (ELETROBRÁS, 2006).

Sobre as implicações e impactos de tal regra de operação, o autor lista os seguintes efeitos:

- Inundação parcial dos pedrais visando a manutenção de parte dos habitats reprodutivos e tróficos, minimizando as perdas de espécies importantes para a pesca ornamental e conseqüente redução de perda de renda para os pescadores (a 4000 m<sup>3</sup>/s);
- Inundação de pequena parte das áreas de panícies aluviais, reduzindo a elevada magnitude do impacto de comprometimento da cadeia ambiental para as espécies de peixes e quelônios aquáticos que são consumidas pela população e fonte de renda também para pescadores (a 8000 m<sup>3</sup>/s);
- Garantia da navegação para as populações ribeirinhas e indígenas nos períodos de estiagem, ainda que deva ocorrer aumento do percursos e dificuldades em alguns locais, que devem ser monitoradas e implementadas medidas (sic) (a 700 m<sup>3</sup>/s); e
- Proliferação de vetores devido à formação de poças em especial junto aos primeiros 10 km do trecho da Volta Grande do rio Xingu, onde está a comunidade de São Pedro (cerca de 80 pessoas), o que leva à proposição, neste EIA, da inclusão deste contingente no público-alvo do Plano de Atendimento à População Atingida com direito a reassentamento; e
- Alteração da qualidade das águas junto às comunidades de Ressaca e Ilha da Fazenda, devido ao aumento localizado do índice de coliformes fecais, conduzindo à proposição, também no bojo dos Planos, Programas e Projetos recomendados por este EIA, da adequação da infra-estrutura de saneamento nessas duas localidades (ELETROBRÁS, 2006).

## Método do Perímetro Molhado – Vazão Ambiental de Estiagem

Como já foi detalhado esta metodologia se apóia na análise hidráulica de seções transversais do corpo hídrico estudado. A partir da curva de correlação dos valores de vazão e perímetro molhado, determina-se o primeiro ponto de inflexão, que representaria a disponibilidade mínima necessária para a manutenção do habitat da ictiofauna. Esse ponto de inflexão indica que, para vazões acima desse valor, o perímetro molhado aumenta de forma lenta, sendo considerado que outras áreas do habitat também estarão protegidas, pois, para valores inferiores, tem-se uma grande diminuição da área disponível para a fauna aquática para pequenos decréscimos de vazão (REIS, 2007).

A suposição do método é de que as necessidades de desova e passagem de peixes em um rio são garantidas quando é mantida uma vazão mínima determinada graficamente. A análise demanda a escolha de trechos considerados críticos para a manutenção das funções dos organismos aquáticos, justificada em termos de habitat dos invertebrados bentônicos, fonte de alimento de espécies salmonídeos, principalmente. Por outro lado, as zonas de rápidos, que constituem locais de passagem e, para algumas espécies, zonas de postura e crescimento dos alevins, são as zonas do curso de água mais afetadas pela diminuição da vazão (Lopes e Carmo, 2002).

### Aplicação no rio Xingu

Para o presente trabalho, considerações metodológicas foram avaliadas, tanto para a obtenção e seleção de dados quanto para a aplicação do método em si. Relata-se então, tais considerações e os caminhos traçados para chegar aos resultados.

Primeiramente, as fontes de dados: diversas imagens de suporte a tomada de decisão e referência foram obtidas do software livre “Google Earth”, pertencente à Google Inc; entre os documentos oficiais, o texto A Geração do AHE Belo Monte (CARDINOT, 2007) forneceu tabelas de vazões naturais médias, afluentes ao trecho do AHE, cobrindo de 1931 a 2003 (Anexo II); no site do Hidroweb (ANA), coletou-se informações da estação de Altamira, número 18850000, referente a cotas, vazões e à seção batimétrica do rio; acessou-se também as informações de batimetria e nível d’água aferidas pela Leme Engenharia empresa contratada para o levantamento de dados de campo a serem utilizados no EIA do AHE Belo Monte (ELETROBRÁS, 2006).

### Qualidade dos Dados e Escolha de Seções

Os dados coletados pela Leme Engenharia e a partir do Hidroweb apresentaram algumas incompatibilidades e inconsistências, internamente e entre si. No caso da Leme Engenharia, como pode ser visto nas imagens a seguir, o número de seções transversais do rio Xingu levantadas é muito baixo em relação ao comprimento do trecho de interesse. Dentro do TVR, que tem mais de 100 km de extensão, apenas 5 seções batimétricas foram medidas, muitas delas com ângulos maiores de 90 graus em relação ao escoamento do rio e às vezes sendo interrompidas em ilhas fluviais, sem atingir as duas margens do rio.

## PLANTA DE LOCALIZAÇÃO

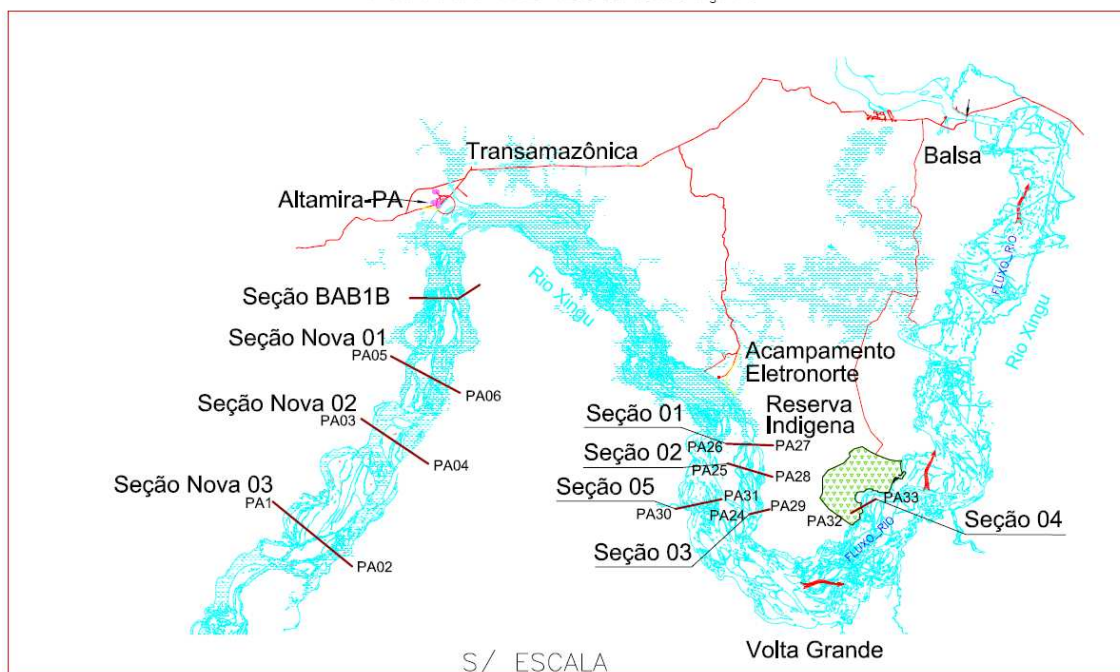


Figura 16 - Planta geral da Volta Grande do Xingu. Fonte: ARTEIRO, 2008.

Como pode ser visto na imagem, o Xingu é um rio extremamente complexo, com diversos canais separados por afloramentos de pedrais e ilhas fluviais. Obviamente, isso é um obstáculo à medição nas seções transversais, sendo até mesmo desaconselhado pela população local a navegação no trecho entre as seções 03 e 04 da figura acima. Porém, isso não justifica a descontinuidade dos dados, já que há outras ferramentas disponíveis, como o sensoriamento remoto.

Devido a esta descontinuidade, decidiu-se que a medição seria operada no trecho à montante da cidade de Altamira, onde a Leme Engenharia levantou as Seções Novas 01, 02 e 03. Essas seções cobrem o rio de margem a margem e os níveis d'água foram aferidos em três dias para cada seção, como se pode ver nas figuras 01, 02 e 03 do Anexo II. Nas tabelas 6 e 7 estão as informações de níveis d'água, datas e seções em que foram medidos, assim como as coordenadas dos pontos de apoio das seções.

Tabela 6: Seções, Níveis D'água e Dias de Medição. Elaboração Própria

Seção Topobatimétrica	Níveis D'água	Dias de Medição
Nova 01(PA5-PA6)	93.93	25/11/2007
	98.37	23/02/2008
	99.07	16/03/2008
Nova 02(PA3-PA4)	94.86	25/11/2007
	98.85	27/02/2008
	100.33	16/03/2008
Nova 03(PA1-PA2)	97.2	25/11/2007
	101.99	17/12/2007
	102.16	16/03/2008

Tabela 7: Coordenadas dos Pontos de Apoio das Seções à montante de Altamira.

Vértice	Latitude (S)	Longitude (WGr)
PA1	3°30' 20,11404"	52°21' 33,66158"
PA2	3°33' 3,09513"	52°18' 15,10881"
PA3	3°25' 13,79375"	52°16' 33,45629"
PA4	3°27' 0,69339"	52°14' 2,71400"
PA5	3°21' 41,40956"	52°14' 37,54693"
PA6	3°23' 8,85917"	52°12' 0,36235"

Fonte: ARTEIRO, 2008.

A consideração de que o estudo de tais seções traria informações válidas para o Trecho de Vazão Reduzida, que se encontra fora do espaço das seções, foi apoiada em duas razões:

- *Proximidade física*: os estudos da viabilidade econômica, que levaram à composição da Tabela 6 (Anexo I), Vazões naturais ao AHE Belo monte (CARDINOT, 2007), utilizaram os dados da Estação de Altamira, disponíveis no Hidroweb, como pode ser constatado pela compatibilidade dos valores no gráfico apresentado na Figura 13. Como o posto dista aproximadamente a mesma distância da barragem do Sítio Pimental e da Seção NOVA 01, a mais próxima e considerando que não há grandes afluentes que contribuam ao Xingu entre a Seção NOVA 03, mais à montante e a estação de Altamira, há continuidade para considerar que a vazão medida no posto é igual à vazão afluente à seção à montante;
- *Proximidade ecológica*: como não há grandes contribuintes ao Trecho de Vazão Reduzida além do Rio Bacajá, cujas vazões costumam ser mais baixas que as do Xingu e formar remansos que vão de 7 e 25 Km da foz deste rio (ELETROBRÁS, 2006), é possível assumir que as populações de peixes e quelônios na Volta Grande não seja muito diferente daquela à montante de Altamira. Logo, valores de vazões que respeitam tais populações à montante do barramento de Sítio Pimental podem também vir a respeitá-las à jusante.

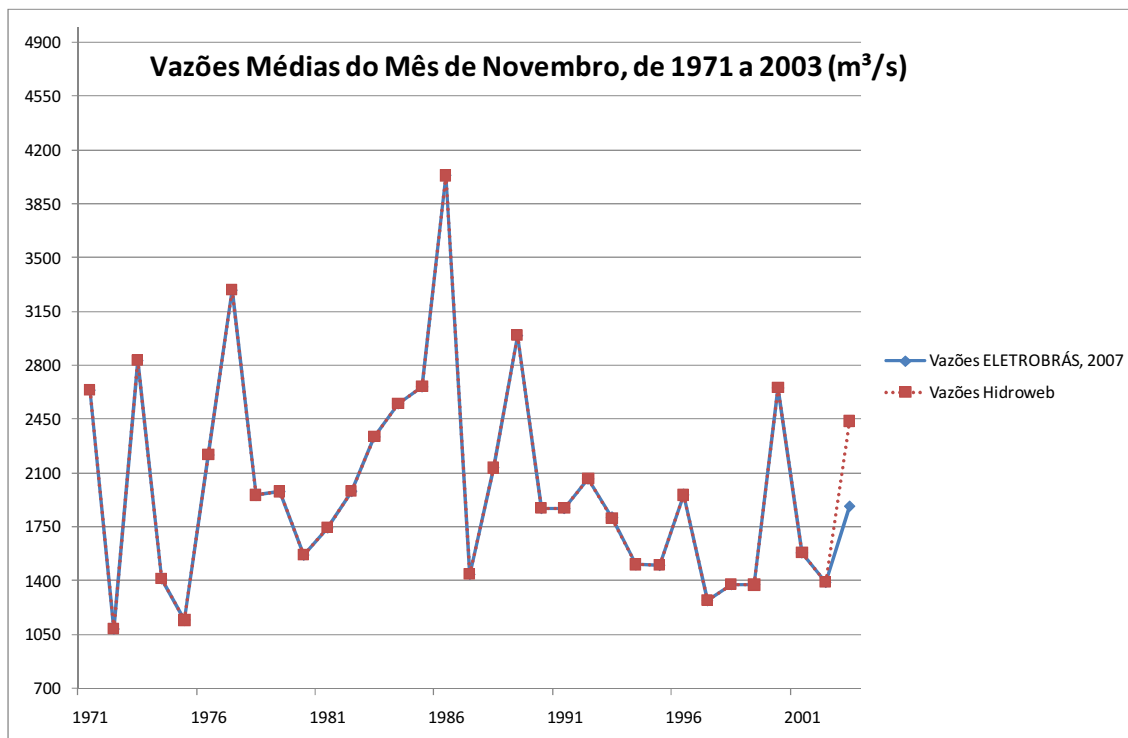


Figura 17 - Gráfico ilustrativo da compatibilidade entre dados do Hidroweb e dados do documento A Geração do AHE Belo Monte (CARDINOT, 2007). Elaboração própria.

Após a escolha das seções topobatimétricas a serem analisadas e da seleção dos dados de vazão obtidos pelo Hidroweb, que podem ser achados no Anexo II, operou-se uma parametrização das cotas de nível d'água, da estação de Altamira para a Seção NOVA 01. Tal parametrização foi operada pelo Excel e a equação parabólica obtida utilizou as três medições de nível d'água feitas pela Leme Engenharia na seção e as vazões indicadas para tais dias pela tabela obtida no Hidroweb. O erro entre as cotas retornadas pela parametrização e as medições da Leme Engenharia foi de 0.000574 m, ou 0.574 mm, considerado satisfatório. A equação parabólica se encontra expressa abaixo:

$$y = -0.0000165087933 \cdot x^2 + 0.0275939522570761 \cdot x + 87.852$$

, sendo 'x' a cota fornecida pelo Hidroweb na estação Altamira e 'y' a cota extrapolada para a Seção NOVA 01. A razão pela qual a própria seção topobatimétrica da estação de Altamira não foi utilizada se dá pela dúvida sobre a consistência de seus dados, pois enquanto a distância entre as margens do rio Xingu ultrapassam 3 Km em todo o trecho próximo a Altamira, a largura da seção fornecida pelo Hidroweb não chegava a 2.5 Km.

Uma vez tendo as cotas de nível d'água, as vazões e as seções transversais do trecho a ser modelado, procedeu-se para a calibração dos coeficientes de Manning para o modelo 1D, através do software HEC-RAS, desenvolvido no Hydraulic Engineering Center do US Army Engineering Corps. A tabela dos coeficientes de Manning atribuídos às seções está no Anexo III.



O software HEC-RAS, cuja sigla é traduzida para Hydraulic Engineering Center – River Analysis System possui diversas ferramentas de modelagem em uma dimensão, permitindo a entrada de seções topobatimétricas e até mesmo a interpolação de seções intermediárias, ferramenta não utilizada para este trabalho devido à natureza irregular do leito do rio Xingu.

Através do cálculo do remanso da linha d'água, em função de perdas de carga ocasionadas por fatores como velocidade do escoamento e atrito do fundo (representado nas equações pelo coeficiente 'n' de Manning), o modelo fornece medidas variadas, como área molhada, perímetro molhado, cota de nível d'água, velocidade média perda de energia.

Para a simulação do escoamento no rio Xingu, limitou-se a condição de jusante como os níveis d'água na Seção NOVA 01, parametrizados da estação de Altamira, a condição de montante como os valores de vazão relativos a tais níveis, também obtidos da estação de Altamira.

### Resultados

Os dados de saída do modelo 1D do HEC-RAS incluíram entre outros valores, o perímetro molhado de cada seção para cada vazão aplicada. A tabela de vazões simuladas e perímetros molhados obtidos encontra-se no Anexo III.

Para esclarecimento, o perímetro molhado pode ser definido como a linha que limita a seção molhada às paredes e o fundo do canal: no caso de um duto afogado, seria o arco de circunferência tocado pela água (Figura 14).

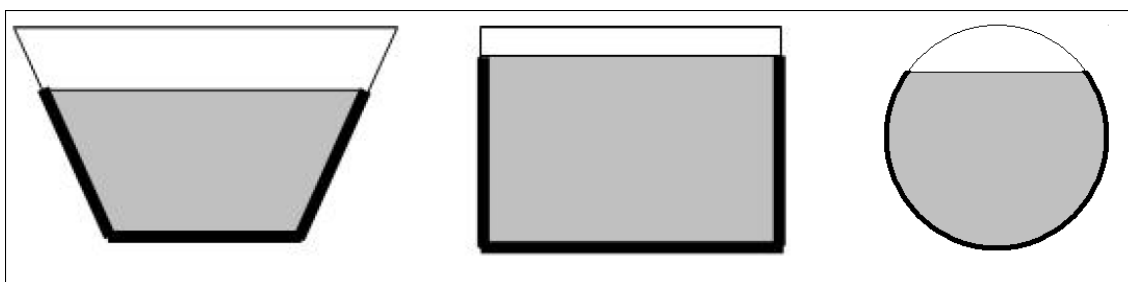


Figura 18 - Exemplos de Perímetro Molhado em canais com geometrias distintas. Nos três casos, o Perímetro Molhado pode ser traduzido como o comprimento da linha escura à volta dos fluidos. Elaboração Própria.

Matematicamente, o Perímetro Molhado é a razão entre a Área molhada (correspondente às áreas em cinza dos canais da Figura 14) e o Raio Hidráulico, que representa o raio da circunferência de área igual à Área Molhada.

Para compor os gráficos que relacionam os valores de Perímetro Molhado às vazões que os geraram, para cada seção, limitou-se a plotar os dados relativos a vazões até 10.000 m<sup>3</sup>/s, devido à rara ocorrência de vazões próxima deste número no período de estiagem do rio Xingu (Junho a Dezembro), como pode ser verificado no gráfico abaixo:

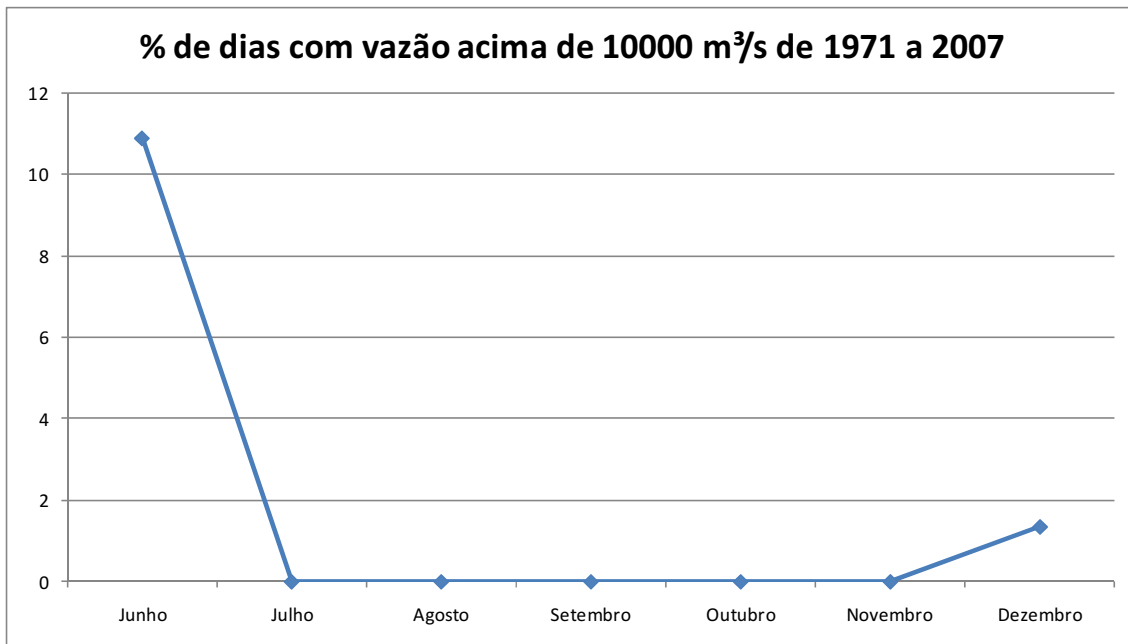


Figura 19 - Percentual de dias com vazão acima de 10000 m³/s de 1971 a 2007. Elaboração própria.

Portanto, das 330 vazões simuladas no trecho entre as seções NOVA 03 e NOVA 01, apenas 94 foram plotadas nos gráficos de perímetro molhado x vazão exibidos a seguir. Marcado nos gráficos está a provável região do ponto de inflexão: como os dados foram modelados com significativas incertezas (multiplicidade de fontes, ausência de informação sobre o fundo do rio etc.), preferiu-se indicar os limites inferiores e superiores da vazão ambiental indicada pelo Método do Perímetro Molhado para as seções calculadas.

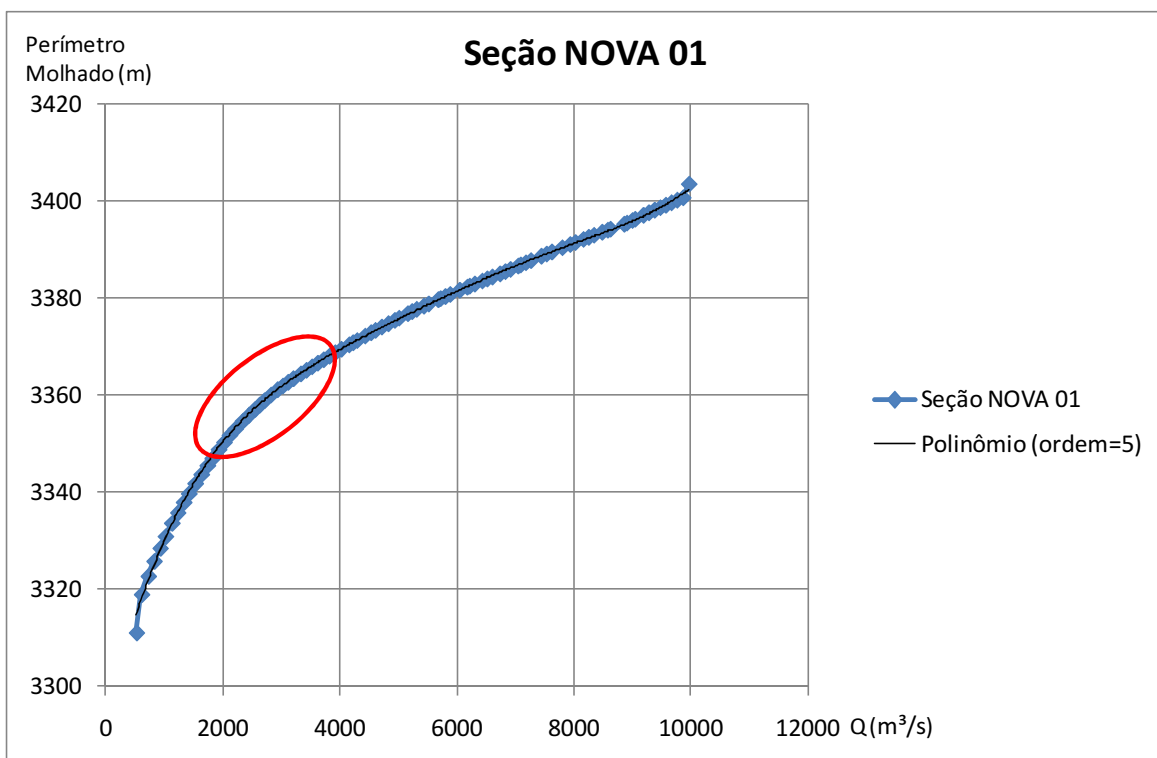


Figura 20 - Perímetro Molhado x Vazão, para Seção NOVA 01. Os limites inferior e superior da vazão ambiental são 2000 m³/s e 4000 m³/s, respectivamente. Elaboração própria.

Pelo que se pode observar, e através das considerações feitas no capítulo III, a seção NOVA 01 não possui formato favorável a uma análise pelo Método do Perímetro Molhado: sua curva é contínua e suave, sem pontos de inflexão marcados, o que indica que o talude da calha principal deve ser raramente afogado durante as épocas de estiagem.

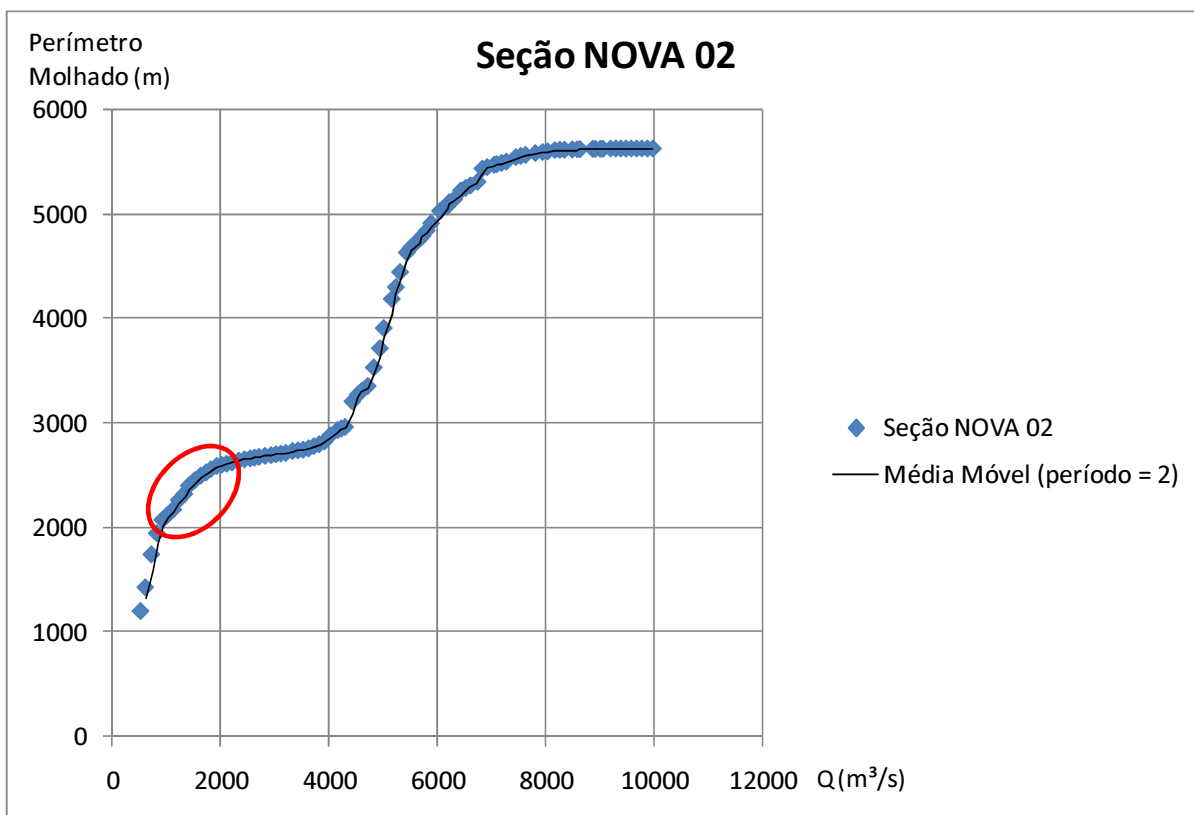


Figura 21 - Perímetro Molhado x Vazão, para Seção NOVA 02. Os limites inferior e superior da vazão ambiental são  $900 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente. Elaboração própria.

A seção NOVA 02, por outro lado, apresenta uma clássica curva em “S”, indicando a presença de um possível planalto de formação de rios, inundado por vazões maiores que aproximadamente  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nota-se que é muito mais intuitivo determinar uma faixa de pontos onde há brusca mudança de curvatura, diferente da seção NOVA 01, que demanda uma inspeção mais fina e subjetiva.

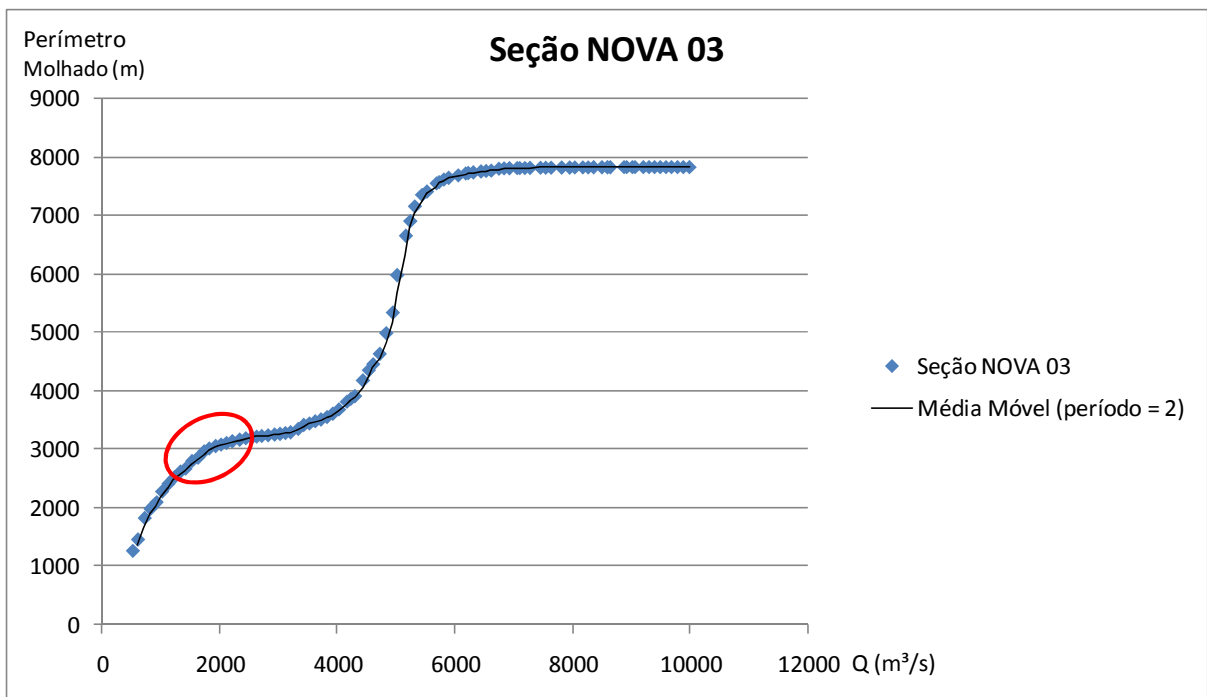


Figura 22 - Perímetro Molhado x Vazão, para Seção NOVA 03. Os limites inferior e superior da vazão ambiental são 1300 m³/s e 2200 m³/s, respectivamente. Elaboração própria.

A seção NOVA 03 também indicou um formato favorável à análise, com faixas claras onde se processa a mudança de direção da curva, tanto para a borda do talude da calha principal quando do planalto de formação de rios.

A escolha dos limites foi exclusivamente gráfica, mesmo porque o número exato não representa o objetivo do método do Perímetro Molhado: o que este pretende apontar é uma demanda ecológica de fácil acesso e compreensão, que pode auxiliar em processos decisórios.

Com os dados acima, poderiam ser analisados perfis das seções (localmente e através de gráficos), para que fosse determinado aquele mais sensível ecologicamente, ou seja, que apresentasse *loci* favorável ao estabelecimento de habitats durante períodos de críticos, como estiagens prolongadas.

Os resultados, claramente, demandaram considerações e hipóteses de acomodação da metodologia à disponibilidade de dados, logo maior qualidade de informações poderia levar a valores mais precisos e considerações mais embasadas. Ainda assim, é interessante observar os efeitos que a vazão de 680 m³/s, referenciada como limite para a navegação do TVR, produziria nas seções NOVA 01, 02 e 03, como é mostrado nas figuras abaixo:

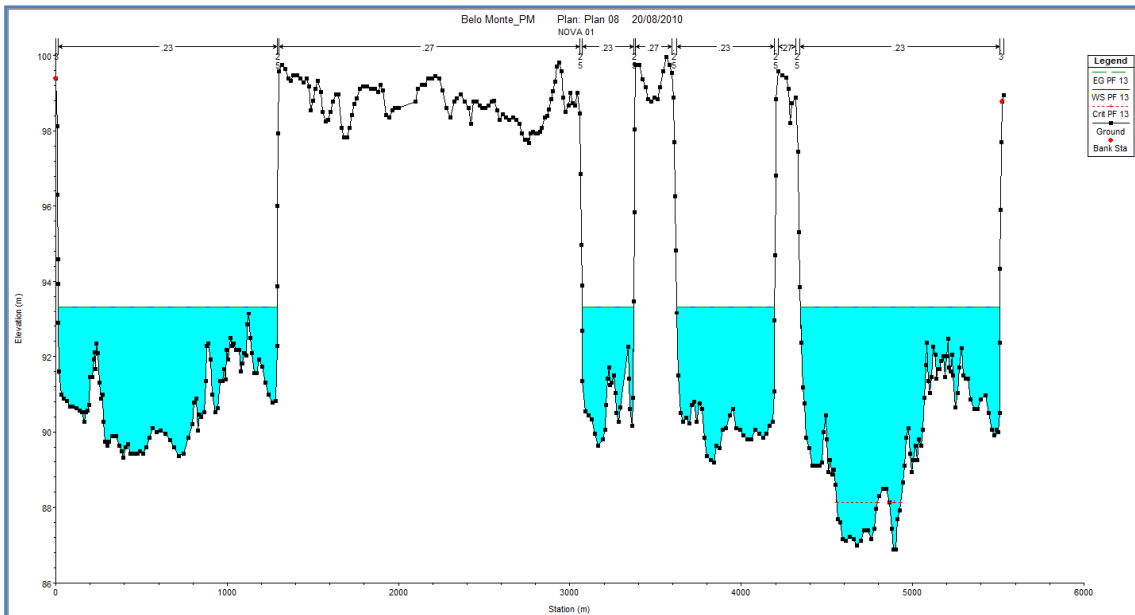


Figura 23 - Seção NOVA 01, para vazão de 680 m<sup>3</sup>/s; NA em 93.33 m. Fonte: HEC-RAS (UACE).

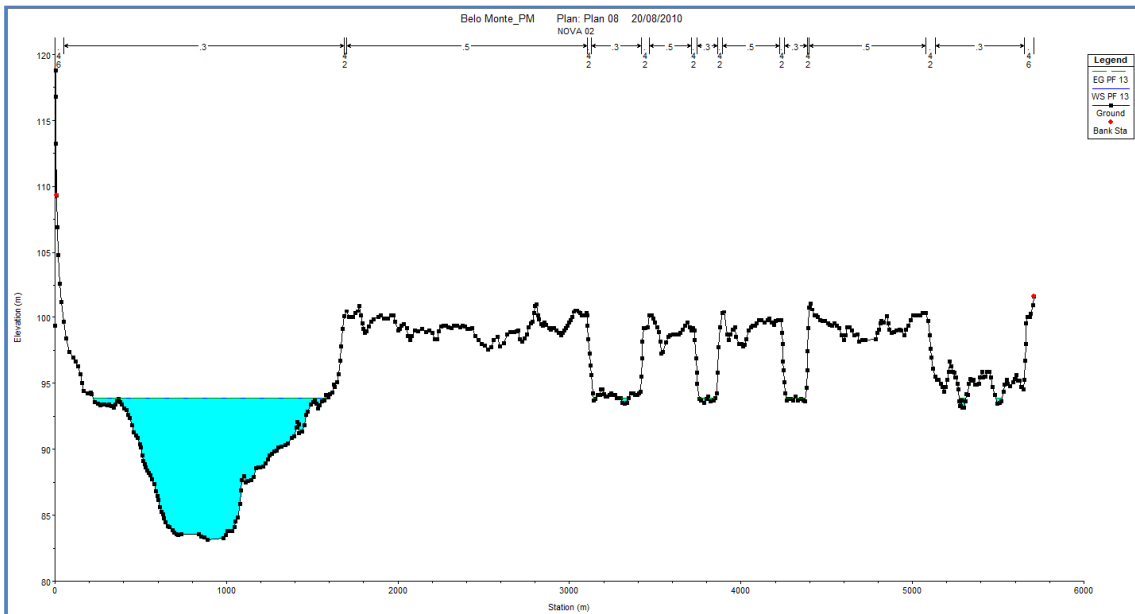


Figura 24 - Seção NOVA 02, para vazão de 680 m<sup>3</sup>/s; NA em 93.87 m. Fonte: HEC-RAS (UACE).

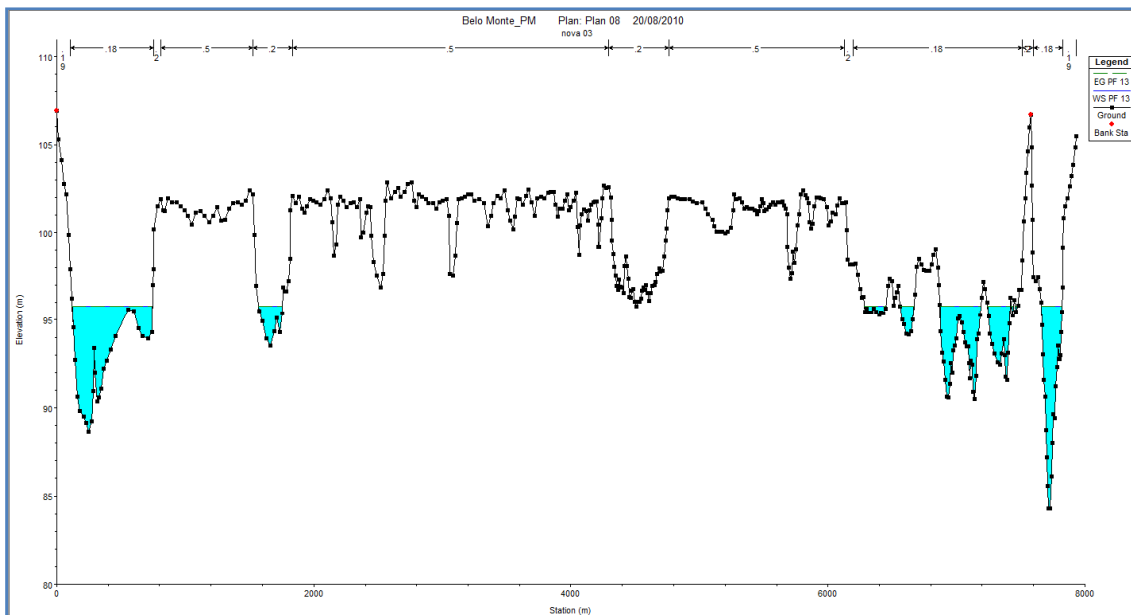


Figura 25 - Seção NOVA 03, para vazão de 680 m<sup>3</sup>/s; NA em 95.79 m. Fonte: HEC-RAS (UACE).

Se apenas for observada a Figura 20 – Seção NOVA 03, conclui-se que a navegação não estaria tão bem garantida pela vazão de 680 m<sup>3</sup>/s, já que a maior profundidade seria de 7 metros na região próxima à margem esquerda do canal, com largura de 170 metros. Considerando que as seções dentro do TVR têm uma distribuição aparentemente muito mais irregular em termos de afloramentos e calhas paralelas, e que o próprio EIA por vezes ressalta a existência de pedrais e cascatas que dificultam a navegação tanto nas estiagens quanto durante algumas cheias menores, dificilmente a vazão de 680 m<sup>3</sup>/s garante qualquer continuidade de coluna d’água para a passagem de barcos. Observando de perto o gráfico da Curva de Permanência, exibido no capítulo III, essa vazão corresponde à menos do que a Q<sub>99</sub>, muito mais restritivo do que é aceito em diversos estados nacionais.

Resumindo, não há dúvidas de que a adoção de um Hidrograma para a gestão hídrica do TVR de Belo Monte, em detrimento de um valor constante arbitrariamente chamado de “ecológico” ou “ambiental”, está mais alinhada com o estado da arte atual e com práticas de manutenção das características originais dos corpos hídricos e populações afetadas. Porém, os limites escolhidos para tal Hidrograma Ecológico são questionáveis, tendo sido encontrado, pela presente aplicação do Método do Perímetro Molhado, indícios de que a vazão ambiental mínima deve ser garantida, quando possível, a um valor de aproximadamente 1500 m<sup>3</sup>/s.

Tal valor encontra-se nas faixas graficamente determinadas para as seções NOVA 02 e NOVA 03, estando abaixo da faixa da seção NOVA 01 por esta ter uma relação muito pouco descontínua entre Perímetro Molhado e Vazão, o que indica que não é uma boa seção de interesse para o referido método. A baixa descontinuidade entre os dois parâmetros indica que a seção tem taludes altos separando as calhas principais das secundárias, podendo ser observado na Figura 19 que só a partir de níveis d’água acima dos 98 metros é que as calhas secundárias seriam acessadas.

As fragilidades do método e da aplicação do mesmo neste trabalho são decorrentes da qualidade dos dados colhidos sobre o rio Xingu, sua morfologia e hidrologia, assim como

representatividade de tais dados sobre a área do TVR e a própria natureza do rio Xingu. Jamais se procurou desenvolver ou justificar um Hidrograma alternativo ao do EIA de Belo Monte, e sim apresentar perspectivas críticas e conclusões diferenciadas sobre aquelas que fundamentaram a escolha dos Hidrogramas A e B (ELETROBRÁS, 2006).

## Capítulo V - Conclusões

O meio ambiente é, hoje, um debate sobre teores e não lados: quase não se vê mais discursos que valorizem a predação e esgotamento total dos recursos naturais; a população passou a se posicionar, nos últimos 20 anos, como mais ou menos “ambientalista”.

Nesse sentido, um olhar crítico, sistêmico e sem compromissos ideológicos (seja com a preservação, seja com o desenvolvimento) permite que profissionais da área de engenharia tomem decisões mais embasadas, mesmo porque sabem que só cresce a vigilância sobre os impactos de intervenções humanas, como é o exemplo de Aproveitamentos Hidrelétricos.

O Engenheiro Ambiental, portanto, deve prestar-se a executar o diálogo entre as diversas áreas de conhecimento, dentro da engenharia e de outras ciências que possam trazer informações sobre o meio ambiente e os aspectos ambientais dos projetos. Para tal, não são necessárias especializações em todas as áreas correlatas, e sim a compreensão de seus conceitos básicos e suas áreas de interseção.

Sendo assim, um Estudo de Impacto Ambiental é uma boa oportunidade para que o graduando de tais cursos possa avaliar sua capacidade crítica e demonstrar o conhecimento adquirido para reunir dados, analisá-los e apontar as fragilidades e acertos entre as metodologias usadas e resultados obtidos.

O projeto do AHE Belo Monte se configura como um interessante foco de estudo, dentre outros aspectos, por representar, ao mesmo tempo, a incorporação de preocupações ambientais (vide o extenso trabalho antropológico debatido no EIA, e a alteração no projeto para reservação a fio d'água, reduzindo a área de remanso) e o avanço dos planos de expansão do setor elétrico em uma região associada a empreendimentos grandiosos e infelizes, como Tucuruí.

Apesar da Usina de Tucuruí ter sido construída em uma época pretérita ao Licenciamento Ambiental, ao CONAMA e suas resoluções, sem incentivos à sustentabilidade, o projeto de Belo Monte também apresenta pontos de fragilidade metodológica, como uma baixa relação entre a potência firme e a potência máxima. É válido ressaltar que projetos na região amazônica estão sujeitos a uma relação altíssima entre as vazões de cheia e vazões de estiagem, ao contrário de rios da região Sudeste, como o Paraíba do Sul, que possui variação sazonal muito mais branda.

De posse de tal dificuldade, surpreende a falta de referências a estudos sobre os rios amazônicos na Metodologia de Comparação de Cenários, aplicada no EIA de Belo Monte. O método utilizado para determinar o Hidrograma (de Consenso, Ambiental ecológico, ...) mais sustentável ao Trecho de Vazão Reduzida parece ignorar avanços importantes ocorridos nos últimos 30 anos na gestão dos recursos hídricos.

Como foi observado, diversos tipos de métodos são usado em todo mundo para calcular vazões remanescentes: métodos hidrológicos (análises estatísticas das séries históricas de vazões), métodos hidráulicos (estudo e correlação entre parâmetros físicos e biótico do corpo



hídrico), métodos de manutenção de habitats e até mesmo métodos holísticos, que consideram todos estes aspectos.

Cada método apresenta suas vantagens e desvantagens, principalmente devido às limitações associadas aos dados por eles utilizados. A Curva de Permanência de Vazões, por exemplo, analisa hidrogramas e permite o detalhamento do ano hidrológico da bacia hidrográfica onde o rio se encontra; por se ater somente a estas informações, pode prescrever os mesmo valores para rios completamente diferentes, contanto que as frequências relativas das vazões sejam próximas.

O Método IFIM, por sua vez, é muito mais completo, cobrindo desde análises de habitats e microhabitats da ictiofauna até entrevistas com os atores das bacias hidrográficas e populações afetadas pelas intervenções propostas; provavelmente por tal complexidade, sua popularidade não é tão grande no Brasil quanto nos EUA, onde a legislação ambiental tem maior tradição e é mais temida.

O Método do Perímetro Molhado, como pode ser visto, não incorre em tal nível de complexidade, porém lida com mais variáveis associadas ao meio ambiente do que os métodos hidrológicos. Ele parte de considerações sobre a instalação de habitats de espécies salmonídeas para inferir graficamente o limite mínimo da manutenção de tais peixes.

Já o método utilizado no EIA de Belo Monte, chamado neste trabalho de Método de Comparação de Cenários, utilizou procedimentos próprios para a determinação de um Hidrograma que foi considerado equilibrado entre a geração de energia e a preservação ambiental. Valendo-se de pisos para as vazões de cheia e estiagem, o autor aliou a modelagem matemática e ecológica dos reservatórios com a simulação de cenários de regimes de vazões no TVR.

Tanto a modelagem quanto a simulação foram alvos de crítica, principalmente em relação à limitação dos cenários contemplados, à simplicidade dos modelos utilizados e às hipóteses feitas sobre a resistência e resiliência da biota. Houve até mesmo a atribuição de índices pela metodologia IHA (Indicators of Hydrologic Alteration), apesar de não ter sido explicado o resultado de tal análise. Tal metodologia se baseia em um pacote de até 67 descritores hidrológicos relacionados à tendência central e à dispersão anuais de cheias e estiagens, dentre magnitude, frequência duração e outras variáveis consideradas intimamente relacionadas à ecologia dos rios.

Há, também, pontos de avanço na metodologia: se, por um lado, a quase totalidade dos órgãos estaduais brasileiros de meio ambiente aceitem vazões constantes para manutenção de corpos hídricos aduzidos ou reservados em algum trecho, o autor foi categórico em afirmar que os Hidrogramas I e II, propostos pelo EIA, devem ser operados com variação sazonal mensal, de acordo com a afluência natural de vazões do rio Xingu. Essa imposição demonstra o estabelecimento de novos preceitos, já observados em legislações de países da União Européia e da América do Norte.

Porém, apenas considerando a hipótese de que a vazão de 680 m<sup>3</sup>/s manteria o calado mínimo de navegação no TVR, a aplicação do Método do Perímetro Molhado nas Seções NOVA 01, 02

e 03, à montante de Altamira, demonstrou que o valor pode ser demasiado baixo e provavelmente não corresponderá a diversos trechos com maior área de afloramentos. Esta última consideração é ainda mais apoiada pelo baixo número de seções topobatimétricas levantadas pela Leme Engenharia empresa contratada para a coleta de dados de campo, no Trecho de Vazão Reduzida.

O valor ideal de vazão ambiental mínima, através do Método do Perímetro Molhado, foi de 1500 m<sup>3</sup>/s. É importante notar que o método não é indicado para rio como o Xingu, que possui grande irregularidade no formato das seções. Da mesma forma, a limitada disponibilidade de dados tornou a modelagem pouco abrangente, ainda que as considerações metodológicas do próprio projeto de Belo Monte tenham sido utilizadas para justificar adequações, como o uso de vazões e cotas de nível d'água do posto da ANA em Altamira.

Certamente, há espaço e motivos suficientes para novos estudos sobre a viabilidade de tal Hidrograma para a sustentabilidade dos ecossistemas e das populações da Volta Grande do Xingu

Possivelmente, muitas das metodologias desenvolvidas para a determinação de vazões ou hidrogramas ecológicos possuem características advindas de seus países de origem, das espécies endêmicas observadas e das legislações locais. Com o avanço da gestão de recursos hídricos no país, há diversos aspectos a serem explorados para a composição de uma metodologia nacional, relativa a um tipo de bacia hidrográfica, a rios de uma mesma bacia (como a Amazônica) ou mesmo a uma região de bioma homogêneo, como o Nordeste.

Resta a expectativa e desejo de que a Engenharia Ambiental e seus recém-formados venham ao encontro de tal demanda.

## Referências Bibliográficas

ALVES, M. H.; HENRIQUES, A. G., 1994, “O caudal ecológico como medida de minimização dos impactos nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações.” Actas do 6º SILUSB/1º SILUSBA, *Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Lisboa, Portugal, 11 a 14 de Abril de 1994. APRH/ABRH, pp. 177-190.

ARTEIRO, J.N.B.; 2008, *Levantamento de Seção Topobatimétrica e Medição De Nível D’água no rio Xingu na área da AHE Belo Monte*. Leme Engenharia, Brasília, DF, 2008.

ELETROBRÁS/UFPA. *Plano de Atendimento à População Atingida: Principais Diretrizes*. III Fórum Técnico, 2008. Disponível em: <http://www.eletronorte.com/elb/main.asp?View={46763BB8-3B05-432F-A206-C8F93CC3BA90}>. Acesso em: 03 de junho de 2010, 16:57:08.

ELETROBRÁS; ELETRONORTE. EIA/RIMA do AHE Belo Monte. 2006.

CABRAL, M. M., 2009, “Análise Integrada: Proposição do Hidrograma Ecológico para o Trecho de Vazão Reduzida – AHE Belo Monte”, volume único, *Nota Técnico-Científica Consolidada sobre o EIA/RIMA de Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte – PA*, IVIG, COPPE/UFRJ, pp. 105-116.

MAGALHÃES, S.B.; HERNANDEZ, F. M.; ACSELRAD, H. *et al.*, 2009, *Painel de Especialistas - Análise Crítica do Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Belo Monte*, Belém, PA.

FARIA, I. D., 2004, *O Descompasso e o Piroscópio: Uma análise dos conflitos socioambientais do projeto da Usina Hidrelétrica Belo Monte*. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Brasília, DF, Brasil, 2004.

SARMENTO, R., 2007 *estado da Arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo – Produto 2*. In: projeto 704BRA2041, UNESCO/ANA/CBHSF.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; *et al.* *Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico*. In: VIII Congresso da Água, 2006, Figueira da Foz. Água, sede de sustentabilidade. Lisboa : Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2006.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F., 2006, *Análise das metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: Rio Coruripe/AL e Rio Solimões/AM*. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

CARDINOT, F.C.; SAMPAIO, L.L.; REZENDE, P.F.V.S; *et al.* *A geração do aproveitamento hidrelétrico Belo Monte*. In: Anais do XXVII Seminário Nacional de Grandes Barragens. Comitê Brasileiro de Barragens. Belém, PA, 03 a 07 de junho de 2007.

KIM, W.C.; MAUBORGNE, R., 2005, *How to Create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant*. 1 ed. Massachusetts, Harvard Business Press.

PAULO, R.G.F., 2007, *Ferramentas para a Determinação de Vazões Ecológicas em Trechos de Vazão Reduzida: Destaque para Aplicação do Método do Perímetro Molhado no caso de Capim Branco I*. Tese de M. Sc. escola de Engenharia/UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

REIS, A.A.; 2007 *estudo Comparativo, Aplicação e Definição de Metodologias Apropriadas para a Determinação da Vazão Ecológica na Bacia do rio Paraná em Minas Gerais*. Tese de M. Sc. escola de Engenharia/UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

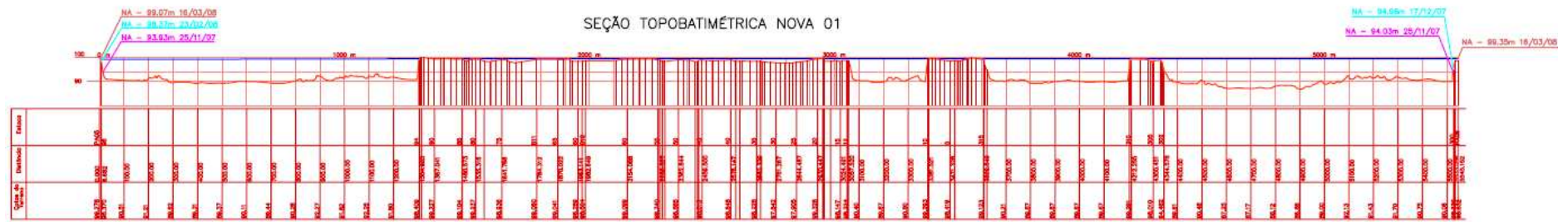
PORTELA, M.M., 2007, "Caudais ecológicos em pequenos aproveitamentos hidroeléctricos: comparação de métodos de definição com base em dois casos de estudo." *7º Congresso da Água*, Lisboa, Portugal, LNEC, 8 a 12 de Março de 2004.

LOPES, L. F. G.; CORTES, R. M. V.; CARMO, J. S. A.; *et al.* "Determinação do caudal ecológico a jusante da barragem do Touvedo – rio Lima." *6º Congresso da Água*, Porto, Portugal, Centro de Congressos da Alfândega, 18 a 22 de Março de 2002.

RUSTARAZO, M.M.; 2000, *Determinación de Regímenes de Caudales Ecológicos Mínimos; Adaptación del Método IFIM-PHABSIM y Aplicación a los Rios Españoles*. Tese de M. Sc., Departamento de Ingeniería Forestal escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, Espanha.

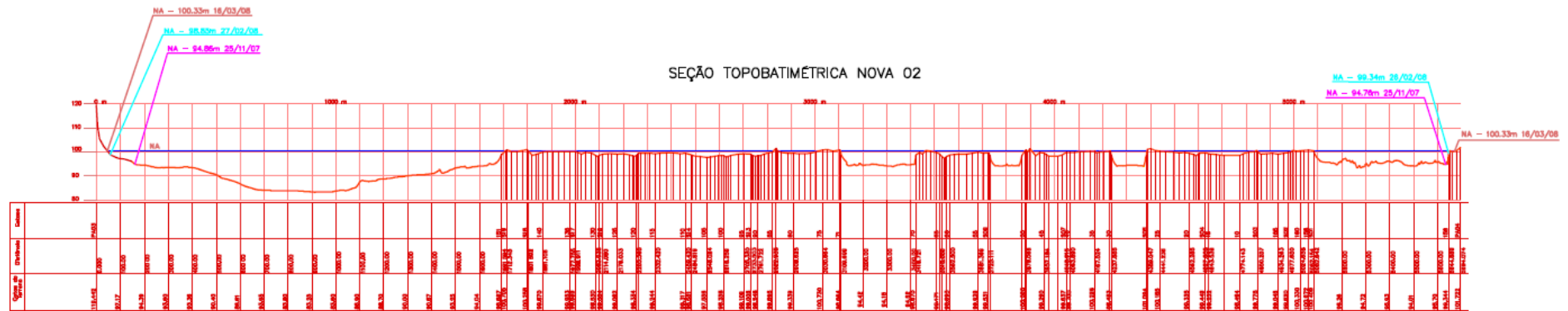
US. ARMY CORPS OF ENGINEERING. HEC-RAS Version 4.1.0. River Analysis System, 2010.

# ANEXO I – Dados Utilizados



ESCALAS: HORIZONTAL 1/10.000 e VERTICAL: 1/1.000

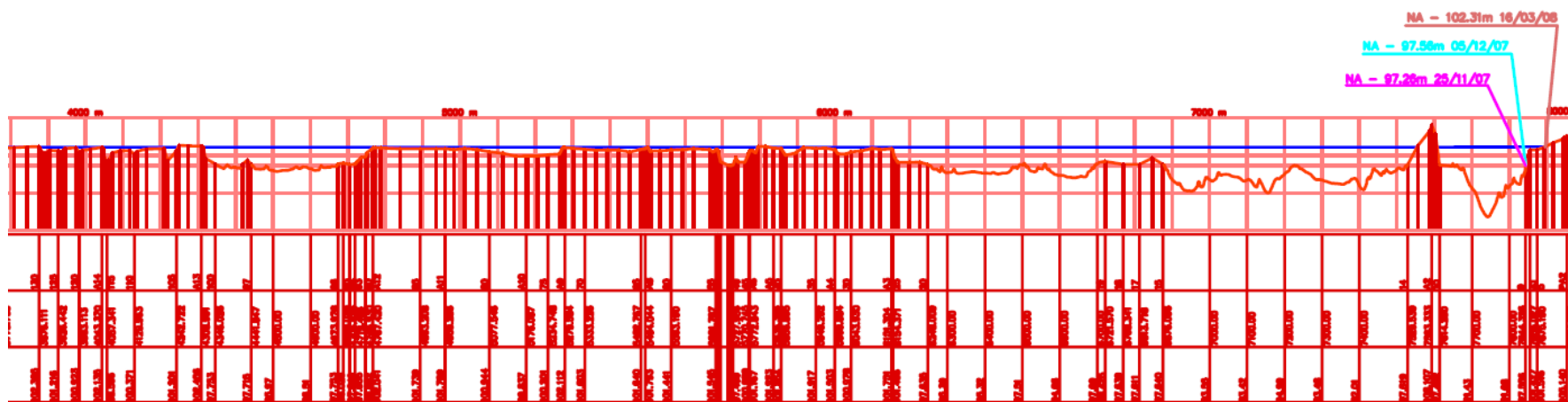
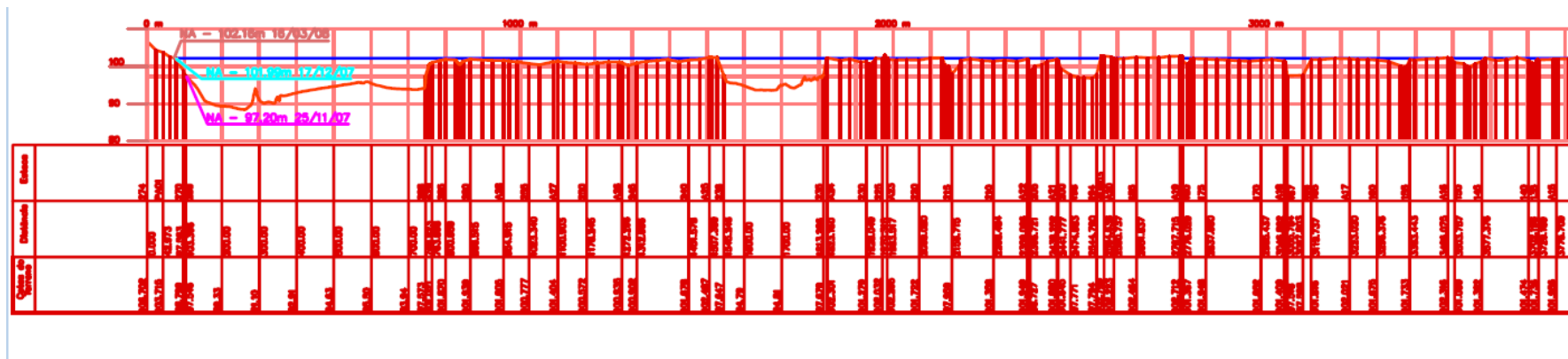
Figura 31 - Seção Topobatimétrica NOVA 01. Fonte: "Levantamento de Seção Topobatimétrica e Medição De Nível D'água no rio Xingu na área da AHE Belo Monte", Leme Engenharia.



ESCALAS: HORIZONTAL 1/10.000 e VERTICAL: 1/1.000

Figura 22 - Seção Topobatimétrica NOVA 02. Fonte: "Levantamento de Seção Topobatimétrica e Medição De Nível D'água no rio Xingu na área da AHE Belo Monte", Leme Engenharia.

# SEÇÃO TOPOBATIMÉTRICA NOVA 03



ESCALAS: HORIZONTAL 1/10.000 e VERTICAL: 1/1.000

Figura 24 - Seção Topobatimétrica NOVA 03. Fonte: "Levantamento de Seção Topobatimétrica e Medição De Nível D'água no rio Xingu na área da AHE Belo Monte", Leme Engenharia.

**Tabela 6 - Vazões Naturais ao AHE Belo Monte. Fonte: CARDINOT, 2007.**

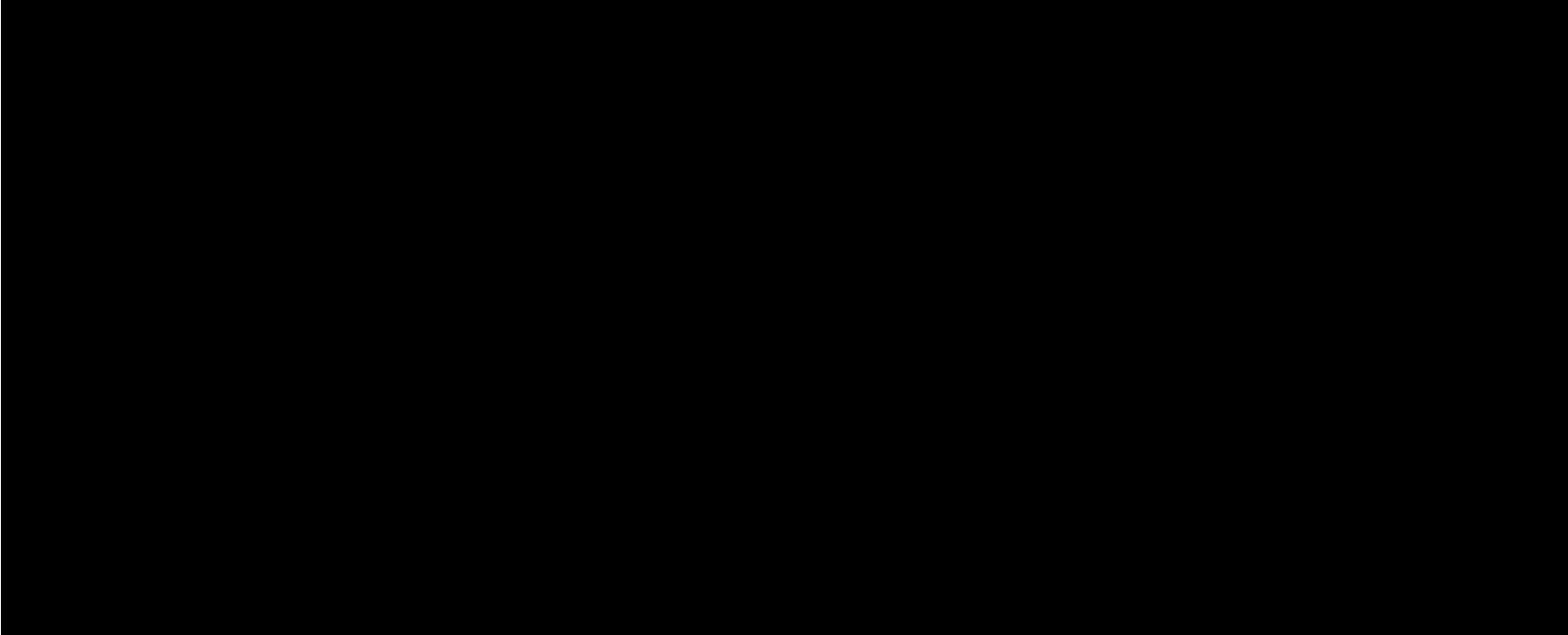
Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	Ano	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1971	2516	6320	9561	14097	11241	6029	1971	2675	1312	750	691	2643	4133
1972	5518	11889	16481	16882	14507	5822	1972	2682	1286	848	639	1090	1805
1973	4327	6920	14261	19619	17253	7415	1973	3658	2203	1141	1418	2834	5617
1974	7455	15161	21551	27567	25927	13396	1974	4434	2056	1444	1348	1415	4044
1975	7353	15283	19279	20795	17986	8496	1975	3836	1865	1043	733	1145	2810
1976	6389	10913	15358	14893	11218	5508	1976	2469	1190	793	985	2218	5069
1977	9182	15546	18470	17313	19345	10036	1977	4486	1972	1172	1499	3294	4838
1978	15641	16065	25562	22753	17434	9402	1978	4169	2353	1433	1461	1957	3924
1979	8644	18249	24527	17960	11205	5092	1979	2409	1447	1390	1451	1981	3339
1980	8237	15500	30129	21504	10483	4361	1980	2264	1409	1069	1116	1571	4115
1981	10321	15439	12503	16853	9651	4051	1981	2099	1394	1096	962	1749	5282
1982	10061	23245	28249	21649	17420	7165	1982	3369	1838	1313	1848	1984	2718
1983	6242	15055	16566	16866	7518	3697	1983	2031	1351	1064	1186	2337	3927
1984	6829	9538	13498	19343	19049	7497	1984	3079	1576	1299	1371	2555	3377
1985	9663	22519	24847	22800	23246	9495	1985	4050	2126	1328	1344	2666	6743
1986	16286	18708	22519	20660	14722	6649	1986	3298	1839	1421	2140	4036	4283
1987	7043	8610	17081	17804	10549	4606	1987	2257	1350	1032	1163	1446	2977
1988	7181	10404	19207	20759	16641	7302	1988	3275	1640	1111	1153	2136	7102
1989	11408	14084	18455	23605	19456	9236	1989	4359	2280	1525	1404	2998	9752
1990	17902	13529	22193	18090	10771	5277	1990	2750	1868	1246	1353	1873	2853
1991	7577	15891	16940	23169	18014	9095	1991	3682	1855	1182	1227	1872	3534
1992	6733	14043	17492	19102	11653	4860	1992	2346	1446	1190	1496	2063	5350
1993	9209	11094	19477	16048	10998	4917	1993	2365	1414	1307	1344	1809	2985
1994	11077	18053	23442	22479	15375	7173	1994	4390	2105	1453	1353	1507	3588
1995	11984	17579	20295	20988	21409	12872	1995	4710	2253	1362	1197	1504	4300
1996	10432	12325	16189	17998	16659	6679	1996	2932	1624	1146	1125	1959	3590
1997	7353	15047	15973	22744	16711	6114	1997	2865	1598	1172	1179	1276	1946
1998	3720	5653	9861	9817	6587	2872	1998	1417	908	708	715	1378	3643
1999	6867	7992	13361	12416	11274	5594	1999	2225	1100	778	901	1373	3049
2000	10616	15929	21962	22063	13607	5432	2000	2830	1668	1174	1528	2656	6305
2001	11276	13342	16993	18449	10821	6403	2001	3042	1498	1034	1000	1584	4223
2002	11531	12380	12036	13045	7547	4362	2002	1830	1157	807	876	1391	1980
2003	1128	3949	13045	19150	10476	3693	2003	2354	2277	1129	1119	1887	3773

**Tabela 7 - Vazões de 1971 a 1972, utilizadas na modelagem 1D do trecho do rio Xingu à montate de Altamira. Fonte: Hidroweb estação 18850000.**

Mês-Ano	Vazao01	Vazao02	Vazao03	Vazao04	Vazao05	Vazao06	Vazao07	Vazao08	Vazao09	Vazao10	Vazao11	Vazao12	Vazao13	Vazao14	Vazao15
janeiro-71	1588	1608.5	1629	1670	1712	1712	1691	1691	1670	1649.5	1629	1629	1649.5	1649.5	1670
fevereiro-71	5085	5233	5393	5434	5475	5516	5475	5434	5352	5352	5352	5434	5557	5721	5885
março-71	8864	8958	8958	9005	9052	9193	9384	9576	9771	10077	10230	10230	10230	10128	10128
abril-71	10230	10791	11352	12015	12576	13092	13456	13820	14028	14080	14132	14028	13924	14080	15097.9
maio-71	14028	14028	13924	13924	13820	13664	13456	13248	13040	12780	12372	12270	12168	12066	11913
junho-71	7180	7092	6960	6828	6784	6652	6477	6434	6262	6219	6391	6608	6608	6696	6348
julho-71	4054	3884	3718	3553	3520	3424	3296	3200	3140	3110	3080	3020	2930	2817.5	2707.5
agosto-71	1712	1670	1629	1588	1567.5	1526.5	1485.5	1448	1431	1397	1363	1329	1312	1295	1295
setembro-71	955	940	925	910	865	835	820	806	792	778	764	750	750	750	736
outubro-71	644	632	632	620	620	608	596	584	572	560	540	520	540	560	644
novembro-71	1016.5	1094	1142	1227	1397	1629	1817	2018	2235	2386.5	2492.5	2545.5	2572	2598.5	2598.5
dezembro-71	4530	4641	4752	4752	4715	4678	4641	4604	4530	4360	4258	4156	4020	3918	3850
janeiro-72	4360	4428	4462	4567	4641	4752	4863	4863	4826	4826	4789	4678	4567	4641	4752
fevereiro-72	8582	8958	9384	9576	9771	9975	10179	10383	10587	10638	10791	10944	11148	11556	11964
março-72	15335.1	15753	15933	16173	16473	16653	16773	16893	16953	17013	17073	17073	17133	17133	17073
abril-72	15933	15753	15693	15573	15453.7	15573	15753	15633	15513	15513	15513	15633	15753	15933	16293
maio-72	19116	19116	18995.8	18695.3	18575.1	18515	18274.6	17793.8	17013	16473	16173	15933	15573	15335.1	14979.3
junho-72	8165	7985	7805	7490	7268	7092	6916	6740	6652	6520	6434	6348	6219	6049	5885
julho-72	3884	3850	3817	3784	3751	3718	3619	3424	3296	3170	3050	2930	2817.5	2707.5	2598.5
agosto-72	1670	1629	1588	1526.5	1485.5	1431	1397	1380	1380	1363	1363	1346	1329	1312	1295
setembro-72	1047.5	1032	1032	1016.5	1016.5	1001	985.5	970	955	940	925	895	865	835	820
outubro-72	656	656	644	632	620	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608
novembro-72	835	865	910	940	970	1001	1047.5	1094	1078.5	1032	1032	1032	1047.5	1047.5	1063
dezembro-72	1329	1363	1380	1397	1397	1397	1414	1448	1485.5	1526.5	1567.5	1588	1629	1670	1733



Tabela 7 - Vazões de 1971 a 1972, utilizadas na modelagem 1D do trecho do rio Xingu à montate de Altamira. Fonte: Hidroweb estação 18850000.  
(CONTINUAÇÃO)



**Tabela 8 - Cotas de nível d'água de 1971 a 1972, utilizadas na modelagem 1D do trecho do rio Xingu à montante de Altamira. Fonte: Hidroweb estação 18850000.**

Mês-Ano	Cota01	Cota02	Cota03	Cota04	Cota05	Cota06	Cota07	Cota08	Cota09	Cota10	Cota11	Cota12	Cota13	Cota14	Cota15
janeiro-71	286	287	288	290	292	292	291	291	290	289	288	288	289	289	290
fevereiro-71	405	409	413	414	415	416	415	414	412	412	412	414	417	421	425
março-71	492	494	494	495	496	499	503	507	511	517	520	520	520	518	518
abril-71	520	531	542	555	566	576	583	590	594	595	596	594	592	595	613
maio-71	594	594	592	592	590	587	583	579	575	570	562	560	558	556	553
junho-71	455	453	450	447	446	443	439	438	434	433	437	442	442	444	436
julho-71	376	371	366	361	360	357	353	350	348	347	346	344	341	337	333
agosto-71	292	290	288	286	285	283	281	279	278	276	274	272	271	270	270
setembro-71	249	248	247	246	243	241	240	239	238	237	236	235	235	235	234
outubro-71	227	226	226	225	225	224	223	222	221	220	218	216	218	220	227
novembro-71	253	258	261	266	276	288	297	306	315	321	325	327	328	329	329
dezembro-71	390	393	396	396	395	394	393	392	390	385	382	379	375	372	370
janeiro-72	385	387	388	391	393	396	399	399	398	398	397	394	391	393	396
fevereiro-72	486	494	503	507	511	515	519	523	527	528	531	534	538	546	554
março-72	617	624	627	631	636	639	641	643	644	645	646	646	647	647	646
abril-72	627	624	623	621	619	621	624	622	620	620	620	622	624	627	633
maio-72	680	680	678	673	671	670	666	658	645	636	631	627	621	617	611
junho-72	477	473	469	462	457	453	449	445	443	440	438	436	433	429	425
julho-72	371	370	369	368	367	366	363	357	353	349	345	341	337	333	329
agosto-72	290	288	286	283	281	278	276	275	275	274	274	273	272	271	270
setembro-72	255	254	254	253	253	252	251	250	249	248	247	245	243	241	240
outubro-72	228	228	227	226	225	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224
novembro-72	241	243	246	248	250	252	255	258	257	254	254	254	255	255	256
dezembro-72	272	274	275	276	276	276	277	279	281	283	285	286	288	290	293

**Tabela 8 - Cotas de nível d'água de 1971 a 1972, utilizadas na modelagem 1D do trecho do rio Xingu à montate de Altamira. Fonte: Hidroweb estação 18850000. (CONTINUAÇÃO)**

Mês-Ano	Cota16	Cota17	Cota18	Cota19	Cota20	Cota21	Cota22	Cota23	Cota24	Cota25	Cota26	Cota27	Cota28	Cota29	Cota30	Cota31
janeiro-71	292	295	299	305	314	331	344	354	362	369	375	381	387	393	399	403
fevereiro-71	429	433	437	441	445	449	455	462	469	475	481	487	492			
março-71	518	518	516	513	509	505	501	494	495	499	500	500	502	505	509	513
abril-71	617	620	620	618	620	621	622	621	620	614	606	603	599	595	592	
maio-71	549	545	538	533	529	525	519	513	506	496	485	474	469	465	461	457
junho-71	436	435	432	430	427	423	420	416	411	407	403	397	391	386	381	
julho-71	329	325	321	319	316	313	310	309	307	304	302	300	298	296	296	294
agosto-71	270	270	269	268	267	266	266	265	264	263	260	258	256	252	250	249
setembro-71	234	233	232	231	230	230	229	229	229	228	228	228	228	227	227	
outubro-71	230	232	232	232	233	233	234	237	238	239	240	241	241	242	245	249
novembro-71	330	330	333	337	340	343	346	352	357	362	367	373	377	383	387	
dezembro-71	369	369	368	368	369	369	369	370	370	369	367	368	370	373	376	379
janeiro-72	398	400	399	399	401	403	412	422	433	443	452	463	472	479	482	484
fevereiro-72	560	566	570	573	575	577	583	587	591	595	599	603	607	611		
março-72	644	642	639	636	633	633	632	632	631	630	632	632	632	632	631	630
abril-72	639	647	653	657	659	660	660	662	665	666	669	672	675	676	677	
maio-72	604	597	593	589	583	576	566	558	551	547	537	525	511	501	493	482
junho-72	421	417	413	410	407	403	399	395	391	387	383	379	376	374	372	
julho-72	325	321	319	317	314	311	309	307	305	303	301	299	297	295	294	292
agosto-72	269	268	267	265	264	263	262	261	261	260	259	258	257	256	256	255
setembro-72	240	239	239	238	237	236	236	235	234	233	232	230	229	228	228	
outubro-72	224	224	224	225	226	226	227	228	228	227	227	228	228	231	237	238
novembro-72	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	269	270	271	
dezembro-72	295	295	296	298	300	301	302	303	305	308	310	314	319	323	332	342

## Anexo II – Modelagem 1D no HEC-RAS

**Tabela 9 - Coeficientes de Manning aplicados em relação à distância da margem esquerda de cada seção, para três vazões diferentes. Elaboração e calibração própria.**

Seção 3				Seção 2				Seção 1			
Distância(m) / Vazão (m³/s)	1142	13716	20197.8	Distância(m) / Vazão (m³/s)	1142	13716	20197.8	Distância(m) / Vazão (m³/s)	1142	13716	20197.8
0	0.19	0.015	0.015	0	0.46	0.0138	0.0138	0	0.3	0.012	0.006
103.7249	0.18	0.09	0.09	50	0.3	0.007	0.007	14.6	0.23	0.02	0.02
754.5	0.2	0.2	0.2	1687.55	0.42	0.0126	0.0126	1291.929	0.25	0.01	0.005
810.6017	0.5	0.5	0.5	1702.41	0.5	0.05	0.049	1303.15	0.27	0.027	0.027
1527.507	0.2	0.2	0.2	3105.306	0.42	0.0126	0.0126	3058.071	0.25	0.01	0.005
1833.524	0.5	0.5	0.5	3129.39	0.3	0.007	0.007	3069.882	0.23	0.02	0.02
4293.447	0.2	0.2	0.2	3419.8	0.42	0.0126	0.0126	3372.835	0.25	0.01	0.005
4764.103	0.5	0.5	0.5	3464.082	0.5	0.05	0.049	3383.071	0.27	0.027	0.027
6128.775	0.2	0.2	0.2	3712.245	0.42	0.0126	0.0126	3595.866	0.25	0.01	0.005
6193.163	0.18	0.09	0.09	3745.71	0.3	0.007	0.007	3625	0.23	0.02	0.02
7513.39	0.2	0.2	0.2	3864.49	0.42	0.0126	0.0126	4194.488	0.25	0.01	0.005
7597.721	0.18	0.09	0.09	3892.041	0.5	0.05	0.049	4218.11	0.27	0.027	0.027
7824.501	0.19	0.015	0.015	4224.082	0.42	0.0126	0.0126	4320.079	0.25	0.01	0.005
				4255.1	0.3	0.007	0.007	4342.126	0.23	0.02	0.02
				4386.123	0.42	0.0126	0.0126	5510.04	0.3	0.012	0.006
				4397.755	0.5	0.05	0.049				
				5078.979	0.42	0.0126	0.0126				
				5132.041	0.3	0.007	0.007				
				5653.673	0.46	0.0138	0.0138				

**Tabela 10 - Perímetro molhado de cada seção, computado pelo modelo de escoamento 1D permanente do HEC-RAS em relação às seções e às vazões aplicadas. Elaboração própria.**

Vazão	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Vazão	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Vazão	Seção 1	Seção 2	Seção 3
520	3311.16	1206.08	1.28E+03	3619	3366.63	2759.91	3.49E+03	6740	3385.01	5306.19	7796.57
608	3319.03	1432.93	1.47E+03	3718	3367.35	2781.45	3.52E+03	6828	3385.47	5433.56	7804.53
722	3322.79	1746.55	1.84E+03	3817	3368.07	2798.71	3.56E+03	6916	3385.93	5448.01	7805.84
820	3325.86	1949.44	1.99E+03	3918	3368.79	2826.83	3.62E+03	7048	3386.62	5468.89	7807.73
925	3328.55	2076.63	2.11E+03	4020	3369.5	2883.98	3.69E+03	7092	3386.84	5475.34	7808.33
1016.5	3330.98	2122.87	2.29E+03	4156	3370.41	2934.95	3.82E+03	7180	3387.29	5488.01	7809.52
1125	3333.69	2175.68	2.42E+03	4224	3370.85	2949.58	3.87E+03	7268	3387.74	5500.27	7810.65
1227	3335.85	2267.31	2.53E+03	4292	3371.3	2964.14	3.92E+03	7445	3388.64	5543.46	7813.03
1329	3338	2325.83	2.63E+03	4428	3372.22	3209.25	4.18E+03	7535	3389.08	5554.62	7814.08
1414	3339.76	2404.5	2.68E+03	4530	3372.91	3273.85	4.358.66	7625	3389.52	5564.75	7815.07
1526.5	3341.86	2455.07	2.81E+03	4604	3373.38	3309.77	4460.54	7805	3390.39	5580.77	7816.9
1629	3343.72	2499.58	2.87E+03	4715	3374.07	3356.26	4638.62	7940	3391.04	5591.48	7818.14
1733	3345.55	2530.67	2.97E+03	4826	3374.76	3532.87	4990.1	8030	3391.46	5597.98	7818.92
1817	3347.02	2561.35	3.02E+03	4937	3375.44	3716.84	5341.39	8165	3392.1	5610.95	7820.04
1926	3348.85	2592.03	3.07E+03	5011	3375.9	3910.19	5982.49	8255	3392.53	5612.61	7820.67
2018	3350.32	2603.37	3.09E+03	5159	3376.82	4187.09	6653.22	8347	3392.95	5614.06	7821.26
2110	3351.77	2613.55	3.12E+03	5233	3377.26	4301	6902.98	8488	3393.58	5616.28	7822.03
2210	3353.1	2625.71	3.15E+03	5311	3377.71	4444.46	7154.02	8582	3393.99	5617.61	7822.52
2335	3354.71	2641.56	3.17E+03	5434	3378.38	4631.44	7349.88	8629	3394.2	5618.23	7822.76
2439.5	3355.93	2654.13	3.20E+03	5516	3378.82	4682.25	7406.16	8864	3395.22	5620.94	7823.73
2545.5	3357.14	2664.42	3.21E+03	5680	3379.7	4765.69	7546.54	8911	3395.45	5621.41	7823.89
2625	3358.03	2671.53	3.22E+03	5721	3379.92	4790.94	7568.93	9005	3395.98	5622.28	7824.18
2707.5	3358.93	2678.37	3.24E+03	5803	3380.35	4840.64	7612.84	9052	3396.25	5622.53	7824.3
2817.5	3360.11	2687.32	3.25E+03	5885	3380.78	4910.97	7642.5	9193	3397.05	5623.6	7824.59
2930	3361.19	2696.03	3.26E+03	6049	3381.64	5029.59	7683.22	9288	3397.58	5624.18	7824.73
3020	3361.95	2702.64	3.27E+03	6176	3382.28	5071.95	7716.75	9384	3398.1	5624.66	7824.82
3110	3362.7	2709.22	3.29E+03	6219	3382.49	5111.03	7724.35	9480	3398.62	5625.03	7824.85
3200	3363.45	2715.75	3.30E+03	6305	3382.92	5139.14	7735.65	9576	3399.13	5625.28	7824.83
3328	3364.44	2734.94	3.36E+03	6434	3383.54	5222.97	7752.27	9672	3399.64	5625.44	7824.76
3424	3365.17	2741.11	3.43E+03	6520	3383.96	5247.94	7758.13	9771	3400.16	5625.47	7824.62
3520	3365.9	2747.09	3.45E+03	6608	3384.37	5272.06	7764.36	9873	3400.66	5625.39	7824.42
								9975	3403.45	5625.21	7824.15